



TUGAS AKHIR - TM 145502

SIMULASI AERODINAMIKA PADA MOBIL LISTRIK NOGOGENI DENGAN MENGGUNAKAN SOFTWARE ANSYS FLUENT

TOGAR DANIEL HASUGIAN
NRP. 10211400000034

Dosen Pembimbing
Dedy Zulhidayat Noor, ST, MT, Phd
NIP.19751206 200501 1 002

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



FINAL PROJECT - TM 145502

**SIMULASI AERODINAMIKA PADA MOBIL LISTRIK
NOGOGENI DENGAN MENGGUNAKAN SOFTWARE
ANSYS FLUENT**

**TOGAR DANIEL HASUGIAN
NRP. 10211400000034**

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

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018**



FINAL PROJECT - TM 145502

**SIMULATION OF AERODYNAMICS IN ELECTRIC CAR
NOGOGENI BY USING SOFTWARE ANSYS FLUENT**

TOGAR DANIEL HASUGIAN
NRP. 10211400000034

Counselor Lecturer
Dedy Zulhidayat Noor, ST, MT, PhD
NIP.19751206 200501 1 002

MECHANICAL INDUSTRY ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Vocational
Institute Technology of Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

**SIMULASI AERODINAMIKA PADA MOBIL
LISTRIK NOGOGENI DENGAN MENGGUNAKAN
SOFTWARE ANSYS FLUENT**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Ahli Madya
Pada

Bidang Studi Konversi Energi
Program Studi Diploma III Departemen Teknik Mesin Industri
Fakultas Vokasi

Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Oleh :

TOGAR DANIEL HASUGIAN
NRP. 10211400000034



SURABAYA, APRIL 2018

SIMULASI AERODINAMIK PADA MOBIL LISTRIK NOGOGENI DENGAN MENGGUNAKAN SOFTWARE ANSYS FLUENT

Nama Mahasiswa : Togar Daniel Hasugian
NRP : 10211400000034
Departemen : Dept. Teknik Mesin Industri
Dosen Pembimbing : Dedy Zulhidayat N, ST,MT,
Phd

Abstrak

Penggunaan transportasi menjadi solusi kongkrit dalam mendukung mobilitas manusia. Perkembangan teknologi otomotif yang pesat menjadikan perusahaan otomotif berlomba-lomba dalam memproduksi kendaraan yang mengutamakan keselamatan pengemudi, ramah lingkungan, irit serta mengutamakan aspek aerodinamis. Faktor aerodinamis berpengaruh saat kendaraan sedang melaju, gaya drag yang dihasilkan harus seminimal mungkin. Nogogeni dibuat untuk memenuhi kebutuhan tersebut. Nogogeni dibuat menggunakan energi listrik dan mempunyai bentuk bodi yang ringan serta aerodinamis.

Untuk mengetahui karakteristik fluida yang mengalir disekitar bodi mobil Nogogeni, maka dilakukan pendekatan analisa numerik secara 3 dimensi menggunakan software fluent 18.1. Analisa numerik yang dilakukan pada bodi mobil Nogogeni meliputi kontur tekanan, koefisien tekanan (C_p), koefisien drag (C_d) serta koefisien lift (C_l).

Analisa numerik aliran yang melintasi bodi mobil Nogogeni menunjukkan nilai koefisien drag (C_d) sebesar 0,161084. Sedangkan untuk nilai koefisien lift (C_l) adalah sebesar 0,003124.

Kata kunci : kontur tekanan, *pressure coefficient* (C_p), *drag coefficient* (C_D), *lift coefficient* (C_l) *separasi, upperside, dan lowerside.*

SIMULATION OF AERODYNAMICS IN ELECTRIC CAR NOGOGENI BY USING SOFTWARE ANSYS FLUENT

Student name : Togar Daniel Hasugian
NRP : 10211400000034
Department : Dept. Teknik Mesin Industri
Final Project Adviser : Dedy Zulhidayat N, ST, MT,
PhD

Abstract

The number of vehicles has become a concrete solution to support the increase of people's mobility. Therefore, automotive companies are competing to produce vehicles that prioritize driver safety, engine efficiency, and aerodynamic aspects. Aerodynamic factors contribute a lot when the vehicle is in motion, therefore the drag force should be minimalized. Nogogeni is one of the vehicles that is specifically designed for energy efficient car. Nogogeni is made for use electric power, and has a lightweight and aerodynamic body.

The numerical simulation are use to study the flow characteristic over the car body Nogogeni, which include pressure contour, pressure coefficient (C_p), drag coefficient (C_d) and lift coefficient (C_l) 3D with fluent software 18.1

Present study concluded that analysis has been done at the body Nogogeni , it greatly effect to flow characteristic has a value of drag coefficient (C_d) 0,161084. While the coefficient of lift (C_l) obtained during the simulation on the car body Nogogeni worth of 0,003124.

Key words: *contours of pressure, pressure coefficient (C_p), drag coefficient (C_D), lift coefficient (C_l) separation, upperside, and lowerside.*

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur penulis panjatkan kepada Allah Yang Maha Esa yang telah memberikan segala rahmat dan berkat-Nya sehingga penulis dengan segala keterbatasannya dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik. Dalam terselesaikannya tugas akhir ini, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu secara moral maupun materi, yakni:

1. **Bapak Dedy Zulhidayat Noor, ST, MD, PhD** selaku dosen pembimbing tugas akhir dan dosen wali yang telah banyak memberikan bimbingan dan ilmu serta koreksi dalam pengerjaan buku tugas akhir ini.
2. **Bapak Ir. Suhariyanto, MSc** selaku Koordinator Tugas Akhir Program Studi Diploma III Departemen Teknik Mesin Industri Fakultas Vokasi-ITS.
3. **Para Dosen Penguji** selaku dosen yang memberikan kritik, saran, serta masukan yang sangat bermanfaat untuk penyempurnaan tugas akhir ini.
4. **Ayah, Ibu**, yang selalu memberikan do'a dan motivasinya. Tanpa do'a dan motivasi penulis tidak bisa menyelesaikan tugas akhir dengan baik.
5. **Seluruh Dosen dan Karyawan** yang telah banyak membimbing penulis dalam menggali ilmu di Departemen Teknik Mesin Industri Fakultas Vokasi-ITS.
6. **Renaldi Ardiansyah Utomo** atas kerja samanya dalam mengerjakan dan menjadi partner yang baik dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
7. **Imam Syafi'i** atas kerja samanya dalam mengerjakan dan menjadi partner yang baik dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
8. **Doni Samara Putra** atas kerja samanya dalam mengerjakan dan menjadi partner yang baik dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

9. **Haryo Febrianto** yang telah membimbing dan memberikan pemahaman dalam pengerjaan desain bodi menggunakan aplikasi *software Solidwork*.
10. **Tim mobil listrik NOGOGENI 2014** yang berpartisipasi membantu menyelesaikan tugas akhir.
11. **Ni'matur Rochmah, Dwiky Tiarawati, Anita Vizenza F.N, Refina Helda K.** , selaku saudara satu kosan yang selalu memberi dukungan dan semangat dalam pengerjaan tugas akhir ini.
12. **Seluruh teman-teman angkatan 2014** yang selalu membantu dan memberikan semangat kepada penulis. Terimakasih atas segala kritik dan saran serta motivasi yang telah kalian berikan.
13. Semua pihak yang belum disebutkan di atas yang telah memberikan do'a, bantuan, dan dukungannya bagi penulis hingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik dan tepat waktu.

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

Surabaya, Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I	
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penulisan	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II	
DASAR TEORI	7
2.1. Fluida	7
2.2. Sifat-sifat Fluida (udara)	8
2.3. Teori Aliran Eksternal	12
2.3.1. Terbentuknya <i>Boundary Layer</i>	12
2.3.2. Aliran <i>Viscous</i> dan <i>Nonviscous</i>	15
2.3.3. Separasi Aliran Pada <i>Boundary Layer</i>	16
2.4. Prinsip Dasar Aliran Angin pada Kendaraan	24
2.4.1. Pola Aliran di Sekitar Kendaraan	25
2.4.2. Pola Aliran di Permukaan Kendaraan	26
2.4.3. Pola Aliran di Bawah Kendaraan	27
2.4.4. Pola Aliran di Samping Kendaraan	28
2.5. Gaya Aerodinamika	29
2.5.1. Gaya <i>Drag</i> (Gaya Hambat)	29
2.5.2. Gaya <i>lift</i> (Gaya Angkat)	33
2.6. Pengaruh Bentuk Bodi	34
2.6.1. Koefisien Hambat ber`bagai Bentuk Kendaraan	35

2.7. Dinamika Aliran Fluida secara Komputasi (<i>Computational Fluid Dynamics</i>)	36
2.7.1. <i>MESH</i>	38
2.7.2. <i>Fluent</i>	41
BAB III	
METODOLOGI PENELITIAN	47
3.1. Diagram Alir (<i>Flowchart</i>) Metode Penelitian	47
3.2. <i>Preprocessing</i>	50
3.2.1. Geometri Mobil <i>Nogogeni</i>	50
3.2.2. Domain Pemodelan	51
3.2.3. Meshing	53
3.2.4. Parameter Pemodelan	56
3.3. <i>Processing</i> atau <i>Solving</i>	59
3.4. <i>Postprocessing</i>	59
BAB IV	
ANALISA DAN PEMBAHASAN	61
4.1. <i>Meshing's Grid Value</i>	61
4.2. <i>Iteration and Running Time</i>	64
4.3. Analisa Medan Aliran 3 Dimensi pada Bodi Mobil Nogogeni.....	64
4.3.1. Analisa Distribusi Tekanan dan Kecepatan di Medan Aliran Bodi Mobil Nogogeni	65
4.4. Analisa Gaya Aerodinamika	77
4.4.1. Mencari Luas Frontal Bodi Nogogeni..	77
4.4.2. Perhitungan Gaya <i>Drag</i>	78
4.4.3. Perhitungan <i>Coeficient Drag</i>	79.
4.4.4. Perhitungan Gaya <i>Lift</i>	80
4.4.5. Perhitungan <i>Coeficient Lift</i>	81
BAB V	
PENUTUP	
5.1. Kesimpulan	83
5.2. Saran	84
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	<i>Boundary layer</i> pada pelat datar.....	6
Gambar 2.2.	Teori terbentuknya <i>boundary layer</i>	13
Gambar 2.3.	Perbedaan antara fluida ideal dan <i>viscous</i> ..	14
Gambar 2.4.	<i>Boundary layer flow</i> dengan <i>pressure gradient</i>	15
Gambar 2.5.a	Aliran <i>incompressible</i> melewati bola.	16
Gambar 2.5.b	Separasi aliran melewati benda <i>streamline</i>	18
Gambar 2.6.	Deskripsi skematik separasi <i>bubble</i> dan transisi lapisan batas	18
Gambar 2.7.	Distribusi tekanan pada separasi <i>bubble</i>	20
Gambar 2.8.a	Pengukuran tekanan statis dengan <i>pressure tab</i>	20
Gambar 2.8.b	Pengukuran tekanan statis dengan <i>pressure probe</i>	21
Gambar 2.9.	Pengukuran tekanan stagnasi	23
Gambar 2.10.	Pengukuran tekanan stagnasi dan tekanan statis.....	23
Gambar 2.11.	Pola aliran udara 2D pada kendaraan	24
Gambar 2.12.	Pola aliran udara di sekitar kendaraan.....	25
Gambar 2.13.	Pola aliran udara antara profil udara bebas dan permukaan.....	27
Gambar 2.14.	Pola aliran udara di bagian belakang kendaraan.....	29
Gambar 2.15.	Hambatan bentuk pada kendaraan.....	30
Gambar 2.16.	Bentuk <i>trailing vortice</i> pada aliran melewati bodi mobil dengan <i>ground effect</i> sudut pandang 2D maupun 3D	32
Gambar 2.17.	Distribusi koefisien gaya angkat (<i>lift force</i>).34	
Gambar 2.18.a	Tahap perencanaan bodi kendaraan	35
Gambar 2.18.b	Percobaan bodi kendaraan yang telah dilakukan	35
Gambar 2.19.	Koefisien <i>drag</i> untuk silinder dan berbentuk dasar lainnya	36

Gambar 2.20.	Blok diagram simulasi dengan CFD	37
Gambar 2.21.	Diagram Simulasi Fluent pada Ansys Work Bench 18.1.....	37
Gambar 2.22.	<i>Automatic Method</i>	38
Gambar 2.23.	<i>Patch Conforming Method</i>	39
Gambar 2.24.	<i>Patch Independent Method</i>	40
Gambar 2.25.	Perbandingan jumlah element <i>tetrahedron</i> dan <i>Hex Dominant</i>	40
Gambar 3.1.	<i>Flowchart</i> metodologi penelitian	47
Gambar 3.2.	<i>Geometri</i> 3D bodi mobil <i>Nogogeni</i>	51
Gambar 3.3.	Domain Pemodelan Bodi (3D-flow)	51
Gambar 3.4.	Tampilan urutan proses dan cara <i>import geometry</i>	52
Gambar 3.5.	Pembuatan dimensi domain pemodelan	53
Gambar 3.6.	<i>Meshing Method</i>	54
Gambar 3.7.	Hasil <i>Tetrahedron Mesh</i> dengan <i>Patch Conforming Alghorithm</i>	54
Gambar 3.8.	Pemberian penamaan daerah batas	56
Gambar 4.1.	<i>Interval Mesh Coarse</i>	61
Gambar 4.2.	<i>Residual Monitor Interval Mesh Coarse</i>	62
Gambar 4.3.	<i>Interval Mesh Medium</i>	62
Gambar 4.4.	<i>Resudal Mointor Interval Mesh Medium</i>	63
Gambar 4.5.	<i>Interval Mesh Fine</i>	63
Gambar 4.6.	Iterasi	64
Gambar 4.7.	Visualisasi potongan sumbu x.....	65
Gambar 4.8.	Grafik distribusi Cp 3D Midspan	65
Gambar 4.9.	Grafik distribusi Cp 3D pada x=0.1 m	67
Gambar 4.10.	Grafik distribusi Cp 3D pada x=0.2 m	68
Gambar 4.11.	Grafik distribusi Cp 3D pada x=0.3 m	68
Gambar 4.12.	Grafik distribusi Cp 3D pada x=0.4 m	69
Gambar 4.13.	Grafik distribusi Cp 3D pada x=0.5 m	69
Gambar 4.14.	Kontur tekanan statis daerah stagnasi	71
Gambar 4.15.a	Kontur tekanan statis tampak atas dan bawah.....	71
Gambar 4.15.b	Kontur tekanan statis tampak depan dan	

	belakang	72
Gambar 4.15.c	Kontur tekanan statis tampak isometri	72
Gambar 4.16.	Vektor kecepatan di sekitar bodi.....	74
Gambar 4.17.	<i>Pathline</i> aliran tampak samping.....	75
Gambar 4.18.	<i>Pathline</i> aliran tampak atas	75
Gambar 4.19.	<i>Pathline</i> aliran tampak depan.....	76
Gambar 4.20.	<i>Pathline</i> aliran tampak belakang	76
Gambar 4.21.	Luas area frontal untuk gaya drag	77
Gambar 4.22.	Luas area frontal untuk gaya lift.....	78
Gambar 4.23.	<i>Force Drag Report</i> pada <i>CFD-Post</i>	79
Gambar 4.24.	<i>Force Lift Report</i> pada <i>CFD-Post</i>	81

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1.	Dimensi mobil <i>Nogogeni</i>	50
------------	-------------------------------------	----

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam perkembangan zaman dari teknologi otomotif, manusia dituntut untuk selalu dinamis. Penghematan energi melalui pengurangan pemakaian bahan bakar dan peningkatan efisiensi mesin adalah tujuan dari berbagai pengembangan teknologi dewasa ini. Perlu diketahui bahwa penggunaan alat transportasi darat meningkat seiring dengan peningkatan mobilitas manusia. Menurut data Badan Pusat Statistik Kementerian Perindustrian Indonesia, jumlah kendaraan terus menerus semakin meningkat dengan pertumbuhan rata-rata pertahunnya 8% sampai dengan 15%. Kebutuhan akan transportasi yang meningkat mengakibatkan meningkatnya pula jumlah konsumsi energi bahan bakar yang dibutuhkan. Di Indonesia, transportasi merupakan sektor pengonsumsi minyak terbesar dengan 40.1% dari total. Para produsen kendaraan pun mulai dituntut untuk dapat menghasilkan suatu kendaraan yang memiliki tingkat efisiensi bahan bakar yang tinggi. Banyak cara yang ditempuh untuk mewujudkan hal tersebut seperti menurunkan beban berat kendaraan, mengoptimalkan efisiensi dari mesin, cara mengemudi yang baik dan mengurangi gaya hambat (*drag*) yang ditimbulkan dengan membuat bentuk bodi yang aerodinamis.

Dengan berkembangnya ilmu aerodinamika yang begitu pesat disertai juga berkembangnya ilmu mekanika fluida, maka sangat memungkinkan untuk mendesain bentuk kendaraan yang khususnya pada mobil yang memiliki gaya hambat aerodinamika sekecil mungkin. Untuk mengarah ke konsep optimalisasi dari bentuk kendaraan tersebut, para peneliti biasa menggunakan analisis aliran fluida yang melintasi bodi kendaraan baik 2 Dimensi maupun 3 Dimensi.

Mobil *Nogogeni* adalah salah satu jenis kendaraan yang dirancang untuk kendaraan hemat energi, ramah lingkungan dan efisiensi tinggi. Salah satu usaha untuk mewujudkan rancangan ini, dipilih kendaraan bertenaga listrik dengan bentuk bodi ringan

dan aerodinamis. Mengingat bentuk bodi mobil *Nogogeni* yang ada sangat memungkinkan untuk dimodifikasi, maka perancangan modifikasi bodi merupakan satu langkah strategis dalam mengurangi gaya hambat aerodinamika pada bodi kendaraan guna peningkatan efisiensi pemakaian bahan bakar atau penghematan energi

Hal ini yang menjadikan tugas akhir saya, dengan menganalisa pemodelan numerik aliran 3 Dimensi yang melintasi bodi mobil listrik *Nogogeni* . Fokus utama tertuju pada *leading edge* yang mana adalah bagian yang terkena oleh fluida pertama kali sehingga dapat menentukan konfigurasi maupun pola aliran pada bagian dibelakangnya. Diharapkan juga bisa mendapatkan analisa terhadap gaya *drag* dan *lift* serta struktur *wake* sehingga nilai C_D , C_L dan C_P dapat didapatkan dengan optimal. Dengan didapkannya data yang optimal, pembuatan bentuk bodi kendaraan akan mempengaruhi gaya hambat aerodinamik pada bodi mobil guna peningkatan efisiensi pemakaian energi (listrik).

1.2 Perumusan Masalah

Salah satu faktor yang mempengaruhi hematnya konsumsi pemakaian energi pada kendaraan yaitu distribusi gaya aerodinamika pada bodi mobil yang akhirnya hal ini menentukan besar kecilnya tahanan yang diterima kendaraan atau biasa dikenal dengan gaya *drag*.

Untuk mendapatkan bentuk bodi kendaraan yang lebih aerodinamis maka diperlukan karakteristik aliran fluida yang tampak lebih jelas pada software aplikasinya. Inilah permasalahan dari tugas akhir ini yaitu bagaimana menganalisa karakteristik aliran fluida yang melintasi bodi mobil *Nogogeni* dengan desain yang tertera dan sudah sesuai dengan regulasi *Kontes Mobil Hemat Energi (KMHE)* dan *Shell Eco Marathon Asia (SEMA)* dengan menggunakan *software Ansys Fluent 18.1*.

1.3 Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik aliran fluida yang melintasi bodi mobil *Nogogeni*. Karakteristik aliran yang dimaksud antara lain :

1. Analisa distribusi koefisien tekanan (C_P) pada kontur bodi mobil *Nogogeni*
2. Analisa koefisien *drag* (C_D) pada kontur bodi mobil *Nogogeni*.
3. Analisa koefisien *lift* (C_L) pada kontur bodi mobil *Nogogeni*.
4. Tampilan *contour*, *velocity vector* dan *pathlines* yang melintasi bodi mobil *Nogogeni*

1.4 Batasan Masalah

Untuk memperkecil ruang lingkup dan untuk memudahkan dalam analisis masalah dibutuhkan adanya pembatasan masalah. Batasan masalah yang dipergunakan dalam penulisan tugas akhir ini antara lain:

1. Pemodelan dilakukan tanpa adanya eksperimen
2. Kondisi *steady state* serta aliran *incompressible*
3. Menggunakan perangkat lunak *Ansys Workbench* dengan *CFD-Solver 18.1*
4. Pengujian pada kondisi udara standart dengan menggunakan $Re_L = 1.816501 \times 10^6$
5. Analisa 3 Dimensi menggunakan *boundary condition* untuk *inlet* adalah *velocity inlet* dengan kecepatan aliran udara masuk sebesar 11.1111 m/s, untuk *outlet* adalah *outflow*, dinding samping kanan-kiri dan dinding atas-bawah serta bodi mobil *Nogogeni* adalah *wall*.
6. Simulasi numerik dilakukan tanpa adanya roda, spion, atau aksesoris lain.
7. Pembahasan hanya pada *pressure coefficient* (C_P), *drag coefficient* (C_D), dan *lift coefficient* (C_L).

1.5 Manfaat Penulisan

Manfaat yang dapat diambil dari penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui fenomena aliran secara fisis dari analisa aliran 3D disekitar bodi mobil *Nogogeni* melalui

visualisasi aliran dengan perangkat lunak *Ansys CFD 18.1*

2. Mampu memberikan sumbangsih nyata pada optimalisasi bodi kendaraan yang nantinya bisa digunakan sebagai rujukan pengembangan bodi mobil *Nogogeni* .

1.6 Sistematika Penulisan

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang latar belakang penulisan, perumusan masalah yang dipilih, tujuan penulisan, manfaat penulisan, batasan permasalahan dan sistematika penulisan.

BAB II DASAR TEORI

Bab ini berisi tentang persamaan - persamaan yang mendasari perumusan masalah, teori *external flow*, gaya hambat, gaya angkat, pengaruh bentuk bodi, dan pengenalan *software Ansys CFD 18.1*.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini menjelaskan langkah-langkah pemodelan melalui diagram alir, serta menguraikan pemodelan numerik yang dilakukan, mulai dari pembuatan geometri model uji, diskretisasi daerah analisa (*meshing*), pemodelan *CFD-Solver 18.1*.

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

Bab ini menguraikan data yang diperoleh saat simulasi dilakukan yaitu berupa hasil *pressure coefficient* (C_P), *contour* tekanan, grafik, *drag coefficient* (C_D), *lift coefficient* (C_L), dan *pathline* yang dihasilkan serta pembahasan data yang diperoleh selama percobaan dilakukan.

BAB V PENUTUP

Bab ini memaparkan kesimpulan yang diperoleh selama pembuatan tugas akhir ini yang merupakan ringkasan jawaban dari permasalahan yang dipilih. Dan berisikan saran-saran dari penulis.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II DASAR TEORI

2.1 Fluida

Mekanika Fluida adalah cabang ilmu yang mempelajari mengenai zat fluida bergerak atau diam serta gaya akibat yang ditimbulkan oleh fluida tersebut pada batasnya. Sedangkan fluida sendiri merupakan zat yang akan mengalami deformasi secara terus menerus jika diberikan tegangan geser (tangensial) tidak peduli seberapa kecil tegangan geser tersebut. Batas tersebut dapat berupa permukaan padat atau fluida lainnya.

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

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

contour body yang berada pada aliran fluida tanpa batas), pada aliran *laminar* bilangan *reynold* – nya $\leq 5 \times 10^5$, dan pada aliran turbulen bilangan *reynold* – nya $> 5 \times 10^5$.

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

Udara adalah suatu zat yang memiliki densitas dan viskositas. Densitas tergantung pada tekanan (P) dan temperatur (T). Pada umumnya kendaraan di jalan melaju dengan kecepatan dibawah sepertiga kecepatan suara. Pada batas kecepatan tersebut harga variasi tekanan dan temperatur dalam aliran dengan harga *freestream* sangat kecil, oleh karena itu perubahan pada densitas dapat diabaikan. Dengan demikian aliran fluida berupa udara yang mengalir di sekeliling kendaraan dapat dikategorikan sebagai aliran fluida *incompressible*.

Properti lain dari udara adalah viskositas. Properti ini dikarenakan oleh gesekan molekuler antar partikel-partikel fluida. Gesekan ini berhubungan dengan fluks momentum, karena adanya *gradient* kecepatan. Untuk fluida *incompressible*, properti ini bergantung pada temperatur. Viskositas yang dimiliki fluida ini dapat menyebabkan terjadinya *friction drag* sehingga timbul gradien kecepatan pada dinding.

2.2 Sifat-sifat Fluida (udara)

Udara adalah fluida yang memiliki densitas dan viskositas. Densitas (ρ) didefinisikan sebagai massa persatuan volume. Properti ini tergantung pada tekanan (P) dan temperatur (T). Kendaraan di jalan pada umumnya berjalan dengan kecepatan dibawah sepertiga kecepatan suara. Pada batas kecepatan tersebut harga variasi tekanan dan temperatur dalam aliran dengan harga

freestream sangat kecil, oleh karena itu perubahan pada densitas dapat diabaikan. Dengan demikian aliran udara yang mengalir di sekeliling kendaraan dapat dikategorikan sebagai aliran fluida *incompressible*. Untuk kondisi standar, $P = 1 \text{ atm}$ dan $T = 288 \text{ K}$, harga densitas atau $\rho = 1,2250 \text{ kg/m}^3$.

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

a) Densitas

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

1) *Densitas Massa*

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

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

- Dimana: $m = \text{massa (kg)}$
 $V = \text{volume (m}^3\text{)}$
 $\rho = \text{massa jenis (kg/m}^3\text{)}$

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

2) *Berat Spesifik*

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

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

Dimana: γ = berat spesifik (N/m³)

Untuk ($\gamma_{\text{udara}} = 12,07 \text{ N/m}^3$) dan ($\gamma_{\text{air}} = 9,81 \times 10^3 \text{ N/m}^3$).

3) *Densitas Relatif (Spesific Grafity)*

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

$$SG = \frac{\gamma_{\text{zat}}}{\gamma_{\text{air}}} \dots\dots\dots (2.3)$$

b) Viskositas

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

1) *Viskositas Dinamis (μ)*

Viskositas dinamis merupakan perbandingan tegangan geser dengan laju perubahannya, besarnya viskositas air bervariasi dan dipengaruhi temperatur. Pada kondisi standar (temperatur kamar 26,5°C) besar viskositas dinamik adalah

$$\mu_{\text{air}} = 8,6 \times 10^{-4} \text{ Ns/m}^2 \text{ dan } \mu_{\text{udara}} = 1,7894 \times 10^{-5} \text{ Ns/m}^2$$

2) *Viskositas Kinematik (ν)*

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

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \dots\dots\dots (2.4)$$

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

c) **Bilangan Reynolds**

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

$$Re = \frac{\text{Gaya inersia}}{\text{Gaya geser}} \dots\dots\dots (2.5)$$

dimana : Gaya Inersia = $p \times A = \rho U_{\infty}^2 \cdot L^2$

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

Sehingga,

- Untuk aliran eksternal

$$Re = \frac{\rho U_{\infty}^2 \cdot L^2}{\left(\frac{\mu U_{\infty}}{L} \right) \cdot L^2} = \frac{\rho U_{\infty} \cdot L}{\mu} \dots\dots\dots (2.6)$$

dimana : ρ : Densitas fluida

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

- L : Panjang karakteristik yang diukur pada medan aliran, dalam kasus ini digunakan diameter hidrolis, yaitu D_h
- μ : Viskositas dinamis fluida

- Untuk aliran internal

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

$$D_h = \frac{4.A}{P} \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana : A = Luas penampang
 P = keliling penampang

Sehingga,

$$Re_h = \frac{\rho.U_\infty.D_h}{\mu} \dots\dots\dots (2.8)$$

2.3 Teori Aliran Eksternal

Suatu aliran disebut sebagai aliran eksternal (*external flow*) bila aliran tersebut melewati suatu *contour body* yang berada pada aliran fluida tanpa adanya batas yang mengurung. *Eksternal flow* sendiri adalah aliran fluida yang tidak dibatasi oleh permukaan benda, namun seakan – akan permukaan bendalah yang dibatasi oleh aliran fluida tersebut.[10]

2.3.1 Terbentuknya *Boundary Layer*

Suatu aliran disebut sebagai aliran eksternal (*external flow*) bila aliran tersebut melewati suatu *contour body* yang berada pada aliran fluida tanpa adanya batas yang mengurung. Sebagai contoh aliran eksternal adalah aliran fluida yang melewati sisi luar dari permukaan lengkung dan pelat datar (*semi-infinite flat plate*).

Boundary layer (lapis batas) merupakan lapisan tipis pada solid surface yang terbatas daerah sangat sempit dekat permukaan

kontur dengan kecepatan fluida tidak uniform dikarenakan tegangan geser yang muncul akibat viskositas.

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

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

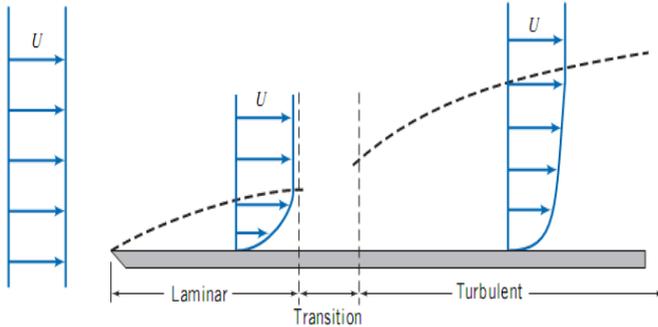
Saat aliran fluida nyata dari *free stream* menuju suatu *contour body*, fluida akan mengalami perubahan kecepatan dari keadaan *uniform* (U_∞) ke kondisi aliran yang mempunyai distribusi kecepatan (*velocity distribution*). Hal ini terjadi karena pengaruh dari viskositas fluida dan *contourbody* yang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

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

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

Gangguan mulai terjadi saat partikel memasuki *boundary layer* karena adanya *velocity gradient* dan efek *viscosity*. Akibatnya, selama bergerak translasi, partikel fluida juga bergerak

rotasi. Dengan demikian *vorticity*-nya tidak sama dengan nol (*non zero vorticity*). Kondisi ini dinamakan *rotational*.

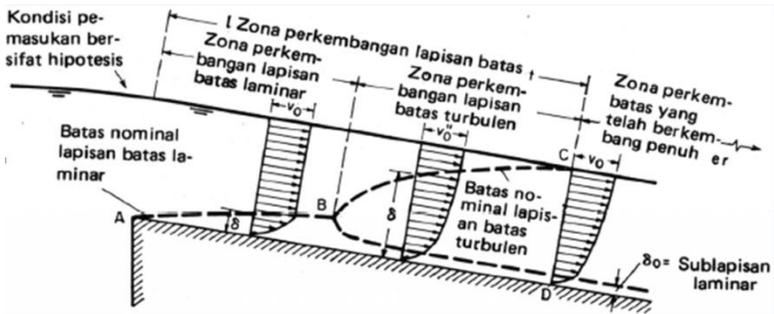


Gambar 2.1 *Boundary layer* pada pelat datar

Dari gambar 2.1 di atas menunjukkan suatu pengembangan *boundary layer* sepanjang permukaan pelat. Pada daerah ini terjadi dua bentuk aliran. Awalnya aliran adalah *laminar* sepanjang jarak tertentu dari *leading edge*, kemudian terjadi suatu transisi aliran yang akhirnya akan berubah menjadi *turbulen*. Untuk aliran *incompressible* melewati *smooth flate plate* (*zero pressure gradient*), perubahan dari *laminar* ke *turbulen* dapat dipengaruhi oleh *Reynolds number*,

$$Re_x = \frac{\rho \cdot U_\infty \cdot x}{\mu} \dots \dots \dots (2.9)$$

Studi kasus terbentuknya *boundary layer* akan dijelaskan pada gambar 2.2 berikut :

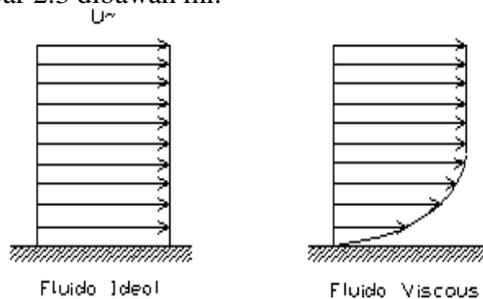


Gambar 2.2 Teori terbentuknya *boundary layer*

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

2.3.2 Aliran *Nonviscous* dan *Viscous*

Pada dasarnya aliran terbagi atas dua jenis yaitu aliran *viscous* dan aliran *non viscous*. Aliran *non viscous* bukan berarti bahwa aliran tidak mempunyai viskositas atau $\mu = 0$, tetapi dikarenakan setiap fluida pasti mempunyai viskositas tertentu. Aliran *non viscous* adalah aliran yang mempunyai gradien kecepatan mendekati nol atau tegangan gesernya mendekati nol. Sedangkan untuk aliran *viscous*, efek dari viskositasnya akan mengikutkan tegangan geser antara partikel fluida dengan permukaan padat yang dilaluinya. Pada aliran fluida ideal, semua partikel akan bergerak pada kecepatan yang sama, tetapi pada aliran *viscous* yang mengikutkan tegangan geser akan menjadikan profil kecepatan fluidanya akan menjadi tidak seragam seperti pada gambar 2.3 dibawah ini.

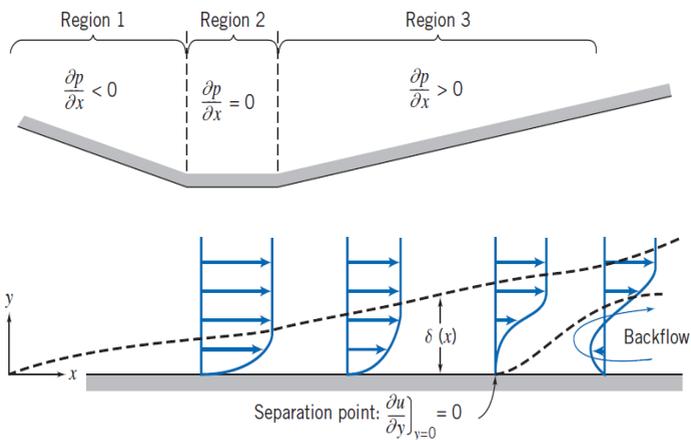


Gambar 2.3 Perbedaan antara fluida ideal dan *viscous*

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

2.3.3 Separasi Aliran Pada Boundary Layer

Dalam *boundary layer* akan ditemukan suatu fenomena yang disebut dengan separasi. Separasi ini mengakibatkan aliran yang terbalik arahnya dari aliran utama. Separasi merupakan peristiwa dimana aliran fluida terpisah dari permukaan benda. Jika dilihat pada gambar 2.4 dibawah, proses separasi diawali dengan adanya aliran fluida yang terus menerus mengalami perubahan karena adanya gaya gesek. Akibat adanya gaya gesek tersebut, momentum aliran akan berkurang sampai suatu saat momentum alirannya sudah tidak bisa mengatasi hambatan sehingga aliran fluida akan terpisah dari permukaan benda, Pada titik dimana separasi terjadi, *gradient* tekanan pada permukaan bodi adalah nol dan aliran fluida di belakang titik separasi arahnya berlawanan dengan aliran utama.



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

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

a) **Separasi Aliran Dua-Dimensi (2D)**

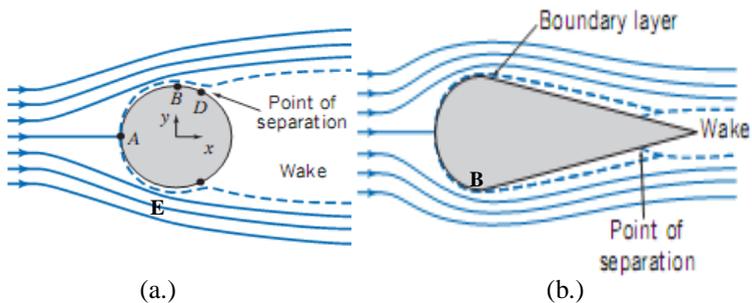
Separasi aliran fluida dua dimensi membawa kerugian pada aliran *laminar* atau aliran yang dalam kondisi paralel. Aliran *laminar* dua dimensi tersebut akan dirusak oleh efek friksi dan adanya *adverse pressure gradient* pada permukaan dari solid. Separasi ini dimulai pada titik dimana perubahan kecepatan ke arah y sama dengan nol.

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

aliran yang *turbulen* karena penambahan momentum yang ada tersebut melebihi dari kondisi *laminar*-nya Aliran yang *turbulen* ini baik sekali untuk mengatasi *adverse pressure gradient*.

Pada gambar 2.5 (a.) dibawah, kecepatan yang mengelilingi silinder meningkat sampai suatu titik maksimum D dan kemudian berkurang saat bergerak lebih jauh kebelakang dari titik D. Titik D disebut titik separasi (*separation point*), dimana partikel fluida mendorong objek dan menyebabkan terjadinya *wake*.

Pada suatu aliran *inviscid* peningkatan distribusi kecepatan dihubungkan oleh pengurangan distribusi tekanan pada aliran yang melintasi profil silinder tersebut. Sehingga pada suatu aliran *incompressible inviscid flow* yang melintasi silinder, distribusi tekanan disepanjang permukaan dari silinder berkurang saat berjalan dari A-D dan akan meningkat lagi saat bergerak dari D-E. Pada aliran *viscous steady incompressible* bentuk aliran akan tampak seperti pada gambar 2.5 berikut ini :



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

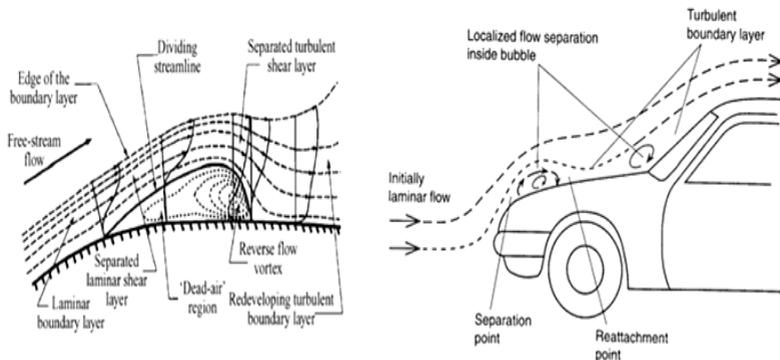
Pada gambar 2.5 (b.) bagaimana bentuk streamline bekerja. Gaya drag pada kebanyakan aerodinamik karena tekanan rendah pada *wake*: jika *wake* dapat dikurangi atau dihapus, drag akan dapat banyak dikurangi. Jika kita membuat bola menyerupai bentuk air mata pada gambar 2.5 (b.) streamline terbuka, dan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

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

Namun pada aliran setelah titik B tekanan akan meningkat dalam arah aliran sehingga pada beberapa titik momentum aliran dari fluida didalam *boundary layer* tidak cukup untuk membawa elemen jauh kedalam daerah peningkatan tekanan sehingga aliran fluida yang berdekatan pada permukaan akan mengalami pemecahan ke arah balik dan aliran akan terseparasi dari permukaan. Hasil dari separasi *boundary layer* pada daerah *relative* tekanan rendah dibelakang body yang mana momentum alirannya tidak mencukupi disebut *wake*.^[8]

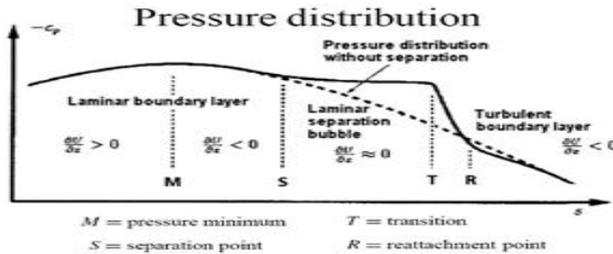
b) Separasi *Bubble*

Separasi *bubble* adalah separasi yang dilanjutkan dengan penyentuhan kembali fluida yang telah terseparasi ke *solid body*. Seperti terlihat pada gambar 2.6 dibawah, Separasi *bubble* dimulai dengan terpisahnya *boundary layer laminar* dari dinding. Tepi *boundary layer* terangkat dan *shear layer laminar* yang terseparasi akan berinteraksi dengan *free stream*. Aliran mendapat injeksi energi dari *free stream* yang kemudian memaksa shear layer untuk *attach* kembali ke *solid body*. Setelah mencapai titik *reattachment*, aliran diperlambat lagi karena adanya gesekan dan *adverse pressure gradient* yang lebih kuat, sehingga terjadi separasi *massive*.



Gambar 2.6 Deskripsi skematik separasi *bubble* dan transisi lapisanbatas

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



Gambar 2.7 Distribusi tekanan pada separasi *bubble*

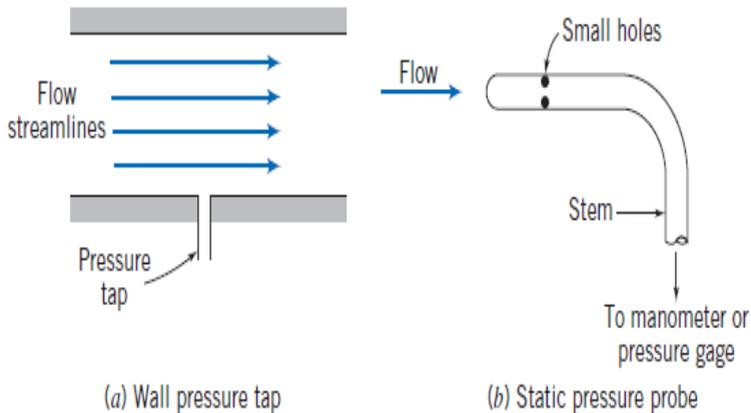
Dari distribusi tekanan pada gambar 2.7 di atas, tampak bahwa tekanan statis cenderung bernilai konstan selama *downstream* dari titik separasi. Hal ini dikarenakan kecepatan partikel fluida di daerah *separated flow* sangat lambat. Tekanan kembali meningkat setelah separasi *bubble*.^[1]

c) Tekanan Statis, Stagnasi, dan Dinamis

Tekanan P yang digunakan pada persamaan Bernoulli adalah tekanan termodinamis atau lebih dikenal dengan tekanan statis. Tekanan statis adalah tekanan yang diukur oleh alat ukur yang bergerak bersama-sama aliran dengan kecepatan yang sama. Bagaimanapun juga cara pengukuran yang demikian sangat sulit dilakukan. Oleh karena itu perlu ada cara yang praktis untuk mengukurnya.

Fluida yang mengalir lurus akan mempunyai *streamlines* lurus pula dan tidak mempunyai variasi tekanan ke arah normal dari aliran *streamlines* tersebut. Kenyataan ini memungkinkan

untuk melakukan pengukuran tekanan statis dengan menggunakan *wall pressure tap* yang ditempatkan di daerah dimana aliran *streamlines* lurus, seperti yang terlihat pada gambar 2.8(a.) dibawah ini.



Gambar 2.8 (a.) Pengukuran tekanan statis dengan *pressure tap*, dan gambar 2.8 (b.) menggunakan *pressure probe*

Pressure tap adalah sebuah lubang kecil yang dibuat pada dinding dimana axisnya tegak lurus terhadap permukaan dinding. Apabila lubang tersebut tegak lurus terhadap dinding suatu saluran dan bebas dari kotoran, akurasi pengukuran tekanan statis akan dapat diperoleh dengan menghubungkan *pressure tap* dengan suatu alat ukur yang sesuai. Apabila fluida mengalir jauh dari dinding atau bila *streamlines*-nya berbentuk kurva, akurasi pengukuran tekanan statis dapat diperoleh dengan menggunakan *pressure probe*, seperti yang terlihat pada gambar 2.8 (b.). Tekanan stagnasi adalah tekanan yang dapat diukur bila aliran diperlambat sampai kecepatannya sama dengan nol dengan proses tanpa gesekan. Pada aliran *incompressible*, persamaan Bernoulli dapat digunakan sehubungan dengan perubahan kecepatan dan tekanan sepanjang *streamlines*. Dengan mengabaikan diferensial elevasi, persamaan Bernoulli menjadi :

$$\frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2} = \text{konstan}$$

Bila tekanan statis p pada suatu titik dalam suatu aliran dimana kecepatannya adalah V , maka tekanan stagnasi p_o , dimana kecepatan stagnasi V_o adalah nol, maka:

$$\frac{p_o}{\rho} + \frac{V_o^2}{2} = \frac{p}{\rho} + \frac{V^2}{2}$$

dimana $V_o = 0$, sehingga :

$$\frac{p_o}{\rho} = \frac{p}{\rho} + \frac{V^2}{2}$$

atau,
$$p_o = p + \frac{1}{2} \rho V^2$$

Persamaan di atas adalah kalimat matematis dari defenisi tekanan stagnasi, yang valid untuk aliran *incompressible*. Bentuk $\frac{1}{2} \rho V^2$ umumnya disebut tekanan dinamis.

Jadi persamaan tekanan dinamis adalah :

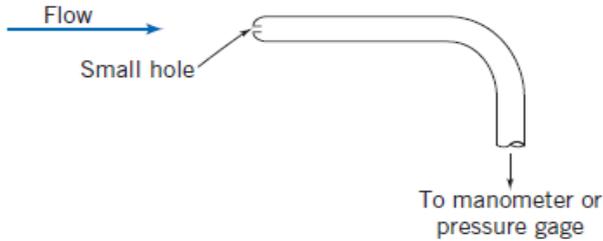
$$\frac{1}{2} \rho V^2 = p_o - p$$

dan kecepatannya adalah :

$$V = \sqrt{\frac{2(p_o - p)}{\rho}} \dots \dots \dots (2.10)$$

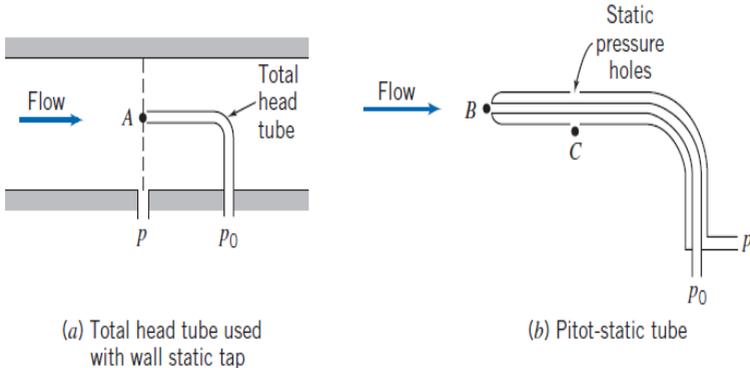
Jadi, bila tekanan stagnasi dan tekanan statis diukur pada suatu titik, maka persamaan kecepatan diatas akan menghasilkan kecepatan aliran lokal.

Tekanan stagnasi dapat diukur dengan menggunakan sebuah *probe* dimana lubangnya langsung berhadapan dengan aliran seperti yang terlihat pada gambar 2.9. *Probe* ini dikenal dengan nama *stagnation pressure probe* atau *pitot tube*. Daerah pengukurannya juga harus sejajar dengan arah aliran lokal.



Gambar 2.9 Pengukuran tekanan stagnasi

Pada gambar 2.10 (a.) dibawah, terlihat bahwa tekanan statis yang sejajar dengan garis di titik A dapat dibaca dari *wall static pressure tap*. Sedangkan tekanan stagnasi dapat diukur langsung pada titik A dengan menggunakan *total head tube*.



(a) Total head tube used with wall static tap

(b) Pitot-static tube

Gambar 2.10 Pengukuran Tekanan Stagnasi dan Tekanan Statis

Terkadang dua buah *probe* dapat dikombinasikan seperti pada *pitot-static tube* gambar 2.10 (b.) diatas. Tabung bagian dalam digunakan untuk mengukur tekanan stagnasi pada titik B, sedangkan tekanan statis pada titik C dibaca melalui lubang-lubang kecil pada tabung bagian luar. Pada daerah aliran dimana variasi tekanan statis dalam arah *streamwise*-nya kecil, *pitot-static tube* dapat digunakan untuk mencari kecepatan pada titik B, dengan menggunakan persamaan kecepatan di atas dan mengasumsikan $p_b = p_c$

Perbedaan antara tekanan lokal statik pada setiap titik dalam aliran dengan tekanan statik pada *freestream* bergantung

langsung dengan tekanan dinamik pada *freestream*, dan perbandingan ini yang disebut dengan koefisien tekanan atau *pressure coefficient* (C_p).

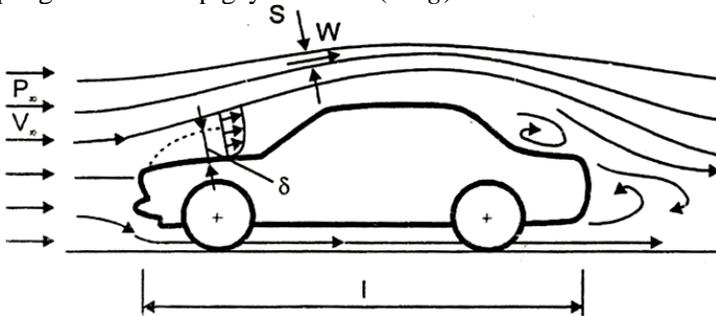
$$C_p = \frac{p - p_\infty}{\frac{1}{2} \rho V_\infty^2} \quad [9] \dots \dots \dots (2.11)$$

Dimana : P = tekanan *local static* atau tekanan pada kontur
 P_∞ = tekanan statik *freestream*
 V_∞ = kecepatan *freestream*

2.4 Prinsip Dasar Aliran Angin pada Kendaraan

Secara umum fenomena aliran pada kendaraan dapat dikategorikan dalam 2 aliran yaitu aliran *external* dan aliran *internal*. Aliran *external* adalah aliran udara yang terletak di sekitar kendaraan dan aliran udara yang masuk ke dalam bagian mesin. Aliran *internal* adalah aliran yang terletak dalam bagian permesinan misalnya proses aliran fluida di dalam mesin dan sistem transmisi kendaraan.

Pola aliran di sekitar bodi kendaraan dapat dilihat pada gambar 2.11. Pada gambar ini menggambarkan terjadinya gaya dan momen aerodinamis pada kendaraan yang nantinya juga akan berpengaruh terhadap gaya hambat (*drag*) dari kendaraan.

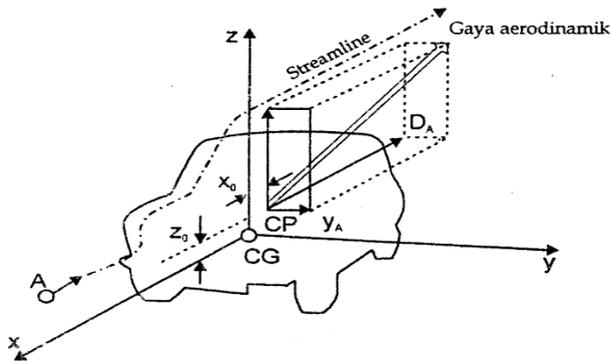


Gambar 2.11 Pola aliran udara 2D pada kendaraan

2.4.1 Pola Aliran di Sekitar Kendaraan

Kendaraan bermotor yang sedang berjalan mempunyai dua bidang kontak yaitu terhadap udara dan terhadap jalan atau tanah. Kendaraan yang berjalan akan bergerak relatif terhadap jalan atau tanah. Apabila udara diam yaitu pada keadaan tidak ada angin maka kendaraan akan memiliki kecepatan relatif yang sama terhadap jalan atau tanah dan juga terhadap udara. Sedangkan jika ada aliran udara relatif terhadap tanah yaitu ada angin yang berhembus, maka kendaraan akan memiliki perbedaan kecepatan relatif terhadap jalan atau tanah dan terhadap udara.

Di dalam pendekatan terhadap aerodinamika kendaraan, diasumsikan tidak ada angin yang berhembus (atmosfir sebagai kesatuan tanah) dan kecepatan kendaraan dapat dianggap konstan. Pada dasarnya semua fenomena aerodinamis yang terjadi pada kendaraan disebabkan adanya gerakan relatif dari udara di sepanjang bentuk bodi kendaraan.



Gambar 2.12 Pola aliran udara disekitar kendaraan

Pada gambar 2.12 diatas, dapat diketahui jika pada waktu itu tidak ada angin yang berhembus dan diasumsikan kecepatan mobil konstan, maka partikel udara berikutnya juga akan melewati titik A tersebut dan mengikuti alur lintasan yang sama. Dengan demikian dapat didefinisikan *streamline* adalah garis-garis yang dibuat di dalam medan kecepatan sehingga setiap saat garis-garis tersebut akan searah dengan aliran disetiap titik didalam medan aliran tersebut.

Streamline pada tempat yang jauh dari kendaraan akan sejajar dan tidak terganggu. Sedangkan *streamline* di sekitar kendaraan akan mempunyai pola aliran yang sangat kompleks dikarenakan bentuk kendaraan itu sendiri yang kompleks sehingga di sekeliling kendaraan akan terdapat daerah gangguan aliran udara. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa gerakan dari partikel yang terletak jauh dari kendaraan akan memiliki kecepatan relatif yang sama dengan kecepatan kendaraan. Sedangkan pada daerah gangguan di sekeliling kendaraan, maka kecepatan relatif dari partikel sangat bervariasi, lebih besar atau lebih kecil dari kecepatan aktual kendaraan.

2.4.2 Pola Aliran di Permukaan Kendaraan

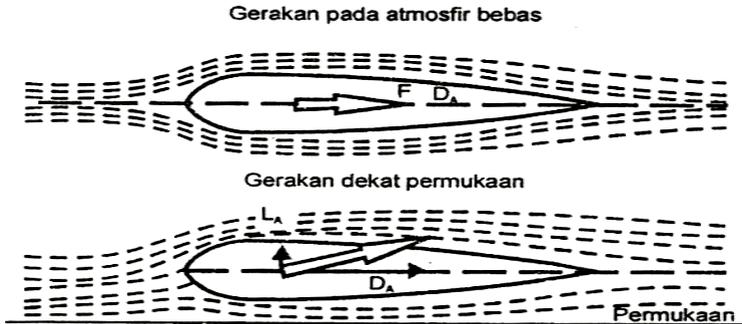
Pola aliran di permukaan kendaraan akan menyebabkan efek viskositas. Karena adanya efek viskositas dari udara maka akan menyebabkan timbulnya *boundary layer* di sepanjang permukaan kendaraan sehingga timbul *gradient* kecepatan pada permukaan kendaraan. Adanya *gradient* kecepatan menyebabkan kecepatan aliran udara pada permukaan kendaraan sangat bervariasi tergantung dari bentuk dan jenis kendaraan tersebut. Dengan adanya *gradient* kecepatan maka akan timbul distribusi tekanan di sepanjang permukaan kendaraan.

Bagian depan kendaraan merupakan daerah tekanan positif. Hal ini disebabkan adanya efek tumbukan aliran udara pada bagian depan sehingga laju aliran lebih lambat dan mengakibatkan daerah tekanan positif. Pada posisi stagnasi (nilai $C_p = 1$) yang merupakan daerah tekanan tertinggi dimana energi kinetik aliran udara diubah menjadi energi potensial, kecepatan aliran nol sehingga tekanannya tertinggi. Dari titik stagnasi, aliran udara akan mengalir kembali sehingga akan terjadi penurunan tekanan pada bodi permukaan kendaraan. Pada permukaan di bagian lekukan pada kap mesin kendaraan akan mengalami penurunan kecepatan aliran udara.

Pada pola aliran di permukaan kendaraan akan mengakibatkan efek separasi yang akan menaikkan tekanan pada kendaraan sehingga gaya hambat aerodinamis (*drag*) yang ditimbulkan akan lebih besar.

2.4.3 Pola Aliran di Bawah Kendaraan

Pola aliran udara di sekitar suatu profil yang bergerak pada atmosfer bebas berbeda dengan suatu profil yang bergerak dekat tanah (*ground*) seperti yang terjadi pada gambar 2.13 dibawah ini.



Gambar 2.13 Pola aliran udara antara profil udara bebas dan permukaan

Suatu profil yang bergerak pada atmosfer bebas akan mempunyai pola aliran udara yang simetris sehingga mempunyai distribusi tekanan yang simetris antara bagian atas dan bawah profil dan akibatnya tidak akan timbul gaya *lift*. Pada profil yang bergerak dekat dengan tanah akan menimbulkan pola aliran yang tidak simetris dengan sumbu profil sehingga akan menimbulkan gaya aerodinamis. Gaya aerodinamis bekerja miring terhadap sumbu kendaraan dan dapat timbul gaya *drag* dan *lift*. Sehingga dapat dikatakan tekanan yang dihasilkan pada bawah kendaraan lebih besar daripada permukaan atas kendaraan.

Pada permukaan kendaraan yang bergerak dekat dengan tanah, permukaan atas mobil memiliki kelengkungan lebih besar daripada permukaan bawah, sebagai akibatnya jarak yang ditempuh aliran udara pada permukaan atas lebih panjang daripada permukaan bawah kendaraan pada periode waktu yang sama.

Menurut hukum kontinuitas, semakin dekat suatu profil bergerak diatas tanah kecepatan aliran udara di antara profil dan

tanah akan semakin tinggi karena adanya pengecilan luasan, sehingga tekanan yang dihasilkan akan semakin mengecil. Tetapi pada kondisi real, dimana aliran udara memiliki viskositas maka pada jarak *ground clearance* yang sangat kecil akan berbentuk *boundary layer* pada tanah. *Boundary layer* tersebut akan mengadakan interaksi satu sama lain sehingga akan memperlambat kecepatan aliran tekanan yang dihasilkan semakin besar.

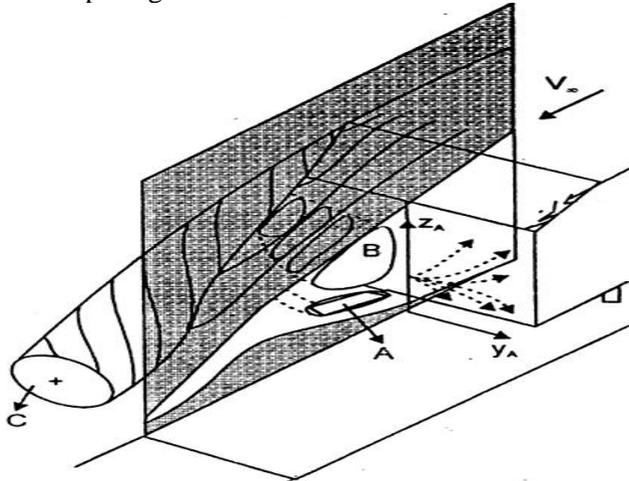
Pada kendaraan, kecepatan aliran udara pada bagian bawah juga dipengaruhi oleh suatu profil mesin bagian bawah dan kekasaran permukaan. Adanya berbagai tonjolan profil mesin pada bagian bawah akan menyebabkan separasi aliran sehingga kecepatan aliran rendah dan tekanan semakin besar.

2.4.4 Pola Aliran di Samping Kendaraan

Kecepatan aliran udara di sepanjang bagian samping kendaraan rata-rata lebih cepat dibandingkan bagian bawah kendaraan. Hal ini menyebabkan adanya gerakan aliran udara dari bagian bawah kendaraan menuju bagian samping kendaraan dan pada kecepatan tinggi akan membentuk rotasi berbentuk pusaran atau *vortex*. Perpindahan aliran udara ini disebabkan perbedaan tekanan antara bagian bawah bodi dengan bagian samping bodi. *Vortex* ini terjadi di sepanjang bodi mobil (*attached vortex*) dan di bagian belakang mobil (*trailing vortex*). Terjadinya *vortex* ini sangat merugikan, karena akan menimbulkan tekanan rendah. Vortek terbesar terjadi di bagian belakang bodi yang disebut *wake*, *vortex* ini menyebabkan tekanan rendah dan mengakibatkan perbedaan tekanan antara bagian depan bodi dengan bagian belakang bodi yang menyebabkan terjadinya gaya dorong ke belakang yang merugikan. Tekanan terendah terjadi jika terjadi *vortex* yang kecil seperti pada *bubble separation* tekanan yang dihasilkan sangat rendah, jauh lebih rendah daripada *massive separation* yang terjadi di daerah *wake*. Untuk menghindari adanya *vortex* maka dibuatlah bodi yang *streamline* dan tidak ada sudut belokan yang tajam untuk menghindari *bubble separation* maupun *massive separation*.

Adanya perbedaan tekanan pada bagian pilar belakang yaitu antara bagian samping kendaraan dengan kemiringan kaca

belakang akan menimbulkan *vortex*. Dengan demikian pada bagian belakang akan terjadi suatu pola aliran udara yang sangat kompleks dimana terjadi penyatuan *attached vortex* dan *vortex* pilar sehingga dibelakang kendaraan akan terbentuk aliran *turbulen*. Formasi *trailing vortex* pada bagian belakang kendaraan dapat dilihat pada gambar 2.14 dibawah ini.



Gambar 2.14 Pola aliran udara di bagian belakang kendaraan [4]

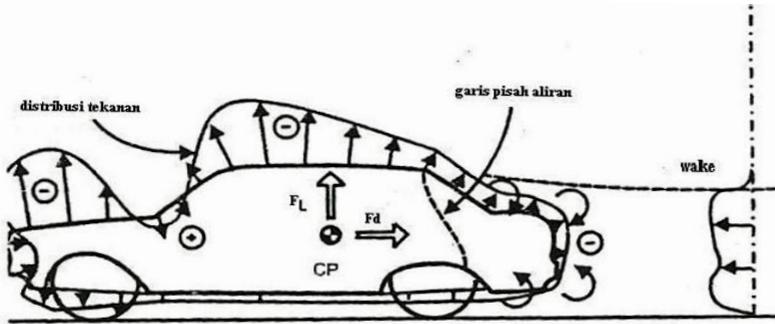
2.5 Gaya Aerodinamika

Merupakan gaya-gaya yang diterima oleh satu bodi akibat fluida yang mengalir. Dengan adanya fluida yang mengalir maka mendapat gaya tekan dan geser. Akibatnya gaya-gaya tersebut membentuk resultan gaya yang disebut gaya aerodinamika. Untuk resultan yang searah dengan aliran disebut gaya drag, sedangkan gaya yang tegak lurus aliran adalah gaya lift.

2.5.1 Gaya Drag (Gaya Hambat)

Gaya hambat (*drag*) adalah gaya yang bekerja dalam arah horizontal (paralel terhadap aliran) dan berlawanan arah dengan arah gerak maju kendaraan. Besarnya gaya hambat (*drag*) untuk setiap bentuk kendaraan berbeda satu dengan yang lainnya, dan ini tergantung pada faktor koefisien *drag* atau C_D . selain itu juga

dipengaruhi oleh luasan frontal dari kendaraan, dan tekanan dinamik. Lebih jelasnya perhatikan gambar 2.15 berikut ini.



Gambar 2.15 Hambatan bentuk pada kendaraan

Adapun perumusan gaya hambat (*drag*) pada kendaraan adalah sebagai berikut:

$$F_D = \frac{1}{2} C_d \cdot \rho \cdot V_a^2 \cdot A_f \dots\dots\dots (2.12)$$

Dimana: A=Luas frontal
 ρ =Densitas udara
 V=Kecepatan kendaraan relative terhadap udara

Hubungan antara koefisien *drag* (C_D) dan luas frontal kendaraan (A) disebut dengan faktor bentuk atau *shape factor*. Pertimbangan untuk sebuah bodi dua dimensi di dalam suatu aliran, seperti pada gambar 2.15. *Control volume* digambarkan di sekeliling bodi yang ditunjukkan dengan garis putus-putus. Control volume dibatasi oleh:

1. *Upper* dan *lower streamline* yang letaknya jauh di atas dan di bawah bodi (ab dan hi secara berturut-turut)
2. Garis yang tegak lurus terhadap kecepatan aliran yang letaknya jauh di muka (di depan) dan di belakang bodi (ai dan bh secara berturut-turut)
3. Potongan yang mengelilingi dan membungkus permukaan bodi (cdfg).

Gaya aerodinamik *drag* selain bergantung pada koefisien *drag* dan hubungannya seperti rumusnya di atas, itu masih juga dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti sifat turbulensi aliran dan bilangan *reynold*. Ketergantungan pada bilangan *reynold* ini mempunyai arti bahwa koefisien *drag* bervariasi sesuai dengan kecepatan. Tetapi pengaruh ini menjadi tidak signifikan apabila kecepatan kendaraan telah melewati kecepatan normal *cruising*. Hanya dalam pengujian model kendaraan yang dilakukan di terowongan angin atau *wind tunnel*, faktor bilangan *reynold* menjadi sangat penting.

Gaya hambat atau *drag force* yang terjadi pada kendaraan menurut **Barnard (1996)** sumbernya berasal dari *surface friction drag*, *pressure* atau *form drag*, *trailing vortex drag*, *extrencencedrag*, *drag* karena roda, dan *drag* karena sistem pendingin. Namun pada analisa gaya *drag* sudut pandang 2 dimensi *drag* karena roda, dan *drag* karena sistem pendingin diabaikan. Hal ini diakibatkan bentuk model uji yang minim dan tidak adanya peralatan tersebut.

a) *Surface friction drag*

Pengaruh *surface friction drag* terhadap koefisien *drag* relatif kecil. Menurut **Barnard(1996)** yang mengutip dari hasil penelitian **Carr (1983)** bahwa besarnya sekitar 0,04 dari harga C_D keseluruhan untuk profil yang halus, dan sekitar 0,11 untuk profil yang kasar.

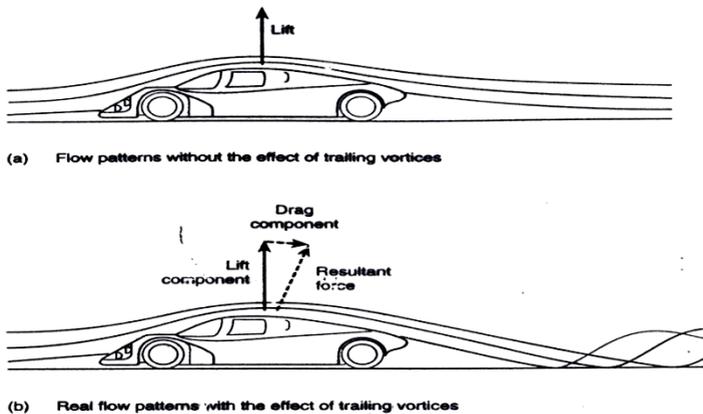
b) *Pressure atau form drag*

Aerodinamik *drag* pada kendaraan sebagian besar disebabkan oleh perbedaan tekanan yang terjadi antara permukaan bagian belakang yang rata-rata lebih rendah dari permukaan bagian depan. Distribusi tekanan yang terjadi disekeliling kendaraan dipengaruhi oleh interaksi beberapa faktor, yang terutama adalah lapisan batas atau *boundary layer*.

c) *Trailing vortex drag*

Aliran yang mengalir pada suatu kendaraan sebenarnya adalah tiga dimensi. Konsekuensinya terjadi tekanan yang

rendah pada permukaan bagian atas dibandingkan dengan bagian bawah. Akibatnya timbul gaya angkat atau *lift force*. Selain itu udara cenderung mengalir dari sisi bawah yang bertekanan tinggi ke bagian atas yang bertekanan rendah, sehingga timbul *vortices* pada daerah *wake*. *Vortices* ini disebut dengan *trailing vortices*. Terbentuknya *trailing vortices* menghabiskan momentum aliran yang cukup besar sehingga ini juga merupakan sumber dari *drag*. Gambar 2.16 (a.) di bawah ini menunjukkan bentuk aliran udara yang melewati bodi mobil dengan *ground effect* yang terjadi untuk aliran dua dimensi dan aliran tiga dimensi.



Gambar 2.16 Bentuk *trailing vortice* pada aliran melewati bodi mobil dengan *ground effect* sudut pandang 2D maupun 3D

Dari gambar 2.16 (b.) di atas tampak pada aliran tiga dimensi *vortice* menarik udara di belakang kendaraan sehingga menciptakan tekanan yang rendah disana dan akibatnya aliran tertarik ke bawah. Karena udara berputar dengan kecepatan yang tinggi, maka sesuai dengan persamaan Bernoulli tekanan pada *vortex* rendah. Dengan berkurangnya tekanan pada bagian belakang kendaraan maka akan memperbesar beda tekanan yang terjadi antara di depan dan belakang kendaraan yang akhirnya akan menaikkan *drag*.

Pada proses terjadinya pusaran atau *vortice* ini banyak energi yang terpakai, sehingga hal ini juga merupakan sumber *drag*.

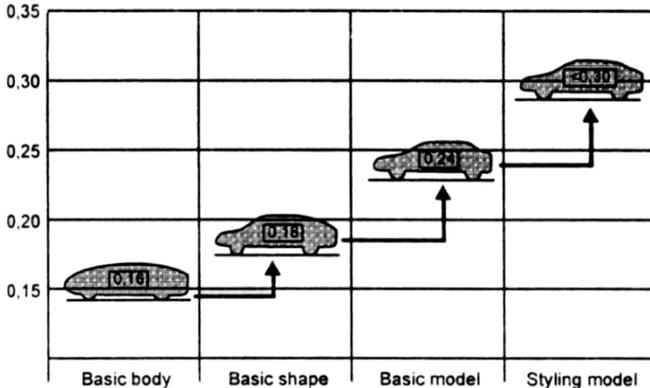
d) *Extrencence drag*

Banyaknya bagian yang menonjol yang terdapat pada permukaan kendaraan sehingga membentuk celah, seperti kaca spion, dapat menyebabkan terjadinya separasi lokal yang akhirnya juga menimbulkan aliran *vortice*. Akibatnya dapat menghasilkan *drag*. Selain itu *drag* dapat juga terjadi karena bagian yang menonjol tersebut dapat mempengaruhi transisi dari lapisan batas, sehingga timbulnya separasi pada aliran utama.

2.5.2 Gaya Lift (Gaya Angkat)

Perbedaan bentuk antara permukaan atas dan bagian bawah kendaraan menyebabkan aliran udara pada permukaan atas lebih cepat daripada aliran udara pada permukaan bawah, sehingga tekanan pada permukaan atas kendaraan lebih rendah daripada tekanan permukaan bawah.

Faktor lain adalah kekasaran bagian permukaan bawah kendaraan yang disebabkan oleh profil mesin dan komponen lain yang memperlambat aliran di bawah 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, seperti yang dijelaskan pada gambar 2.17 dibawah ini.



Gambar 2.17 Distribusi koefisien gaya angkat (*lift force*)

Gaya ini bekerja dalam arah vertikal dan biasanya arah ke atas ditandai sebagai arah positif dan ke bawah sebagai arah negatif. Gaya *lift* secara total dapat dirumuskan sebagai berikut:

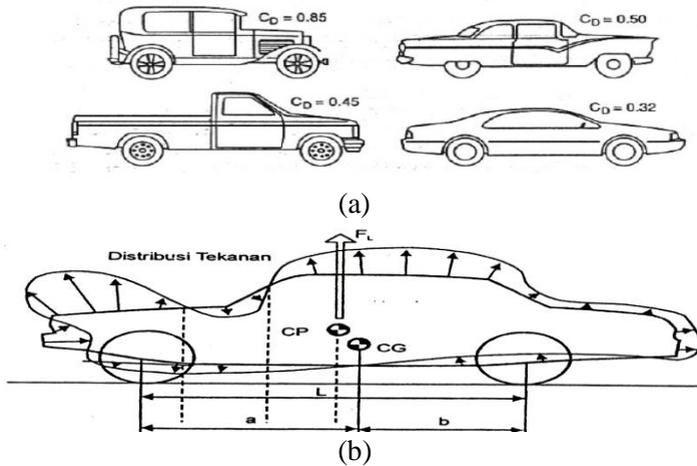
$$F_L = \frac{1}{2} C_L \cdot \rho \cdot V_a^2 \cdot A_f \dots \dots \dots (2.25)$$

Dimana: C_L = koefisien gaya angkat.

2.6 Pengaruh Bentuk Bodi

Banyak problema di dalam bidang aerodinamika yang tidak bisa diselesaikan hanya dengan perhitungan analitis dan matematis saja tetapi harus menggunakan berbagai macam eksperimen untuk membantu memecahkan permasalahan dan menunjang teori dasar yang telah ada. Dari hasil eksperimen dapat diambil suatu kesimpulan yang nantinya berguna untuk memecahkan problema aerodinamika.

Pada gambar 2.18 dasarnya proses perancangan bentuk bodi kendaraan dapat dibagi dalam 5 tahap yaitu *basic body*, *basic shape*, *basic model*, *styling model*, dan tahap akhir yaitu *production car*.

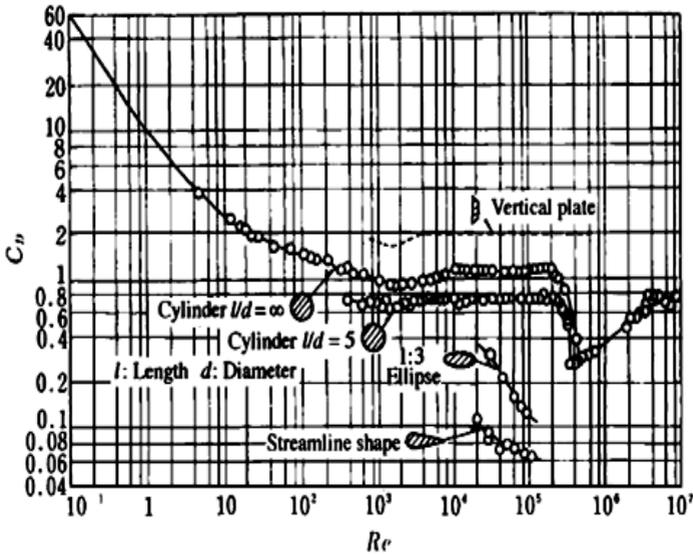


Gambar 2.18 (a) Tahap perencanaan bodi kendaraan
 (b) Percobaan bodi kendaraan yang telah dilakukan

Analisa yang dilakukan oleh berbagai ahli aerodinamika terhadap bentuk bodi kendaraan dilakukan dengan melakukan riset pengujian terhadap berbagai macam komponen bodi kendaraan dan pengaruhnya terhadap beban angin.

2.6.1 Koefisien Hambat berbagai Bentuk Kendaraan

Dari tahun ke tahun model kendaraan mengarah pada penurunan koefisien hambatan 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 2.19 di bawah ini.

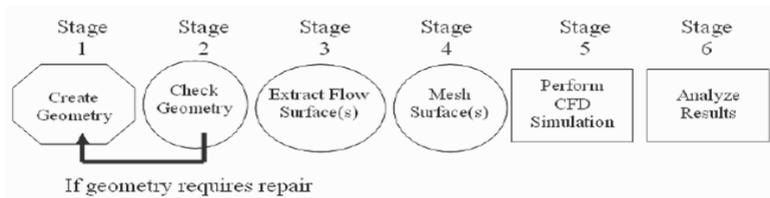


Gambar 2.19 Koefisien *drag* untuk silinder dan bentuk dasar lainnya [2]

2.7 Dinamika Aliran Fluida secara Komputasi (*Computational Fluid Dynamics*)

Dengan menggunakan salah satu *software CFD* dapat dibuat *virtual prototype* dari sebuah sistem atau alat yang ingin dianalisis dengan menerapkan kondisi nyata di lapangan. *Computational fluid dynamics* (CFD) merupakan perangkat analisa system dengan melibatkan aliran fluida, perpindahan panas, *momentum*, perpindahan energi, dan fenomena aliran lain didasarkan simulasi berbantuan computer. Simulasi menggunakan CFD menghasilkan parameter-parameter penting seperti tekanan, suhu, kecepatan, dan laju alir massa (*mass flow rate*). Analisa menggunakan CFD diperlukan pemahaman dan pengetahuan dasar bidang mekanika fluida untuk interpretasi hasil-hasil simulasi. Penyederhanaan CFD terdiri dari tiga tahapan proses pengerjaan, yaitu *preprocessing* (spesifikasi geometri, pemilihan *turbulence model*, spesifikasi parameter dan *grid generation*) kemudian *postprocessing* (*visualization* dan *treatment data*).

Prosedur CFD melalui tahapan seperti diagram pada gambar 2.20 berikut.



Gambar 2.20 Blok diagram simulasi dengan *CFD*

Software CFD akan memberikan data-data, gambar-gambar, atau kurva-kurva yang menunjukkan prediksi dari performansi keandalan sistem yang telah didesain tersebut. Hasil analisis CFD bisa menyajikan prediksi kualitatif dan kuantitatif dari berbagai persoalan dinamika fluida.



Gambar 2.21 Diagram simulasi Fluent pada Ansys Workbench18.1

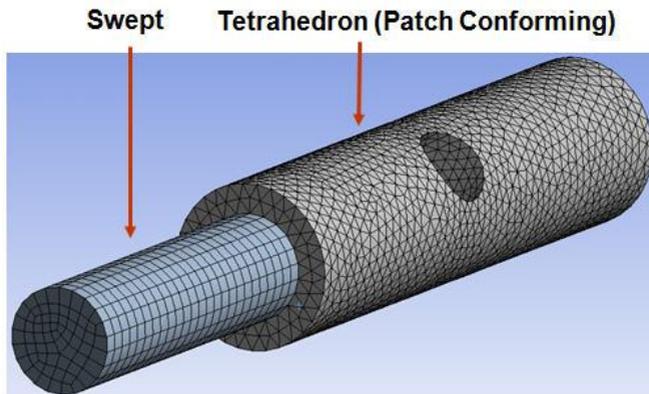
Software CFD yang digunakan yaitu *Ansys Workbench 18.1* dengan *Fluent-Solver* sebagai sarana simulasinya. Pada gambar 2.21 dapat dilihat *software Ansys Workbench 18.1* sudah menyediakan beberapa program yang akan membantu proses pengujian pada *Fluent* dalam bentuk yang sudah diruntutkan misalnya *Geometry* untuk membuat desain geometri 3D maupun 2D atau juga dapat membuat suatu boundary layer dan *mesh* untuk sarana melakukan *meshing* pada geometri yang telah dibuat [12]. Selanjutnya akan disajikan lebih lanjut pada berikut ini:

2.7.1 MESH

Meshing yang digunakan adalah *Software* yang sudah terdapat pada *Ansys Workbench* yaitu *Mesh*. *Mesh* ini dapat membuat *meshing* untuk berbagai macam bentuk, termasuk bentuk-bentuk yang rumit dan tidak beraturan. Pembuatan geometri yang digunakan dalam *software* ini adalah koordinat (x,y). *Meshing* merupakan proses selanjutnya setelah menggambar geometri dimana *meshing* dapat dilakukan dengan berbagai macam bentuk *mesh*, yaitu automatic, tetrahedrons, Hex Dominant dan Cut Cell. Berikut adalah penjelasan dari bentuk-bentuk metode *mesh*:

a.) Automatic Meshing Method

Jika menggunakan metode automatic, maka hasil mesh akan memungkinkan membentuk lengkungan (*Swept*) dan juga Tetrahedron



Gambar 2.22 Automatic Method

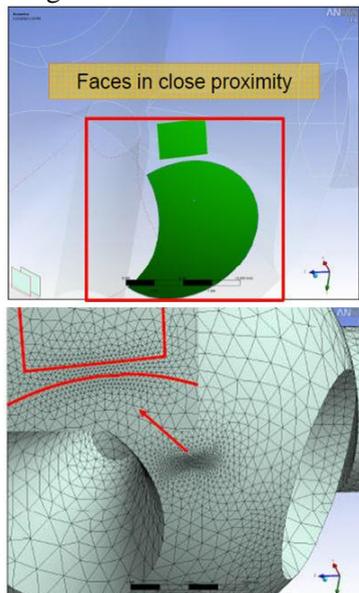
b.) Tetrahedron Meshing Method

Dimana semua tetrahedral *mesh* dibuat. Terdapat pengaturan algoritma sehingga dapat memilih bagaimana *mesh* tetrahedral dibuat berdasarkan pilihan dari 2 algoritma yakni *Patch Conforming* dan *Patch Independent*

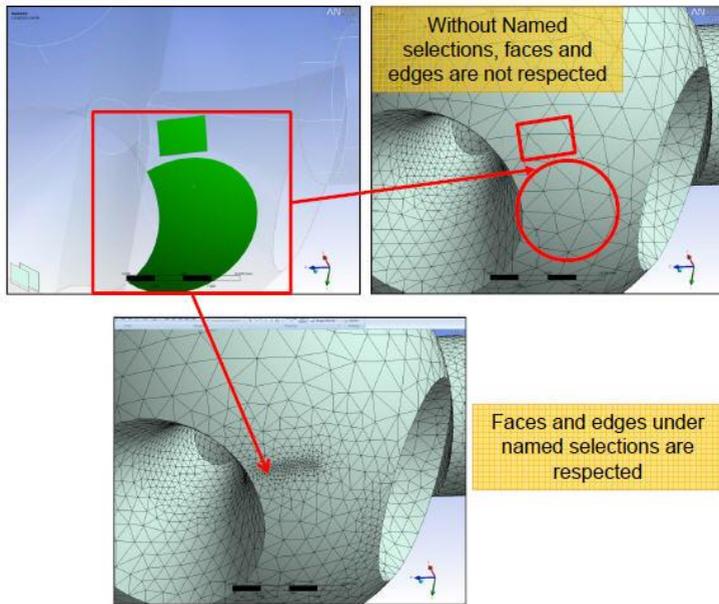
Untuk *Patch Conforming* lebihannya yaitu proses meshing dimulai dari tepi, muka dan kemudian

bodi. Semua permukaan bodi dan *boundary layer* didetailkan pada hasil *mesh*. Pilihan ini cocok untuk tampilan geometri yang bentuknya rapi dan tidak rumit.

Sedangkan untuk *Patch Independent* kelebihanannya yaitu volume mesh diproses terlebih dahulu lalu diproyeksikan ke area muka dan tepian. Untuk permukaan dan batas tepian bila tidak diberi kondisi batas atau objek lain maka *mesh* tidak akan didetailkan. Pilihan ini cocok untuk geometri yang rumit. Berikut adalah gambar 2.23 dan 2.24 hasil dari kedua pilihan algoritma untuk tetrahedral *mesh*:



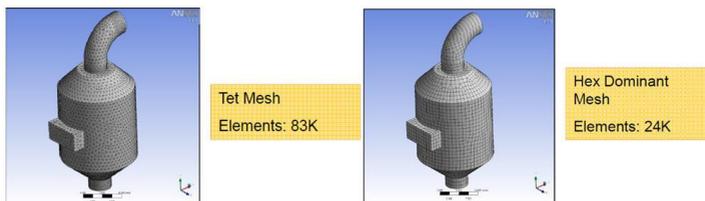
Gambar 2.23 *Patch Conforming Method*



Gambar 2.24 *Patch Independent method*

c.) *Hex Dominant Meshing Method*

Dimana hasil mesh dominan berbentuk hex. Pilihan ini digunakan untuk permukaan bodi yang tidak bisa di-*swept*. *Hex Dominant Meshing* mengurangi jumlah elemen mesh yang dihasilkan. Pada gambar 2.25 jumlah elemen *mesh* dari tetrahedral lebih banyak dibandingkan jumlah elemen *mesh* dari *hex dominant*.



Gambar 2.25 Perbandingan jumlah elemen *tetrahedrons* dan *Hex Dominant*

Selain itu, pada *software Mesh* ini juga dapat dilakukan pengecekan kualitas *mesh* sesuai dengan standar yang kita inginkan. Semakin kecil kualitas *meshing* yang dibuat maka semakin akurat data yang di peroleh, tetapi akan butuh waktu yang lama. *Mesh* juga memungkinkan penggunaanya untuk memperhalus atau memperbessar *mesh* yang sudah ada. Tahap pemodelan terakhir pada *Mesh* adalah proses penentuan jenis kondisi batas. *Meshing* yang telah dibuat pada *Software Mesh* dapat dilanjutkan ke kolom *setup* atau juga bisa disebut *software CFX-Pre*.^[6]

2.7.2 Fluent

Fluent adalah satu jenis progam 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*) *triangular-quadrilaterall*, 3D (*three-dimension*) *tetrahedral-hexahedral-pyramid* dan *mesh automatic*. Beberapa kelebihan *Fluent* yaitu mudah untuk digunakan, model yang realistik (tersedia berbagai pilihan *solver*), diskritisasi atau *meshing* model yang efisien, cepat dalam penyajian hasil (bisa dengan paralel komputer), dan visualisasi yang mudah untuk dimengerti. Aplikasi *Ansys Fluent* di dalam dunia industri, sering digunakan untuk desain otomotif dan juga untuk mencari sumber atau analisis kegagalan suatu sistem fluida. *Software* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Ansys Fluent-Pre* pada kolom *setup*, *Fluent-Solver Manager* pada kolom *Solution* dan *Fluent-Post* pada kolom *Results*.

1) Formulasi Solver

Di dalam *Fluent* tersedia tiga formulasi *solver*, yaitu *segregated*, *coupledimplisit*, dan *coupledeksplisit*. Ketiga formulasi tersebut menghasilkan solusi yang akurat untuk berbagai jenis kasus, tetapi pada beberapa kasus tertentu salah satu formulasi mungkin dapat menghasilkan solusi yang lebih cepat daripada yang lain.

Formulasi *solversegregated* menyelesaikan persamaan-persamaan pada suatu kasus secara bertahap, sedangkan pada *solver coupled* menyelesaikan semua persamaan secara bersamaan. Kedua formulasi *solver* tersebut menyelesaikan persamaan untuk besaran-besaran tambahan (misalnya, radiasi, turbulensi) secara bertahap. *Solver coupled* implisit dan eksplisit mempunyai perbedaan pada cara melinierkan persamaan-persamaan yang akan diselesaikan.

Secara umum, *solversegregated* banyak digunakan untuk kasus dengan fluida inkompresibel dan kompresibel dengan kecepatan aliran rendah sampai menengah (bilangan *Mach* < 1). Adapun *solver coupled* pada dasarnya didesain untuk kasus fluida kompresibel dengan kecepatan tinggi (bilangan *Mach* ≥ 1).

2) Penentuan Model

Pada *Fluent* terdapat beberapa model dan persamaan dasar yang dapat dipilih sesuai dengan kasus yang akan dianalisis. Persamaan-persamaan tersebut meliputi model multifasa, persamaan energi, model viskos, model spesies transport dan reaksi, model fasa diskrit, model pembekuan dan peleburan, dan model akustik. Pada topik kali ini akan dibahas lebih lanjut mengenai persamaan energi dan model viskos.

Secara garis besar, model *turbulen* dapat didekati dengan dua pendekatan, yaitu berdasarkan *Reynolds Averaged Navier Stokes (RANS)* dan berdasarkan *Large Eddy Simulation (LES)*. Sebelum menentukan model viskos, harus ditentukan terlebih dahulu apakah aliran fluida yang akan disimulasikan termasuk dalam aliran *laminar* atau *turbulen* dengan menghitung bilangan *Reynolds* terlebih dahulu. Apabila termasuk aliran *turbulen*, maka *CFX* menyediakan beberapa model turbulensi, yaitu model *Spalart - Allmaras*, model *k-epsilon (k - ϵ) Standard*, *k - ϵ Renormalization group (k - ϵ RNG)*, *k - ϵ Realizable*, model *k - ω Standard*, *k- ω Shear Stress Transport (SST)*, model *Reynoldsstress (RSM)*, dan model *Large Eddy Simulation (LES)* khusus 3D.

Dari pemodelan-pemodelan tersebut, pemodelan turbulensi yang baik dalam memprediksi tekanan statis dinding adalah pemodelan *k - ϵ realizable*. Hal ini dikarenakan *error*

yang terjadi pada model tersebut adalah paling kecil, sehingga dapat dikatakan lebih akurat dibandingkan pemodelan lain untuk mendeskripsikan tekanan statis. Model *k-epsilon realizable* merupakan pengembangan model yang relatif baru dan berbeda dengan model *k-epsilon* dalam dua hal, yaitu:

- Pada model *k-epsilon realizable* terdapat formulasi baru untuk memodelkan viskositas *turbulen*.
- Sebuah persamaan untuk *epsilon* telah diturunkan dari persamaan untuk menghitung fluktuasi vortisitas rata-rata.

Istilah *realizable* mempunyai arti bahwa model tersebut memenuhi beberapa batasan matematis pada bilangan *Reynolds*, konsisten dengan bentuk fisik aliran *turbulen*. Kelebihan dari model *k-epsilon realizable* adalah lebih akurat untuk memprediksikan laju penyebaran fluida dari pancaran jet/nozel. Model ini juga memberikan performa yang bagus untuk aliran yang melibatkan putaran, lapisan batas yang mempunyai gradien tekanan yang besar, separasi, dan resirkulasi. Salah satu keterbatasan model *k-epsilon realizable* ialah terbentuknya viskositas *turbulen* non fisik pada kasus dimana domain perhitungan mengandung zona fluida yang diam dan berputar (*multiple reference frame, sliding mesh*).

3) Penentuan Kondisi Batas

Untuk mendefinisikan suatu kasus, harus dimasukkan informasi pada variabel aliran pada domain kasus tersebut, antara lain fluks massa, momentum, energi, dan lain-lain. Informasi tersebut salah satunya harus dimasukkan dalam kondisi batas (*boundarycondition*). Penentuan kondisi batas melibatkan beberapa hal, yaitu:

- mengidentifikasi lokasi kondisi batas, misalnya sisi masuk, sisi keluar, dinding, dan lain-lain;
- memasukkan informasi/data pada batas yang telah ditentukan.

Data yang diperlukan (input) pada kondisi batas merupakan data yang sudah diketahui atau data yang dapat diasumsikan. Tetapi asumsi data tersebut harus diperkirakan mendekati yang sebenarnya. *Input* data yang salah pada kondisi batas akan sangat

berpengaruh terhadap hasil simulasi. Kondisi batas yang terdapat pada *Fluent* sebagai berikut:

- Umum: *pressure inlet, pressure outlet*
- Aliran inkompresibel: *velocity inlet, outflow*
- Aliran kompresibel: *mass flow inlet, pressure far-field*
- Spesial: *inlet vent, outlet vent, intake fan, exhaust fan*
- Sisi ganda (*doublesided*): *fan, interior, porous jump, radiator*
- Lain-lain: *wall, symmetry, periodic, axis*

Pada pembahasan kali ini akan dibahas lebih lanjut mengenai *velocity inlet, outflow, dan wall*.

a) *Velocity Inlet*

Kondisi batas *velocity inlet* digunakan untuk mendefinisikan kecepatan aliran dan besaran skalar lainnya pada sisi masuk aliran. Kondisi batas ini hanya digunakan untuk aliran inkompresibel. Metode spesifikasi kecepatan yang ada pada kondisi batas ini adalah:

- Komponen (*Components*)
- Besar/nilai kecepatan, tegak lurus terhadap batas (*Magnitude, normal to boundary*)
- Besar/nilai kecepatan dan arah (*Magnitude & direction*)

b) *Outflow*

Kondisi batas ini digunakan apabila data aliran pada sisi keluar tidak diketahui sama sekali atau dapat diabaikan. Data pada sisi keluar diekstrapolasi dari data yang ada pada aliran sebelum mencapai sisi keluar. Tidak perlu dimasukkan data apapun pada kondisi batas ini. Keterbatasan kondisi batas *outflow* adalah:

- Hanya dapat dipakai jika aliran pada sisi keluar adalah aliran berkembang penuh (*fully developed*).
- Hanya dapat dipakai untuk aliran inkompresibel.
- Tidak dapat digunakan bersamaan dengan kondisi batas *pressure inlet*, harus menggunakan kondisi batas *velocity inlet* pada sisi masuk.

- Tidak dapat digunakan untuk aliran transien dan massa jenis yang tidak konstan sepanjang aliran.
- Tidak dapat digunakan untuk kasus yang mengalami aliran balik pada sisi keluarnya, karena persamaan yang digunakan untuk mengekstrapolasi data pada aliran megasumsikan aliran yang terjadi pada sisi keluar adalah aliran berkembang penuh yang tidak mungkin terjadi aliran balik. Oleh karena itu apabila hendak dipakai kondisi batas *outflow*, harus dipastikan terlebih dahulu bahwa lokasi kondisi batas tersebut telah berada pada daerah aliran berkembang penuh.

c) **Wall**

Kondisi batas ini digunakan sebagai dinding untuk aliran fluida dalam saluran atau dapat disebut juga sebagai dinding saluran. Kondisi batas ini digunakan juga sebagai pembatas antara daerah fluida (cair dan gas) dan padatan. Pada aliran viskos, kondisi *no slip* yang terjadi pada dinding sebagai berikut:

- Kecepatan tangensial fluida pada dinding sama dengan kecepatan dinding, jadi apabila dindingnya tidak bergerak maka kecepatan tangensial fluida pada dinding sama dengan nol.
- Komponen arah normal kecepatan fluida pada dinding sama dengan nol.
- Tegangan geser yang terjadi antara dinding dan fluida dapat ditentukan.

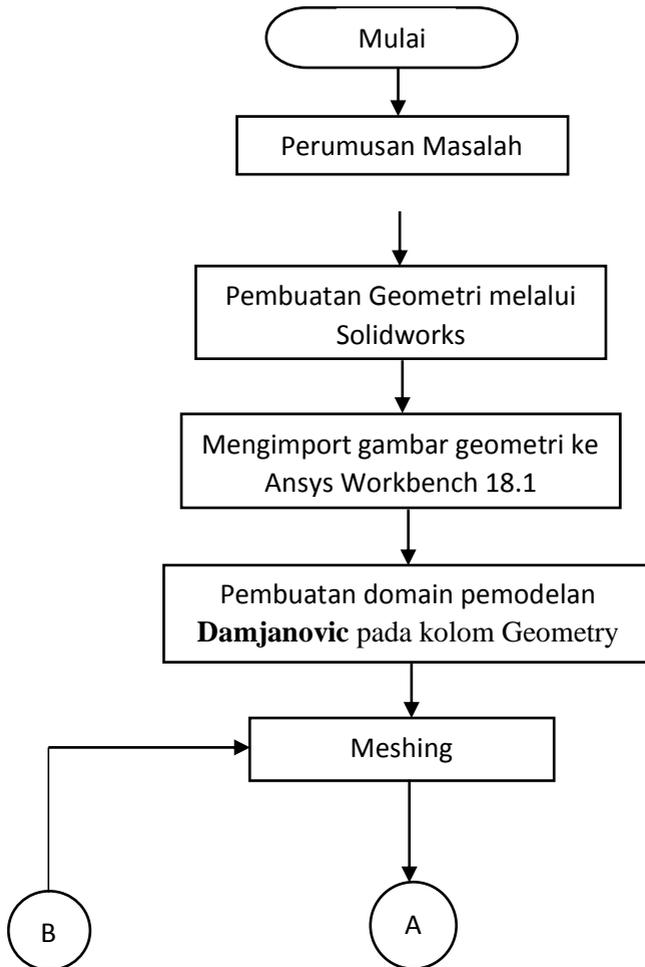
Apabila persamaan energi diaktifkan, maka pada dinding terdapat beberapa tipe fungsi kondisi termal antara lain *heatflux*, temperatur, konveksi, dan radiasi. Kekasaran permukaan dinding dapat ditentukan apabila menggunakan model viskos *turbulen*. Dinding juga dapat dibuat bergerak secara translasi dan rotasi.[13]

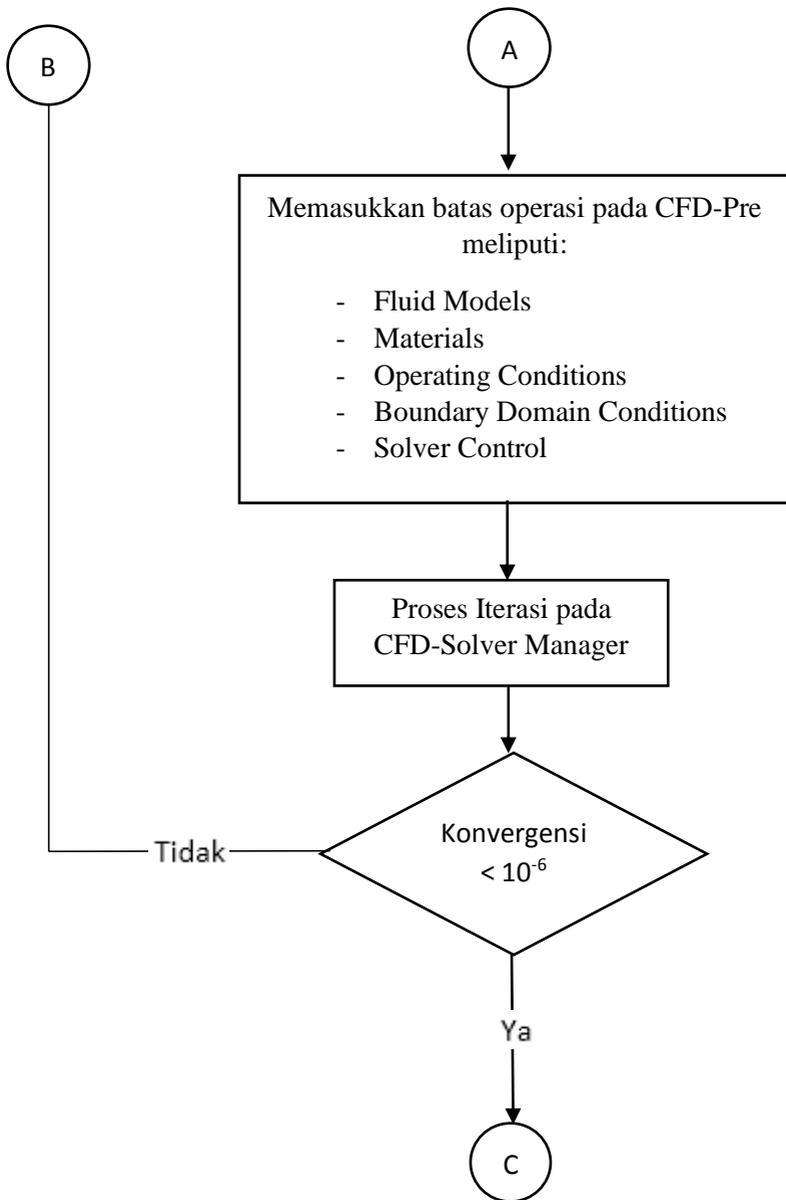
Halaman ini sengaja dikosongkan

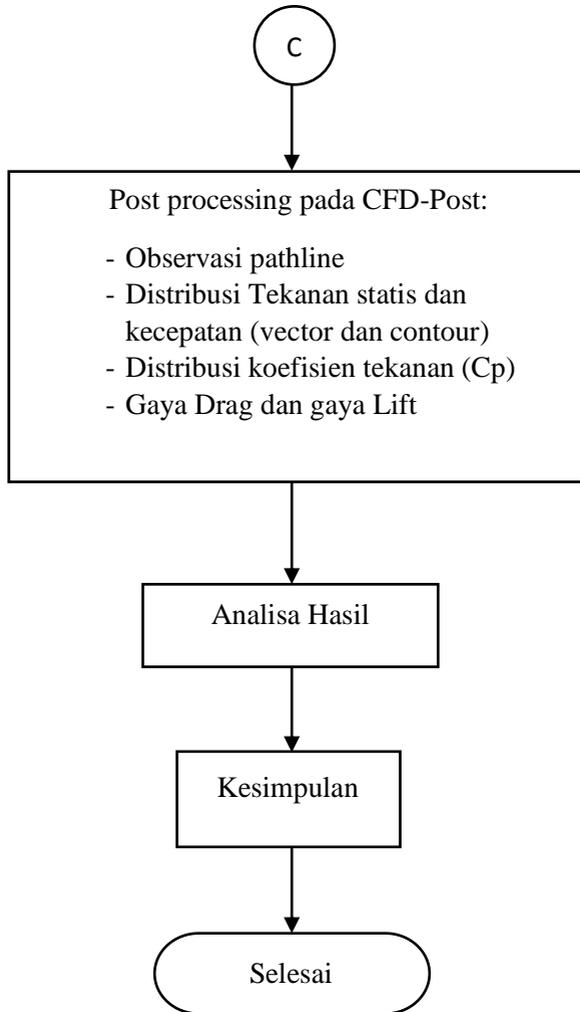
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir (*Flowchart*) Metode Penelitian

Berikut ini adalah metode penelitian yang dipakai dalam penganalisaan karakteristik aliran pada bodi Mobil *Nogogeni* yang ditunjukkan pada gambar 3.1.







Gambar 3.1 *Flowchart* metodologi penelitian

Pada penelitian ini ada tiga metode tahapan utama yang harus dilakukan, yaitu : *preprocessing*, *solving* atau *processing*, dan *postprocessing*. Dikarenakan keterbatasan visualisasi aliran melintasi bodi mobil *Nogogeni* maka penelitian ini menggunakan metode numerik dengan bantuan *software Ansys Workbench 18.1* dengan menggunakan *CFD-solver*, sehingga dapat membantu mempermudah melakukan proses bertahap dikarenakan sudah dalam bentuk yang berurutan dan bila terdapat proses yang belum terselesaikan maka proses selanjutnya tidak dapat dilanjutkan. Dalam penelitian ini juga disertakan penampilan 3D dari bodi mobil *Nogogeni*.

3.2 Preprocessing

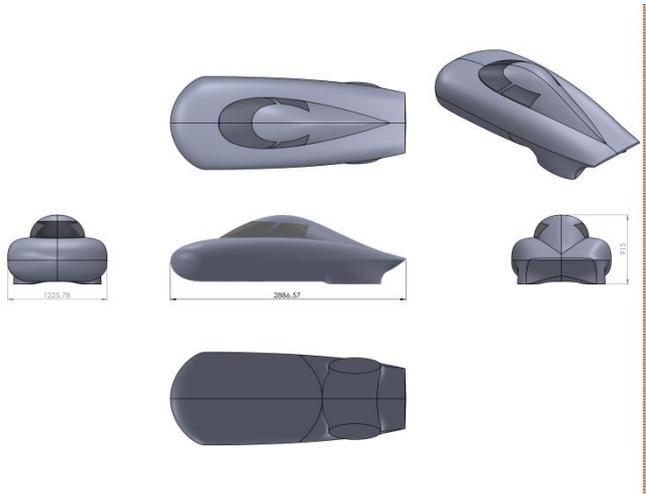
Preprocessing merupakan langkah pertama dalam membangun dan menganalisa sebuah model komputasi (*CFD*). Tahapan ini meliputi beberapa sub-tahapan antara lain: pembuatan geometri, penentuan domain, pembuatan *meshing* dan penentuan parameter-parameter yang digunakan.[13]

3.2.1 Geometri Mobil *Nogogeni*

Pembuatan geometri mobil *Nogogeni* ini menggunakan *software solidwork*. Adapun dimensi dan geometri 3 D dari mobil *Nogogeni* dapat dilihat pada tabel 3.1 dan pada gambar 3.2 berikut :

Tabel 3.1 Dimensi bodi mobil *Nogogeni*

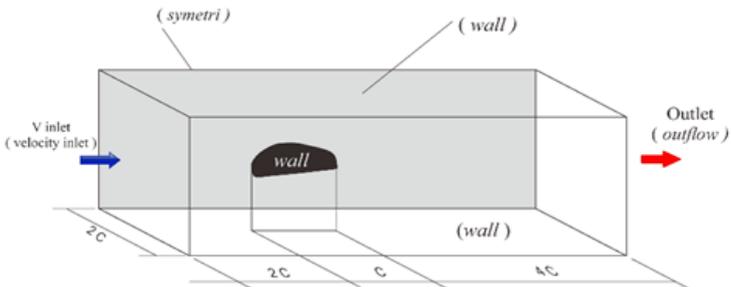
Parameter	Dimensi (mm)
$L = C$ (<i>chord</i>)	2886.57
W	1225.78
H	915



Gambar 3.2 Geometri 3D bodi mobil *Nogogeni* [3]

3.2.2 Domain Pemodelan

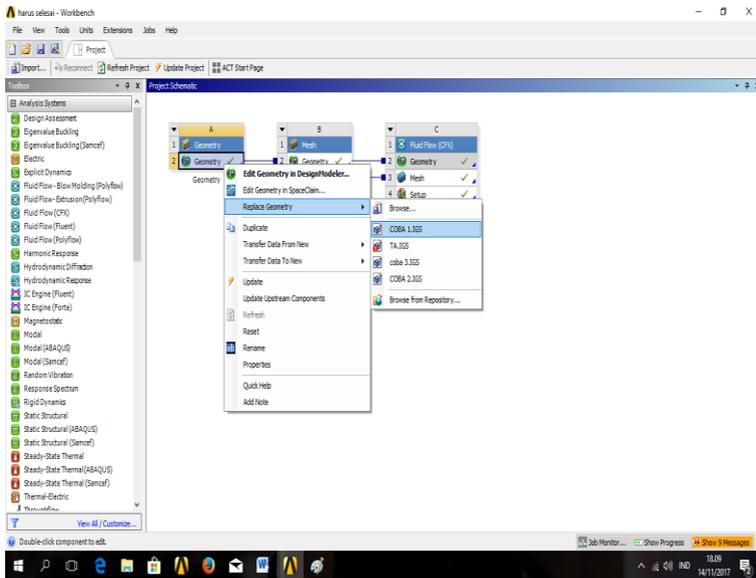
Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik aliran 3D yang melintasi bodi yaitu pengujian dengan tidak menyertakan *ground clearance*. Penentuan dimensi domain merujuk pada penelitian berbasis *vehicle aerodynamics* yang dilakukan oleh **Damjanović** dalam pemodelan numerik yang nantinya menjadi batasan pada *software Ansys CFD-Pre 18.1*. berikut ini adalah gambar 3.3 tentang domain yang digunakan untuk pemodelan:



Gambar 3.3 Domain Pemodelan Bodi (3D Flow) [4]

Untuk membuat domain pemodelan pada hal yang pertama kali dilakukan adalah dengan membuka *software Ansys Workbench 18.1*, pada gambar 3.4 dapat dilihat bahwa terdapat 5 urutan proses dimana masing-masing proses harus terselesaikan secara bertahap, hal ini dimaksudkan untuk memudahkan dalam melakukan proses peneilaian secara berurutan. Berikut langkah-langkah pembuatan domain pemodelan bodi:

1. Klik kanan pada tab geometri → *Import Geometry* → Kemudian pilih file yang akan di-*import* yang sudah disimpan dalam format *.SLDPRT* pada *solidworks*

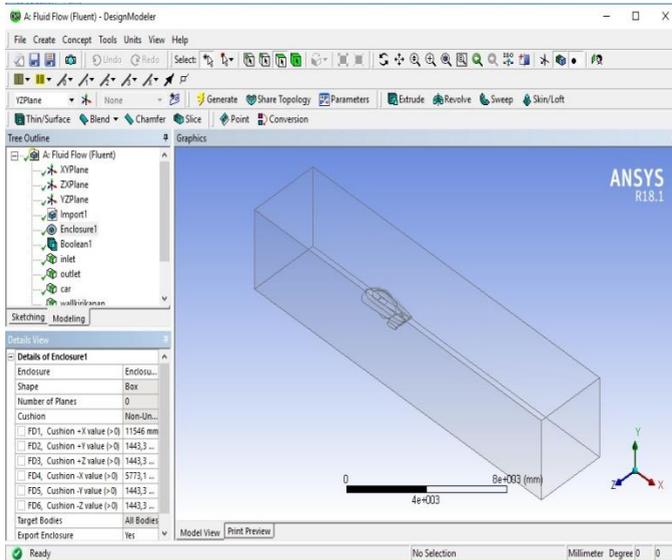


Gambar 3.4 Tampilan urutan proses dan cara *Import geometry* [3]

2. Setelah itu klik 2x pada *Geometry* → Pilih *Tools* pada menu bar → Pilih *Enclosure*, kemudian pada *Details View* terdapat kolom untuk mengisikan dimensi domain

pemodelan yang bisa kita sesuaikan dengan penentuan **Damjanović**.

3. Kemudian lakukan *subtract* pada mobil dengan domain pemodelan **Damjanovic**, dengan cara memilih *Create* lalu pilih *Boelan* kemudian merubah *operation unit* menjadi *subtract*, karena mobil dalam keadaan diam dan akan dialiri fluida (udara). Berikut hasil tampilan dari proses pembuatan domain yang ditunjukkan pada gambar 3.5.



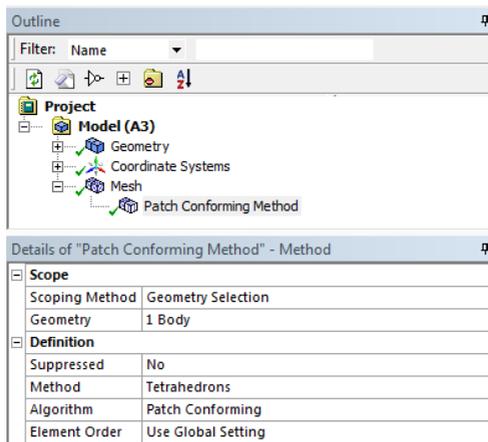
Gambar 3.5 Pembuatan dimensi domain pemodelan [3]

3.2.3 Meshing

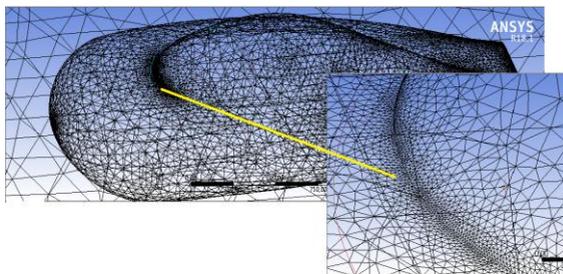
Bidang atau volume yang diisi oleh fluida dibagi menjadi sel-sel kecil (*meshing*) sehingga kondisi batas dan beberapa parameter yang diperlukan dapat diaplikasikan kedalam elemen-elemen kecil tersebut.

Pembuatan *meshing* dapat dilakukan diproses selanjutnya yaitu pada kolom *Mesh*. Berikut ini adalah langkah-langkah pembuatan *meshing* :

1. Klik kanan pada *Mesh* → Insert → Method, kemudian pilih *Tetrahedrons Method* dengan *Patch Conforming Algorithm* maka tampilannya akan menjadi seperti pada gambar 3.6. Hasil dari tahap ini adalah model menjadi seperti gambar 3.7



Gambar 3.6 *Meshing Method* [3]



Gambar 3.7 Hasil *Tetrahedrons Mesh* dengan *Patch Conforming Algorithm* [3]

2. Interval Size

Terdapat 2 jenis pilihan dari fungsi ukuran pada *mesh* yaitu *Uniform* dan *Curvature*. *Uniform* memiliki fungsi membuat bentuk dari ukuran *mesh* menjadi sama semua pada setiap permukaan bidang, sedangkan untuk *Curvature* membuat bentuk dari ukuran *mesh* berbeda-beda tergantung dari permukaan bidang, semisal untuk bagian lengkungan dan garis otomatis dibuat ukuran *mesh* yang sangat kecil dibanding dengan bidang permukaan yang datar. Pada percobaan kali ini jenis fungsi ukuran *mesh* yang digunakan yaitu *Curvature*, karena bersesuaian dengan *mesh method* yang digunakan yaitu *Patch Conforming Algorithm* dan dengan menggunakan interval size pada visualisasinya yang ada pada tabel 3.2 dibawah ini:

3.2 Tabel *Mesh Properties*

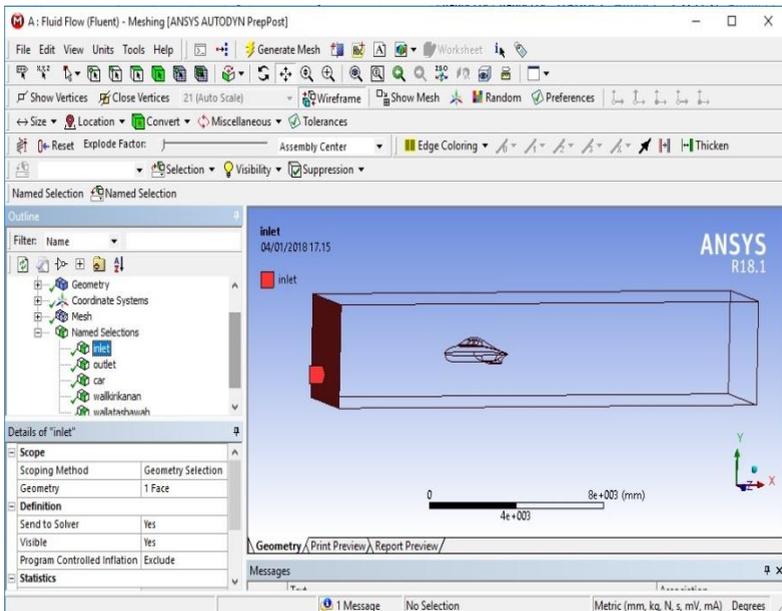
No	Nama	Nilai
1	Minimum Mesh	10,4580 mm
2	Maximum Mesh	1045,80 mm
3	Jumlah Cells	299.801cells
4	Relevance	0
5	Kualitas Mesh	0,9000

3. 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 enam kondisi batas yaitu dinding bawah, bodi mobil, Symetri untuk dinding kanan dan dinding kiri mobil, *inlet* sebagai daerah

input *properties* kecepatan awal, *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* bodi mobil di dalam lorong atau terowongan. Untuk pemberian batas pada *mesh* seperti pada gambar 3.8 dapat dilakukan dengan cara klik kanan pada daerah yang dipilih lalu pilih *Create Named Selection*. Selanjutnya untuk pemberian nilai propertis pada kondisi batas dapat dilakukan di software *CFD-Pre* yaitu proses selanjutnya setelah *mesh*.



Gambar 3.8 Pemberian penamaan daerah batas [3]

3.1.4 Parameter Pemodelan

Pada pemodelan karakteristik fluida ini akan menggunakan salah satu *software* analisis komputasi fluida dinamik atau *Computational Fluid Dynamic (CFD)*. Langkah

pertama yang harus dilakukan adalah dengan membuka proses selanjutnya setelah *mesh* yaitu *setup*, yang otomatis membawa kita ke *software CFD-Pre* dengan fitur 3D.

Berikut ini merupakan langkah-langkah pemodelan numerik menggunakan *software CFD-Pre*:

1. Domain Models

Merupakan perkiraan kondisi yang diberikan pada kondisi pengoperasian STP (*Standart, Temperature and Pressure*) dalam pengaturan *Default Domain* berupa tekanan (P) disekitar mobil *Nogoni*, yaitu sebesar 1 atm = 101325 Pascal.

2. 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, maka:

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

$$Re = \frac{1,225 \frac{Kg}{m^3} \cdot 11,1111 \frac{m}{s} \cdot 2,88657 m}{1,7894 \times 10^{-5} \frac{Kg}{m \cdot s}}$$

$$Re = 1,976476 \times 10^6$$

$$Re > 5 \times 10^5 \text{ (Turbulent)}$$

dimana : ρ : Densitas fluida
 U_{∞} : Kecepatan aliran *free stream* fluida
 L : Panjang karakteristik yang diukur pada medan aliran, dalam kasus ini digunakan panjang (Chord) bodi mobil

μ : Viskositas dinamis fluida

Jadi, dalam kasus ini digunakan aliran turbulen dengan model *k-epsilon* karena diharapkan hasil yang diperoleh akan lebih akurat dalam memprediksi laju penyebaran fluida.

3. Materials

Langkah yang paling penting dalam pemodelan di *CFD* adalah mendefinisikan sifat fisik material. Pada *form material* terdapat data-data properti dan material yang harus dimasukkan. Dalam hal ini material yang digunakan adalah *air ideal gas* dengan *density* 1,225 kg/m³ dan *dynamic viscosity* 1,7894x10⁻⁵ kg/ms.

4. Boundary Domain Conditions

Merupakan penentuan kondisi batas melibatkan beberapa hal, yaitu dengan pemberian beban kecepatan, tekanan maupun pemberian kondisi batas turbulensi pada *inlet*, *outlet* serta kondisi pada *wall*. Pada kondisi batas *inlet* adalah kecepatan subsonic sebesar 11,1111 m/s dan pada kondisi batas *outlet* adalah *outflow*. Untuk kondisi batas dinding kanan, dinding kiri, dinding atas dan dinding bawah adalah *wall* dengan pilihan *no slip wall* termasuk juga seluruh bodi dari *Mobil Nogogeni*.

5. Solver Control

Solusi pada pemodelan ini adalah menggunakan *High Resolution* (karena dapat mempercepat konvergensi untuk kasus yang sederhana) dan diskritisasinya menggunakan *First Order*.

6. Convergence Control

Menentukan kriteria konvergensi, dalam hal ini *max iteration* ditetapkan dengan sebesar 1000, artinya jumlah maksimal iterasi untuk mendapatkan kriteria konvergensi yang diinginkan. *Convergence Criteria* menggunakan tipe residual monitor dan target kriteria konvergensi yang ditetapkan sebesar 10⁻⁶ artinya proses iterasi dinyatakan telah konvergen setelah residualnya mencapai harga 10⁻⁶.

7. Initialize

Proses *iterate* memerlukan *initialize* (tebakan awal) sebelum memulai perhitungan agar memudahkan konvergen.

8. Iterasi

Menentukan kriteria konvergensi (tebakan awal dari hasil iterasi).

3.2 Processing atau Solving

Dengan bantuan *software CFD-Solver Manager*, kondisi-kondisi yang telah ditetapkan pada saat *preprocessing* di dalam *software CFD-Pre* akan dihitung (diiterasi). Jika kriteria konvergensi tercapai dengan kriteria konvergensi 10^{-6} , maka tahapan dilanjutkan pada *postprocessing* dan jika tidak tercapai tahapan akan mundur kebelakang pada tahapan pembuatan *meshing* atau dengan mengurangi kriteria konvergensi.

3.3 Postprocessing

Postprocessing pada *software CFD-Post* merupakan penampilan hasil serta analisa terhadap hasil yang telah diperoleh berupa data kualitatif dan data kuantitatif. Data kuantitatif berupa distribusi koefisien tekanan, *Gaya drag* dan *Gaya lift*. Sedangkan data kualitatif berupa visualisasi aliran dengan menampilkan *pathlines* berupa *velocity magnitude*.^[13]

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pada Tugas Akhir ini pengamatan dilakukan pada bagian bodi dari kendaraan. Bentuk bodi mobil *Nogogeni* dilakukan analisa 3 dimensi dengan pengujian menggunakan *software CFD-Post*, untuk mendapatkan *contour of pressure*, *velocity vector*, *pathlines of velocity*, grafik koefisien tekanan (C_p), koefisien *drag* (C_d), koefisien *lift* (C_l). Sehingga dapat dilakukan analisa distribusi tekanan, analisa distribusi kecepatan dan analisa gaya *drag dan lift*.

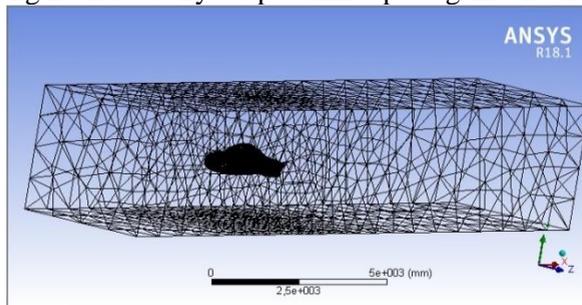
4.1 Meshing Grid Value

Pada simulasi ini dilakukan beberapa pertimbangan terhadap *interval mesh* yang digunakan. Pertimbangan antara lain berdasarkan bisa atau tidaknya proses simulasi berjalan hingga mencapai kriteria konvergensi yang ditetapkan yaitu 10^{-6} dengan asumsi input parameter yang sudah benar dan pertimbangan lain yaitu keterbatasan kemampuan *PC/Hardware* dalam melakukan proses simulasi terhadap kondisi dan waktu.

Terdapat 3 jenis interval mesh yaitu *Coarse*, *Medium*, dan *Fine*. Berikut adalah percobaan masing-masing dari 3 jenis *interval mesh* terhadap hasil proses simulasi pada *residual monitor* yang menunjukkan tercapai atau tidaknya pada kriteria konvergensi 10^{-6} :

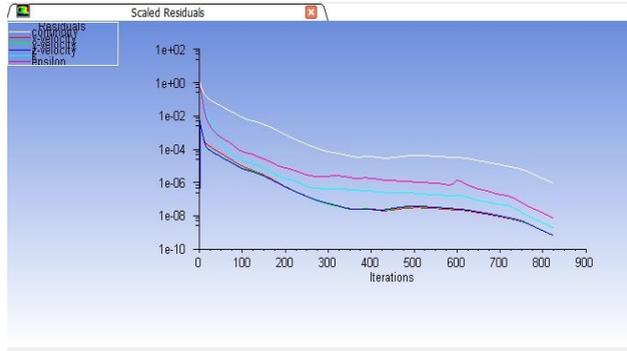
1. Coarse

Percobaan pertama menggunakan *interval mesh Coarse* yang hasil *mesh*-nya dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 *Interval Mesh Coarse* [3]

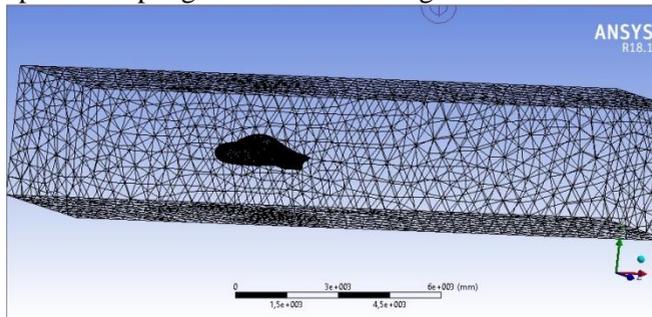
Pada percobaan ini, tampak terdapat hasil mesh yang sedikit lebih besar ukurannya tetapi pada *residual monitor* menunjukkan bahwa simulasi berhasil terkonvergensi pada kriteria 10^{-6} yang dapat dilihat pada gambar 4.2 berikut:



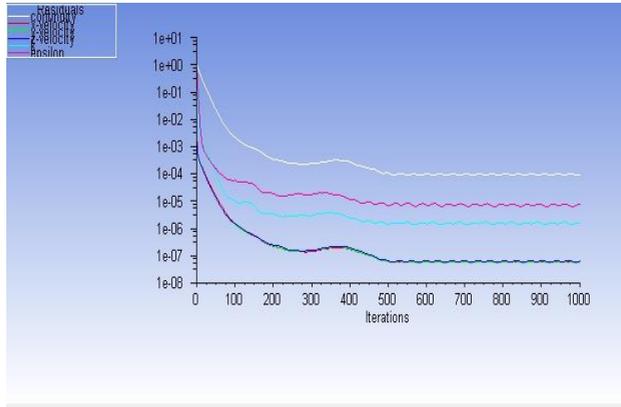
Gambar 4.2 *Residual Monitor Interval Mesh Coarse* [3]

2. Medium

Pada gambar 4.3 percobaan *interval mesh medium*, hasil *mesh* menunjukkan ukuran *mesh* sedikit lebih kecil bila dibandingkan *coarse*. Akan tetapi terlihat pada gambar 4.4 bahwa *residual monitor* menunjukkan simulasi tidak dapat mencapai garis kriteria konvergensi 10^{-6} .



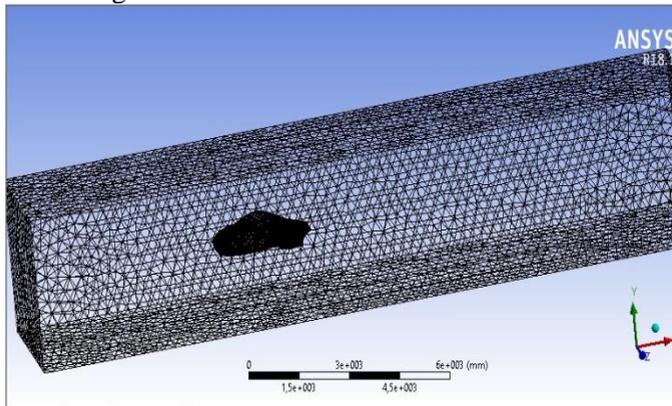
Gambar 4.3 *Interval Mesh Medium* [3]



Gambar 4.4 *Residual Monitor Interval Mesh Medium* [3]

3. *Fine*

Pada percobaan *interval mesh Fine* dapat dilihat pada gambar 4.5 bahwa hasil dari ukuran *mesh* yang sangat kecil menjadikan *interval mesh* ini tidak dapat dipakai karena pada percobaan *Medium* yang memiliki ukuran *mesh* lebih besar dari *Fine* saja tidak dapat terkonvergensi.

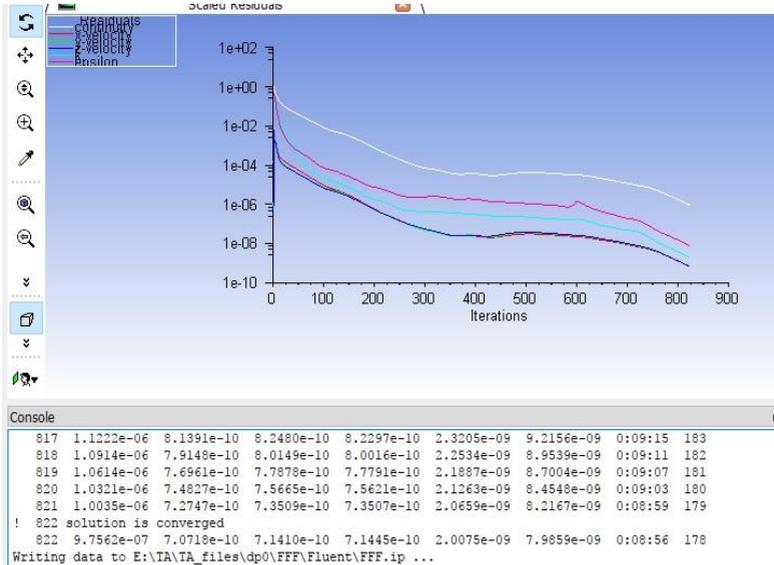


Gambar 4.5 *Interval Mesh Fine* [3]

Karena dari beberapa pertimbangan dan percobaan di atas maka interval *mesh* yang digunakan adalah *Coarse*.

4.2 Iteration and Running Time

Pada gambar 4.6 dibawah, dengan *interval mesh Coarse* dan bentuk *Mesh Tetrahedrons* serta kriteria konvergensi 10^{-6} , untuk mencapai konvergensi ada 822 jumlah *iterasi* dan membutuhkan waktu untuk *running* 1 jam 23 menit 15 detik.

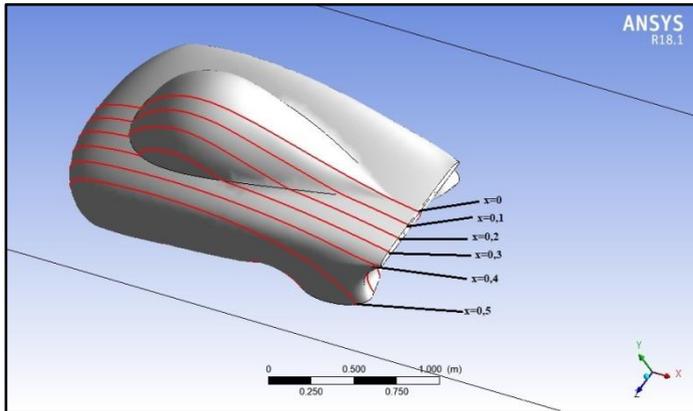


Gambar 4.6 Iterasi [3]

4.3 Analisa Medan Aliran 3 Dimensi pada Mobil *Nogogeni*

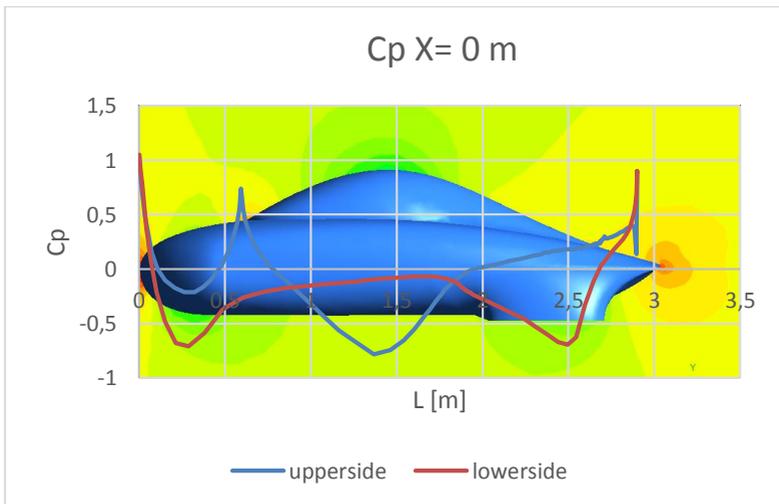
Deskripsi skematik tentang terbentuknya separasi 3D dijelaskan oleh interaksi lapis batas pada *sidebody surface* yang berkontraksi ke arah *midspan* dan mempengaruhi karakteristik aliran pada *midspan*. Kronologi separasi 3D pada daerah interaksi ini bermula saat lapis batas pada *sidebody surface* berlaku sebagai disturbance dan menyebabkan terbentuknya vortisitas sekunder yang memunculkan aliran sekunder pada zona *upper side surface* dan zona *lower side surface*. Fenomena ini dapat dijelaskan secara kualitatif melalui visual analisa yang dilakukan meliputi distribusi tekanan, distribusi kecepatan, tampilan *pathlines*, gaya *drag*, dan gaya *lift*. Serta dapat dijelaskan melalui data kuantitatif berupa distribusi C_p sepanjang kontur *midspan*.

Berikut ini adalah tampilan potongan sumbu x yang ditunjukkan pada gambar 4.7.



Gambar 4.7 Visualisasi potongan sumbu x [3]

4.3.1 Analisa Distribusi Tekanan dan Kecepatan di Medan Aliran Pada Bodi Mobil *Nogogeni*



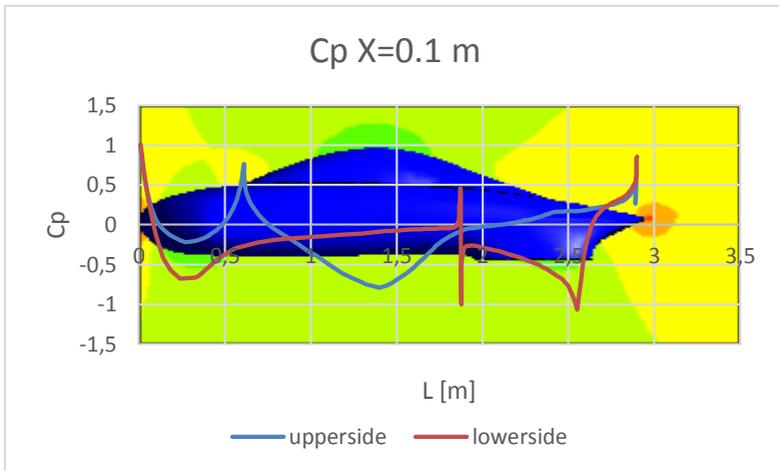
Gambar 4.8 Grafik distribusi Cp 3D Midspan [3]

Pada grafik gambar 4.8 dapat dilihat penurunan C_p yang lebih ekstrim pertama kali pada segmen *lowerside* dikarenakan pada *lowerside* bagian depan memiliki perubahan kontur yang lebih tajam daripada *upperside* dan bersamaan juga pada *sidebody* bagian depan mengalami perubahan bentuk bodi dikarenakan untuk tempat bagian roda depan yang menukik tajam sehingga didapat pada segmen *lowerside* C_p terendah terjadi di $L = 0,28933$ dengan nilai $C_p = -0,70823$, hal ini dikarenakan momentum dari aliran *free stream* tidak mampu menjaga aliran agar tetap dalam kontur karena perubahan kontur yang terlalu tajam yang mengakibatkan terjadinya *bubble separation*, karena sesaat setelah melewati perubahan kontur yang tajam aliran kembali mengikuti kontur bodi ditandai dengan kenaikan C_p pada segmen *lowerside* yaitu $C_p = -0,25953$ dan $L = 0,60654$. Pada bagian akhir menuju *diffuser* belakang fluida mengalami penurunan kecepatan, dikarenakan hal ini ditandai dengan naiknya nilai C_p pada segmen *lowerside* yaitu $C_p = 0,69346$ pada $L = 2,49415$. Selanjutnya aliran tidak kembali mengikuti kontur bodi namun langsung terseparasi keluar (*massive separation I*) dan mengalir menuju bagian luar dan membentuk *wake* pada daerah belakang mobil Nogogeni .

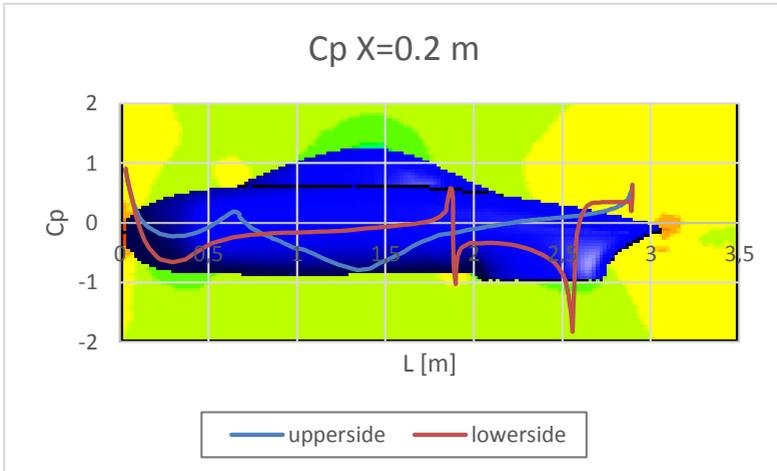
Sedangkan pada bagian *upperside* aliran udara awalnya mengalami percepatan ditandai dengan penurunan $C_p = -0,21407$ dan $L = 0,26431$ hal ini dikarenakan aliran fluida harus melewati bagian kap mesin. Kemudian aliran fluida melintasi bagian kap mesin dan mengalami perlambatan karena dan perubahan kontur pada kaca mobil yang sedikit meruncing bentuknya. Hal ini ditandai dengan kenaikan $C_p = 0,74026$ dan $L = 0,59367$ dan selanjutnya aliran fluida terseparasi pada bodi mobil. Namun karena energi aliran *free stream* lebih mampu mendefleksikan kembali fluida yang telah terseparasi maka aliran fluida kembali mengikuti kontur bodi dan separasi tersebut dinamakan *bubble separation I*. Karena perubahan kontur bodi yang tajam pada bagian atas *upperside* maka aliran fluida mengalami percepatan ditandai dengan C_p pada segmen *upperside* mendadak turun hingga pada nilai terendah yaitu $C_p = -0,78066$ dengan $L = 1,36603$ dimana momentum dari aliran tidak mampu menjaga

aliran agar tetap dalam kontur body yang mengakibatkan terjadinya *separation* dalam hal ini disebut *bubble separatin II*. Kemudian aliran fluida seolah-olah mengalami perlambatan ditandai dengan naiknya C_p pada $L = 1,97121$ dan $C_p = 0,01229$. Selanjutnya aliran udara akan terseparasi (*massive separation II*) dan bergabung dengan udara bebas (*free stream*) sehingga terbentuk daerah *wake* pada bagian belakang body Nogogeni .

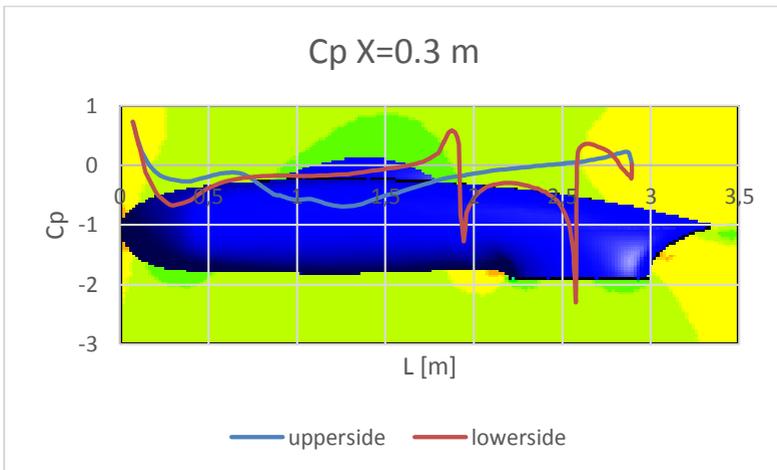
Untuk membantu menganalisa distribusi tekanan pada body *Nogogeni* maka ditambahkan beberapa grafik potongan yaitu pada $x = 0.1$, $x = 0.2$, $x = 0.3$, $x = 0.4$ dan $x = 0.5$ yang terdapat pada gambar 4.9, 4.10, 4.11, 4.12 dan 4.13 berikut ini:



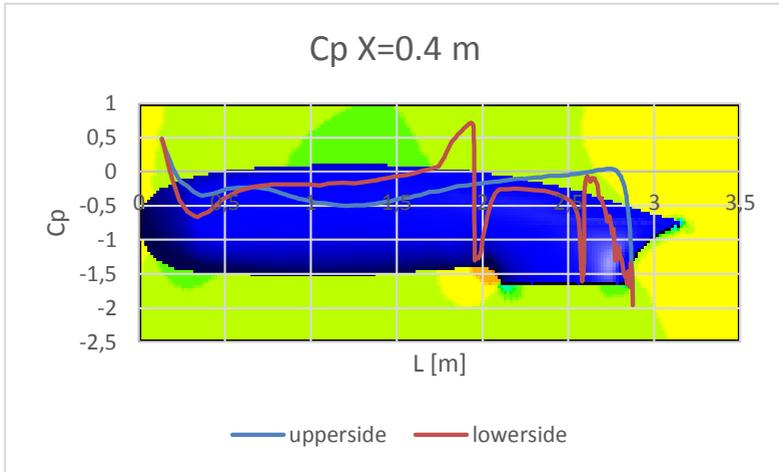
Gambar 4.9 Grafik distribusi C_p 3D pada $x = 0.1$ m [3]



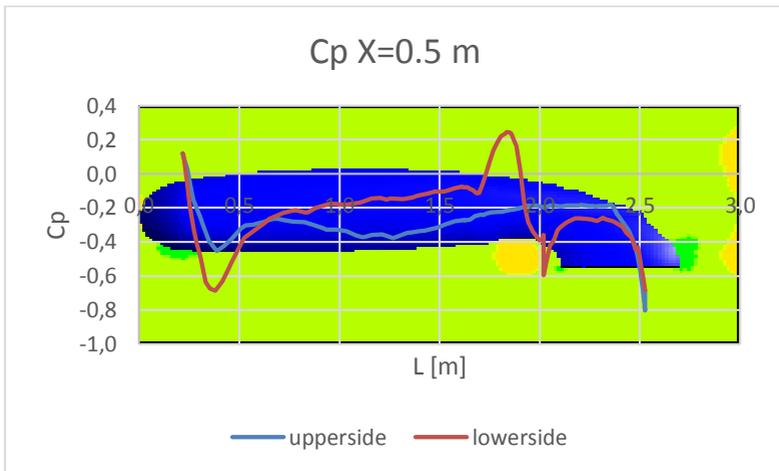
Gambar 4.10 Grafik distribusi Cp 3D pada x = 0.2 m [3]



Gambar 4.11 Grafik distribusi Cp 3D pada x = 0.3 m [3]



Gambar 4.12 Grafik distribusi Cp 3D pada x = 0.4 m [3]



Gambar 4.13 Grafik distribusi Cp 3D pada x = 0.5 m [3]

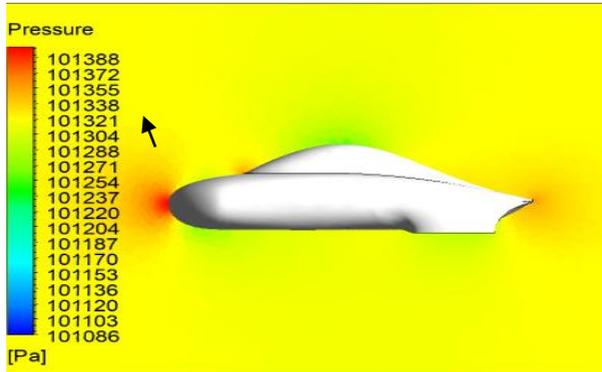
Percepatan aliran dibagian *lowerside* lebih besar daripada di bagian *upperside* karena perubahan kontur yang tajam dibagian *lowerside*. Cp stagnasi di potongan selain midspan tidak sebesar pada midspan yang bernilai $CP = 1$, karena pada potongan lain

memiliki kontur yang lebih halus dan aliran lebih terdefleksi kearah *sidebody*.

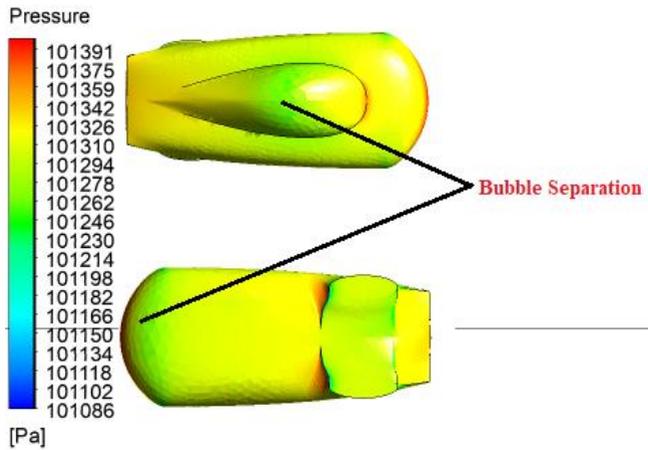
Peristiwa *bubble separation* terjadi pada akhir dari diffusor depan dan *sidebody* depan sebelum bagian roda depan, peristiwa ini menyebabkan C_p menjadi rendah, dan mencapai nilai C_p terendah pada gambar 4.8 pada $L = 0,28933$ dan $C_p = -0,70823$ hal ini dikarenakan udara yang mengalir menuju pada bagian midspan didefleksi menuju potongan $x=0.1$ sampai dengan $x=0.15$. Pada bagian potongan $x=0.2$, $x=0.3$, $x=0.4$ dan $x=0.5$ nilai C_p dibagian terjadinya peristiwa *bubble separation* tidak terlalu rendah karena sebagian besar aliran terdefleksikan menuju *sidebody*.

Peristiwa *wake* adalah ketika momentum aliran tidak mampu menjaga agar tetap mengikuti kontur dari profil. Pada bodi *Nogogeni* daerah wake terbentuk secara simetri pada bagian belakang kanan dan kiri mobil, daerah *wake* terbesar terbentuk pada gambar 4.12 dimana aliran mulai terlepas dari kontur bodi pada $L = 1,97121$ dengan $C_p = 0,01229$ pada bagian *upper side*.

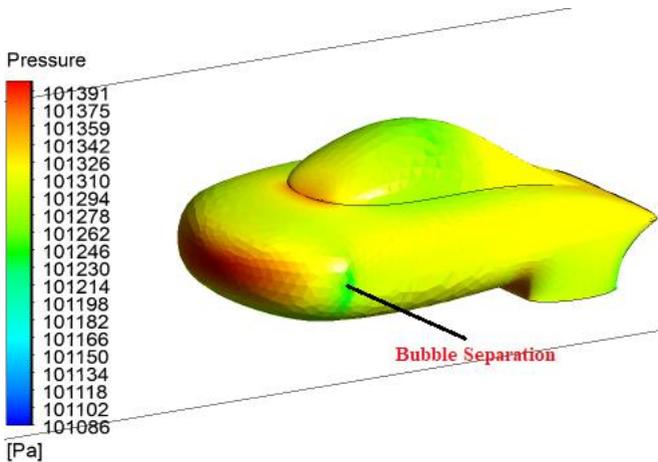
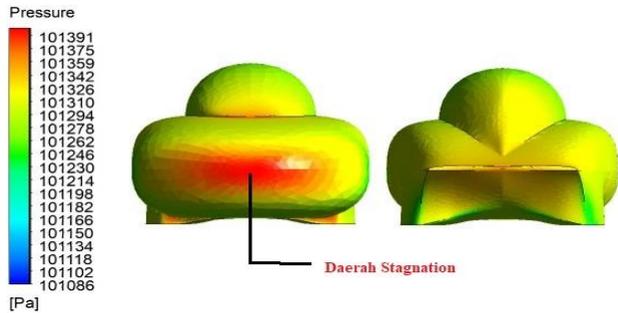
Untuk mendukung data kuantitatif di atas, karakteristik aliran disekitar *midspan* yang mendapat pengaruh dari efek *sidebody* juga dapat dijelaskan secara kualitatif melalui visualisasi tekanan pada bodi *Nogogeni* untuk mengetahui tekanan statis pada keseluruhan bodi dan untuk mengetahui peristiwa yang tidak tertangkap pada grafik C_p di atas. Visualisasi analisa *contour* tekanan disekitar bodi mobil *Nogogeni* dijelaskan berdasarkan gambar *contour* distribusi tekanan yang diperoleh dari *software CFD-Post* dapat dilihat pada gambar 4.14 dan 4.15 berikut.



Gambar 4.14 Kontur tekanan statis daerah stagnasi [3]



(a.)



Gambar 4.15 (a.) Kontur tekanan statis tampak atas dan bawah
 (b.) Kontur tekanan statis tampak depan dan belakang
 (c.) Kontur tekanan statis tampak Isometri [3]

Berdasarkan gambar 4.14 aliran udara dari *free stream* mengalir menuju bodi kendaraan bagian depan (*front body*). Aliran udara bertumbukan dengan bagian depan bodi kendaraan. Sehingga aliran udara mengalami perlambatan. Selanjutnya kecepatan aliran udara dari *free stream* seolah-olah berhenti dan

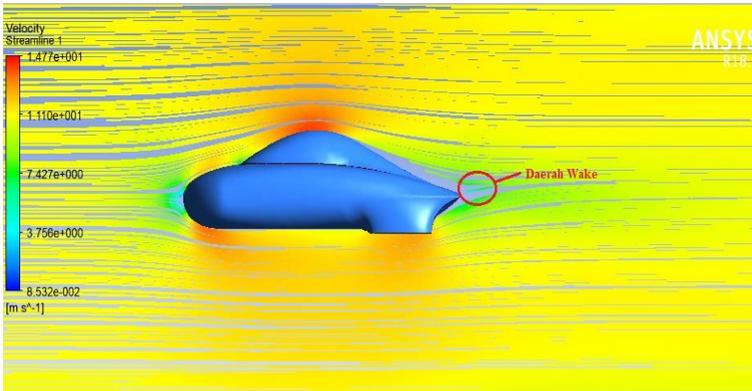
tekanan yang terjadi dibagian bodi kendaraan semakin tinggi. Pada keadaan seperti ini dinamakan dengan kondisi stagnasi, yang ditandai dengan keterangan *stagnation*. Hal ini tampak pada gambar 4.15(b.) dengan warna merah yang mendominasi daerah pada bodi bagian depan.

Setelah aliran udara bertumbukan dengan *leading edge*, selanjutnya aliran udara terdefleksi dengan cepat menuju lintasan yang berbeda, yaitu aliran udara yang melintasi permukaan atas (*upper side*) dan permukaan bawah (*lower side*) bodi *Nogogeni*. Adanya efek viskositas dari udara akan menyebabkan timbulnya *boundary layer* di sepanjang permukaan bodi *Nogogeni* sehingga timbul *gradient* kecepatan. Adanya *gradient* kecepatan yang terjadi pada kontur bodi *Nogogeni* menyebabkan aliran udara pada permukaan bodi model uji sangat bervariasi. Selain itu *gradient* kecepatan akan mengakibatkan distribusi tekanan di sepanjang permukaan bodi.

Pada pola kecepatan aliran di *upstream* pada tempat yang jauh dari bodi *Nogogeni* akan sejajar dan tidak terjadi gangguan pada aliran tersebut. Sedangkan pada pola kecepatan aliran *streamline* di sekitar bodi model uji akan mengalami gangguan aliran karena pengaruh dari bentuk bodi. Dengan demikian dapat dikatakan gerakan partikel aliran yang terletak jauh dari bodi akan memiliki kecepatan relative dan yang dekat dengan bodi memiliki kecepatan relatif yang bervariasi.

Peristiwa *bubble separation* terjadi pada gambar 4.15(a.) bagian tampak atas dengan nilai tekanan statis 101246 Pa (gage). Peristiwa *bubble separation* yang terjadi di bagian bawah bodi pada gambar 4.15(a.) juga terlihat lebih jelas dengan nilai tekanan statis sebesar 101262 Pa (gage). Pada gambar 4.15(c.) memperlihatkan *bubble separation* pada bagian *sidebody* yang cukup rendah dengan nilai 101294 Pa (gage). Daerah stagnasi juga terlihat sangat jelas dapat kita lihat pada gambar 4.15(b.) dengan nilai tekanan statis sebesar 101391 Pa (gage).

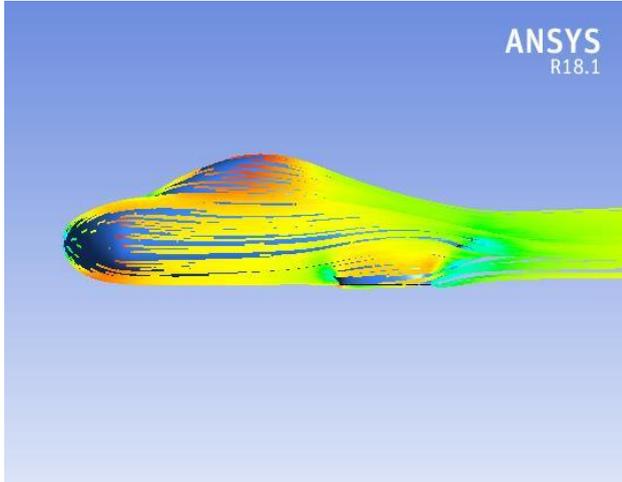
Daerah *wake* tidak dapat diketahui dengan jelas dalam visualisasi ini karena tidak diketahui arah vector kecepataannya, untuk mendukung visualisasi di atas agar daerah *wake* tampak jelas, maka dicantumkan visualisasi vector kecepatan pada gambar 4.16 berikut.



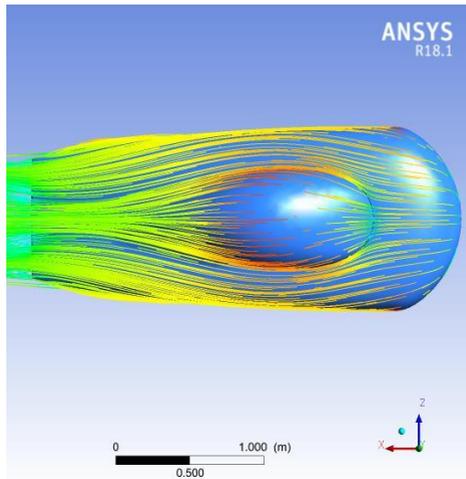
Gambar 4.16 Vektor kecepatan di sekitar bodi [3]

Pada gambar 4.16 menunjukkan iso-kecepatan pada potongan searah $x=0$, tampak visualisasi *vector velocity* pada daerah *leading edge*, aliran cenderung terdefleksi dengan cepat menuju *upperside* dari pada *lowerside* dikarenakan ketidak simetrisan antara permukaan *upperside* dan *lowerside* dimana kelengkungan kontur *upperside* yang lebih panjang daripada kontur *lowerside*. Setelah aliran melewati daerah *leading edge* pola aliran akan naik yang ditunjukkan dengan spektrum warna merah yang selanjutnya akan *attach* kembali pada permukaan. Sedangkan pada pola aliran *streamtube*-nya akan menyempit sebagai akibat dari kontur *upperside* yang sedikit naik. Sedangkan setelah melewati puncak dari *upperside*, pola aliran cenderung membentuk daerah separasi yang akan menjadikannya daerah *wake*.

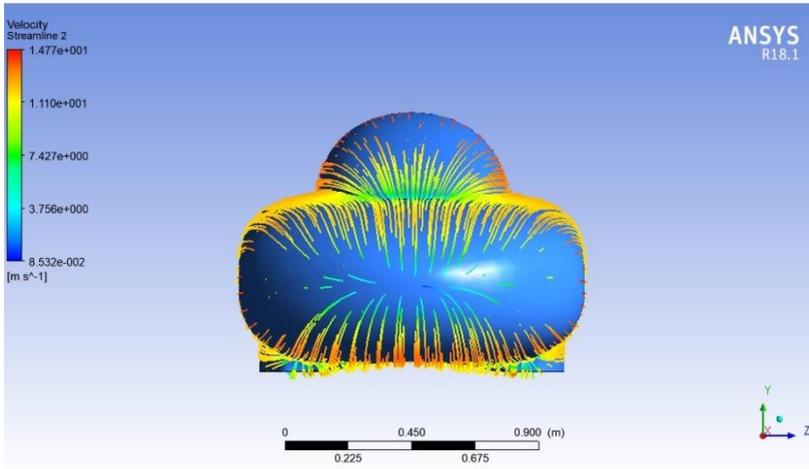
Aliran sebagian besar terdefleksi ke arah *sidebody*. arah vector kecepatan yang membentuk *vortek* pada daerah *wake*, untuk mengetahui peristiwa ini penulis akan cantumkan visualisasi *pathline* aliran yang melintasi bodi mobil *Nogogeni* pada gambar 4.17, 4.18, 4.19 dan 4.20 berikut ini.



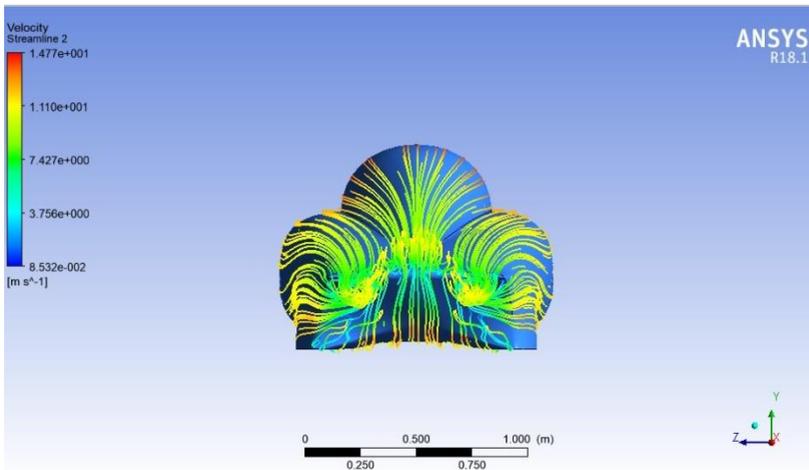
Gambar 4.17 *Pathline* aliran tampak samping [3]



Gambar 4.18 *Pathline* aliran tampak atas [3]



Gambar 4.19 *Pathline* aliran tampak depan [3]



Gambar 4.20 *Pathline* aliran tampak belakang [3]

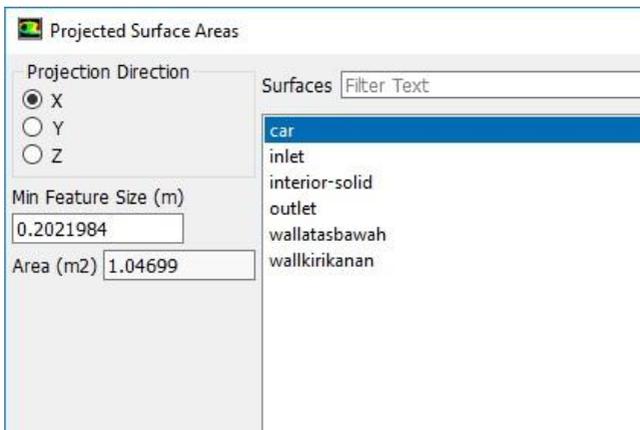
4.4 Analisa Gaya Aerodinamika

Analisa mengenai data kuantitatif diperlukan untuk menunjang dan sekaligus menyimpulkan argumentasi mengenai fenomena yang terobservasi pada data kualitatif.

Gaya *drag* dan gaya *lift* yang dihasilkan oleh *mobil Nogogeni* dapat diketahui berdasarkan hasil analisis numerik 3D di *software CFD-Post*. Adapun beberapa cara untuk mendapatkan data harga koefisien *drag* (C_d) dan koefisien *lift* (C_l) pada kendaraan *mobil Nogogeni* adalah sebagai berikut:

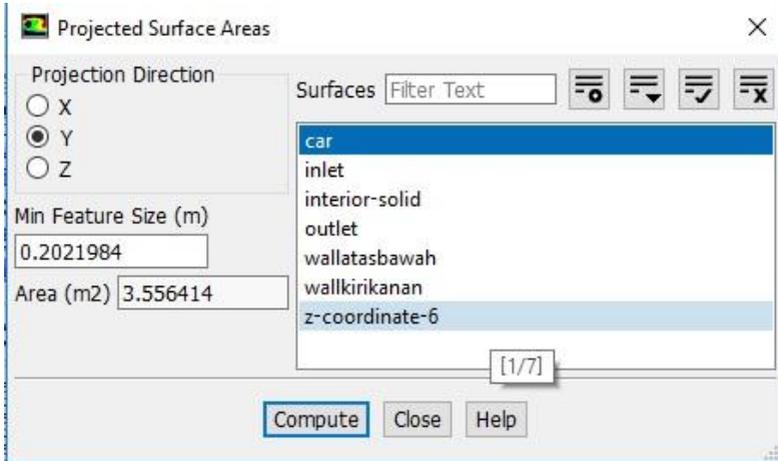
4.4.1 Mencari Luas Frontal Bodi *Nogogeni*

Sebelum menentukan gaya drag maupun gaya lift perlu adanya data referensi dalam perhitungan gaya aerodinamika yang terjadi, yaitu dengan mencari luas frontal (A_f). Luas frontal sendiri yaitu besarnya area yang terkena atau dilalui aliran fluida. Cara mencari besarnya luas frontal dilakukan dengan cara membuat desain baru sesuai dengan luas bodi mobil yang dialiri oleh fluida, hal ini dapat dikerjakan melalui *Fluent* yang kemudian dilakukan proses *compute area surfaces car* pada sumbu x untuk mendapatkan nilai luas frontal untuk gaya drag, berikut adalah hasil dari proses untuk mendapatkan nilai luas frontal untuk gaya drag yang tertera pada gambar 4.21 berikut:



Gambar 4.21 Luas Area Frontal untuk Gaya Drag [3]

Sedangkan untuk mencari luas frontal untuk gaya lift nya didapat dari proses compute area surfaces car pada sumbu y untuk mendapatkan nilai luas frontal untuk gaya lift, berikut adalah hasil dari proses untuk mendapatkan nilai luas frontal untuk gaya lift yang tertera pada gambar 4.22 berikut:

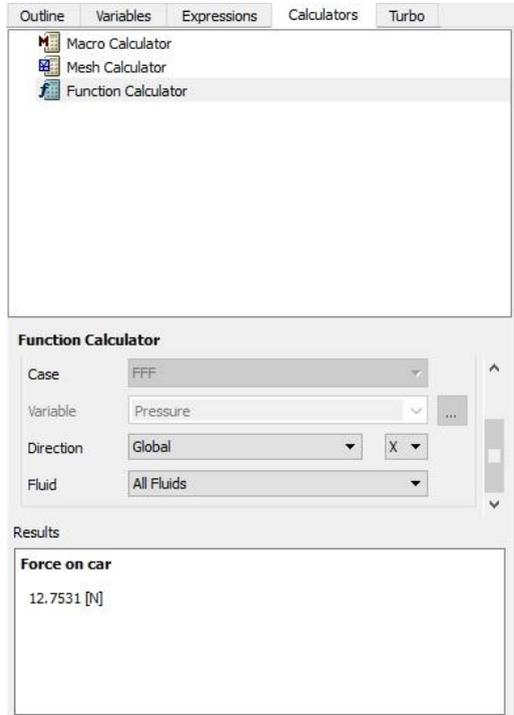


Gambar 4.22 Luas Area Frontal untuk Gaya Lift [3]

4.4.2. Mencari gaya drag

Dalam menentukan gaya drag, ada beberapa hal yang harus diperhatikan yaitu perbedaan tekanan (dalam hal ini berdasarkan *inlet* dan *outlet*) dan gesekan yang ditimbulkan akibat fluida viscous.

Setelah mencapai harga *convergence criterion* yang diinginkan. Kemudian hasil pada software CFD-Post melalui tab *Calculator* lalu *Function Calculator* kita mencari *Function Force* pada lokasi mobil dengan sumbu X maka didapatkan hasil gaya drag seperti pada gambar 4.22 berikut:



Gambar 4.23 *force report* pada *CFD-Post* [3]

4.4.3 Mencari *Coefficient Drag*

Gaya *drag* yang dihasilkan oleh suatu kendaraan dipengaruhi oleh beberapa factor antara lain: *density*, kecepatan udara yang melintasi kendaraan, luas frontal dan koefisien *drag*. Hal ini sesuai dengan persamaan berikut ini:

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

Dimana :

- F_D = Gaya *drag* (kg.m/s²)
- V = Kecepatan aliran udara bebas (m/s)
- A_f = Luas frontal (m²)
- ρ = Densitas 1,2250 (kg/ m³)

Maka perhitungan C_D menjadi:

$$C_D = \frac{12,7531}{\frac{1}{2} \times 1,225 \times 11,1111^2 \times 1,04699}$$

$$C_D = \frac{12,7531}{79,170381782}$$

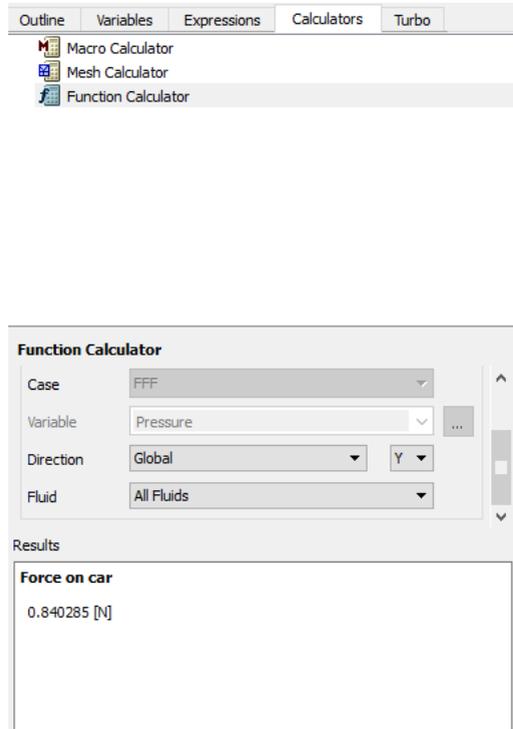
$$C_D = 0,161084$$

Setiap kendaraan diharapkan mempunyai koefisien *drag* yang rendah karena mempengaruhi besar kecilnya gaya *drag* yang diterima oleh kendaraan.

4.4.4 Mencari Gaya Lift

Dalam menentukan gaya *lift*, ada beberapa hal yang harus diperhatikan yaitu perbedaan tekanan (dalam hal ini berdasarkan *upper* dan *lower*) dan gesekan yang ditimbulkan akibat fluida viscous.

Setelah mencapai harga *convergence criterion* yang diinginkan. Kemudian hasil pada software CFD-Post melalui tab *Calculator* lalu *Function Calculator* kita mencari *Function Force* pada lokasi mobil dengan sumbu y maka didapatkan hasil gaya drag seperti pada gambar 4.23 berikut:



Gambar 4.24 *force report* pada *CFD-Post* [3]

4.4.5 Mencari *Coefficient Lift*

Gaya *lift* yang dihasilkan oleh suatu kendaraan dipengaruhi oleh beberapa factor antara lain: *density*, kecepatan udara yang melintasi kendaraan, luas frontal dan koefisien lift. Hal ini sesuai dengan persamaan berikut ini:

$$C_l = \frac{F_l}{\frac{1}{2} \rho \cdot V^2 \cdot A_f}$$

Dimana :

F_l = Gaya lift (kg.m/s²)

- V = Kecepatan aliran udara bebas (m/s)
 A_f = Luas frontal (m²)
 ρ = Densitas 1,2250 (kg/ m³)

Maka Perhitungan C_l menjadi :

$$C_l = \frac{0,840285}{\frac{1}{2} \times 1.225 \times 11.1111^2 \times 3,556414}$$

$$C_l = \frac{0,840285}{268,92582943}$$

$$C_l = 0,003124$$

Setiap kendaraan diharapkan mempunyai koefisien *lift* yang rendah karena mempengaruhi besar kecilnya gaya *lift* yang diterima oleh kendaraan.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa aliran melintasi bodi mobil *Nogogeni* menggunakan pemodelan numerik perangkat lunak *Ansys Workbench 18.1* dengan menggunakan *CFD-Solver*, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. *Coefficient Pressure* (C_p) didapatkan dari grafik berdasarkan potongan sumbu x. *Coefficient Pressure* yang di teliti pada potongan sumbu $x=0$
2. Visualisasi kontur tekanan secara 3 dimensi dapat menunjukkan dimana titik tekanan terendah yang terjadi diseluruh bodi.
3. *Coefficient drag* (C_D) yang diperoleh saat simulasi pada bodi mobil *Nogogeni* bernilai 0,161084.
4. *Coefficient lift* (C_L) yang diperoleh saat simulasi pada bodi mobil *Nogogeni* bernilai 0,003124.

5.2 Saran

Adapun beberapa saran pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Pada analisa model uji 3D dirasa kurang akurat dalam analisa bodi mobil, karena *interval mesh* kurang rapat dan ukuran *mesh* yang sedikit lebih besar. Diharapkan untuk membuat *interval meshing* yang lebih kecil pada penelitian selanjutnya.
2. Pada analisa 3D yang akan datang hendaknya juga mempertimbangkan modifikasi bentuk bodi yang mempengaruhi nilai C_L pada aliran yang melintasi bodi melalui pendekatan C_P pada kondisi stagnasi, karena kenaikan C_L ini juga akan mempengaruhi kestabilan mobil saat melaju terutama saat pada tikungan atau belokan.

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Pematang Siantar, 28 Februari 1996 merupakan anak kedua dari empat bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu, SD CR 4 Pematang Siantar, SMP CR 1 Pematang Siantar, SMAN 2 Pematang Siantar. Pada tahun 2014 penulis diterima di Jurusan D3 Teknik Mesin FTI-ITS yang sekarang berganti nama menjadi Departemen Teknik Mesin Industri Fakultas Vokasi-ITS dan terdaftar dengan NRP 1021140000034.

Konversi Energi merupakan bidang studi yang dipilih oleh penulis.

Selama duduk di bangku kuliah penulis aktif mengikuti kegiatan baik di bidang akademik maupun non akademik. Penulis juga pernah mengikuti berbagai kegiatan dan bergabung dalam organisasi untuk menunjang softskill.

Pelatihan yang pernah diikuti penulis : Pelatihan LKMM Pra TD di Fakultas Teknik Industri ITS (2014). Pelatihan PKTI, Pelatihan Motor Bakar yang diselenggarakan BSO Begkel HMDM. Penulis juga pernah melaksanakan kerja praktek di PT. Petrokimia Kayaku selama 1 bulan pada 18 Juli s/d 18 Agustus 2016 di bidang *Maintenance*. Kontak penulis yang dapat dihubungi e-mail: togarniel@gmail.com

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bao, F., and Dallmann, Uwe Ch., (2004), "Some physical aspects of separation bubble on a rounded backward-facing step", *Aerospace Science and Technology*, Vol. 8, 83-91
- [2] Barnard R.H. 1996. *Road vehicle Aerodynamic design : An Introduction*. England : Longman
- [3] Coba I.IGS
- [4] Damjanovic, Darko, Kozak, Drazan, Ivandic, Zeljko, and Kokanivic, Mato. *Car Design As A New Conceptual And CFD Analysis In Purpose of Improving Aerodynamics*. 2010. Croatia
- [5] <http://www.carbon-sport.co.za/product/tech&hardware-sub/Tech-5.html> Diakses pada 8 Oktober 2017
- [6] <https://deust.wordpress.com/2013/04/23/meshing-methods-ansys-meshing.html> Diakses pada 30 November 2017
- [7] <http://www.f1insight.co.uk/2015/04/aerodynamics-in-racing-vehicle-design.html> Diakses pada 1 Oktober 2017
- [8] Khairul, Septian, 2010 .Boundary layer, <https://septiankmasdi.wordpress.com/2012/05/27/boundary-layer/> diakses pada 1 Oktober 2017
- [9] Maydiyanto, Ismail. 2015. Permodelan Medan Aliran 3 Dimensi Pada Bodi Mobil Listrik Nogogeni 5 . Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [10] Pritchard, Philip J., Fox and Mc Donald's. 2011. *Introduction of fluid mechanics : Eight Edition* . USA : John Willey & Sons, Inc.
- [11] Sutantra, I Nyoman. 2001. Teknologi Otomotif : Teori dan Aplikasinya. Surabaya : Guna Widya
- [12] Tuakia, Firman. 2008. Dasar dasar CFD Menggunakan FLUENT. Bandung : Informatika.
- [13] Utomo, Reynaldi Ardiansyah. 2017. Pemodelan Numerik Aliran 3 Dimensi Pada Bodi Modifikasi Mobil Nogogeni 6. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.