



TUGAS AKHIR - TM091486 (KE)

**SIMULASI NUMERIK KARAKTERISTIK ALIRAN 3
DIMENSI DI SEKITAR BODI "SAPUANGIN SPEED"
DENGAN RASIO *GROUND CLEARANCE* TERHADAP
PANJANG MODEL (C/L) 0.014**

DIAUL VIKRI YULIYU
2109 100 081

Dosen Pembimbing
Nur Ikhwan, ST., M.Eng.

JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2014



FINAL PROJECT - TM091486 (KE)

**NUMERICAL SIMULATION OF 3 DIMENSIONAL
FLOW CHARACTERISTICS AROUND "SAPUANGIN
SPEED" BODY WITH GROUND CLEARANCE TO
MODEL'S LENGTH RATIO ($C/L = 0.014$)**

DIAUL VIKRI YULIYU
2109 100 081

Supervisor :
Nur Ikhwan, ST., M.Eng.

MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Industrial Technology Faculty
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2014



**SIMULASI NUMERIK KARAKTERISTIK ALIRAN 3
DIMENSI DI SEKITAR BODI MODIFIKASI SAPUANGIN
SPEED DENGAN RASIO *GROUND CLEARANCE*
TERHADAP PANJANG MODEL (C/L) 0.014**

Nama Mahasiswa : Diaul Vikri Yuliyu
NRP : 2109 100 081
Jurusan : Teknik Mesin FTI – ITS
Dosen Pembimbing : Nur Ikhwan, St., M.Eng

ABSTRAK

Formula SAE merupakan kompetisi membuat kendaraan mirip mobil formula yang diikuti oleh seluruh mahasiswa di seluruh dunia termasuk Institut Teknologi Sepuluh Nopember dengan mobil Sapuangi Speednya. Terdapat beberapa kategori perlombaan dalam kompetisi ini diantaranya fuel efficiency. Untuk bisa menghasilkan kendaraan yang memiliki efisiensi bahan bakar maksimal perlu dilakukan analisa aerodinamika pada bodi kendaraan. Bodi Sapuangi Speed memiliki Leading edge yang tumpul sehingga dimungkin adanya multi-stagnation point. Dengan adanya ground clearance berpotensi terbentuk blockage effect pada daerah upstream dekat ground. Aliran cenderung terdefleksi dengan sangat cepat menuju upper side yang seakan-akan menerima sudut serang positif sehingga menggeser posisi titik minimum pressure lebih kedepan. Pada akhirnya, separasi di rear end pun lebih cepat terjadi. Dikarenakan kompleksnya aliran 3D, keterbatasan alat ukur dan tuntutan observasi dan visualisasi yang detail dari karakteristik aliran, maka penelitian ini dilakukan dengan metode numerik (CFD) dengan software Fluent 14. Pemilihan kondisi simulasi digunakan domain di upstream 2L, downstream 4L, lebar 2L, tinggi 2L; model turbulensi k-ε realizable; dan skema interpolasi second-order upwind. Rasio ground clearance terhadap panjang model (C/L) 0.014, $Re_L = 3.3541 \times 10^6$, boundary condition untuk



Tugas Akhir Konversi Energi

outlet adalah pressure outlet dan untuk inlet adalah velocity inlet sebesar 22.22 m/s; densitas (ρ)=1.225 kg/m³; viskositas (μ)=1.7894 x 10⁻⁵ kg/m.s. Dari penelitian ini dapat diketahui karakteristik aliran 3D disekitar bodi sapuaingin speed dengan pengaruh rasio ground clearance terhadap panjang model (C/L) 0.014. Dari hasil simulasi didapatkan bahwa aliran akan cenderung terdefleksi kearah lower sidebody surface yang memiliki hambatan aerodinamika kecil. Aliran ini kemudian mengalir menuju lower bodi lalu berinteraksi dengan aliran pada daerah sidebody sidepot sehingga menghasilkan vortex. Intensitas vortex yang terjadi lebih besar daripada vortex pada daerah rear end mobil. koefisien drag pada simulasi tanpa menggunakan porous lebih besar 1.073% daripada simulasi dengan menggunakan porous. Mobil mengalami gaya angkat yang ditunjukkan oleh nilai koefisien lift yang bernilai positif. Didapatkan juga besar gaya traksi minimal yang dibutuhkan mobil untuk bisa berjalan sebesar 1878,9 N sehingga daya minimal yang harus dimiliki mesin sebesar 41749,158 watt.



**NUMERICAL SIMULATION OF 3 DIMENSIONAL FLOW
CHARACTERISTICS AROUND “SAPUANGIN SPEED”
BODY WITH GROUND CLEARANCE TO MODEL’S
LENGTH RATIO ($C/L = 0.014$)**

Student’s Name : Diaul vikri Yuliyu
NRP : 2109 100 081
Major : Teknik Mesin FTI – ITS
Supervisor : Nur Ikhwan, ST., M.Eng.

ABSTRACT

Formula Student is a competition to design and make a car like formula that is followed by all students around the world including Sepuluh Nopember Institute Of Technology that make Sapuangin Speed. There are several categories of race in this competition including fuel efficiency. To be able to produce vehicles that has a maximum fuel efficiency, it is important to analyze the aerodynamics of the vehicle. Sapuangin Speed body has a blunt leading edge. It may cause a multi-stagnation point. Blockage effect can occur in the upstream area near ground because presence of ground clearance. Ground blockage causes flow being deflected to the upper side and create a positive angle of attack, so this condition can move pressure minimum point forward. Because of that separation in rear end occur faster. Due the complexity of the 3D flow, the limitations of measuring instruments and demands on detailed observation and visualization, the analysis may carried out by numerical methods (CFD) through software Fluent 14. Length of domain is $2L$ for body upstream, $4L$ for downstream, $2L$ for width, $2L$ for height. Simulation used turbulence model $k - \epsilon$ realizable, and convection term was set to second-order upwind. Ground configuration is enforced with $C/L = 0,014$, $Re_L = 1,918 \times 10^6$, boundary



condition for outlet is the pressure outlet and for inlet is the velocity inlet at 22,22 m / s ; density (ρ) = 1.225 kg/m³ ; viscosity (μ) = 1.7894 x 10⁻⁵ kg / m.s. From this research, we can know the 3D flow characteristics around the sapuangin speed body, with the influence of the ratio of the length of ground clearance model (C/L) 0.014. From the simulation results, showed that the flow has tendency to be deflected towards the lower sidebody surface that has smaller aerodynamic drag. Then, the stream flows to the lower body and interacts with flow from sidebody sidepot resulting vortex. The intensity of the vortex is greater than the vortex at the rear end. Drag coefficient of the simulation without using porous is 1,073 % greater than using porous. The car experience lift force indicated by the value of coefficient lift which is positive. Also gained minimum traction at 1878.9 N and engine must have power at least 41749,158 watt.

**SIMULASI NUMERIK KARAKTERISTIK ALIRAN 3
DIMENSI DI SEKITAR BODI SAPUANGIN SPEED
DENGAN RASIO *GROUND CLEARANCE* TERHADAP
PANJANG MODEL (C/L) 0.014**

TUGAS AKHIR

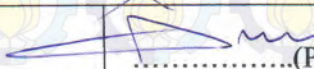
Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelara Sarjana Teknik Pada Bidang Studi Konversi Energi
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :

DIAUL VIKRI YULIYU

Nrp. 2109 100 081

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. <u>Nur Ikhwan, ST., M.Eng.</u> (NIP. 196709151995121001)	(Pembimbing)
2. <u>Dr. Wawan Aries Widodo, ST., MT.</u> (NIP. 197104051997021001)	(Penguji I)
3. <u>Prof. Ir. Sutardi, M.Eng., Ph.D.</u> (NIP. 196412281990031002)	(Penguji II)
4. <u>Giri NUgroho, ST. MSc.</u> (NIP. 197910292012121002)	(Penguji III)

**SURABAYA
JANUARI 2014**



KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum wr.wb.

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, Tuhan semesta alam yang selalu memberi kasih sayang tiada tara pada penulis sehingga mampu menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul:

**“SIMULASI NUMERIK KARAKTERISTIK ALIRAN
3 DIMENSI DI SEKITAR BODI SAPUANGIN *SPEED*
DENGAN RASIO *GROUND CLEARANCE* TERHADAP
PANJANG MODEL (C/L) 0.014”**

Penulis menyadari bahwa dalam penyelesaian tugas akhir ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Untuk itu, pada kesempatan ini penulis menghaturkan ucapan terima kasih dan penghargaan setinggi-tingginya kepada :

1. Bapak Nur Ikhwan, ST., M.Eng selaku dosen pembimbing yang inspiratif dan selalu memberikan bimbingan serta arahan bagi penulis.
2. Prof. Ir. Sutardi. MEng., PhD., selaku dosen penguji yang memberi banyak arahan dan masukan serta kritikan yang sangat membangun.
3. Dr. Wawan Aries Widodo, ST, MT., selaku dosen penguji yang selalu meluangkan waktu untuk *sharing* dengan penulis.
4. Bapak Giri Nugroho, ST., MSc. selaku dosen penguji yang kritis memberikan saran dan masukan yang berarti.
5. Bapak Unggul Wasiwitono, selaku dosen wali yang selalu mengarahkan penulis serta selalu memberikan saran serta doa kepada penulis.
6. Ayah, Ibu, Mbak Nila, dan seluruh keluarga yang selalu memberikan semangat, saran dan doa yang tak kunjung padam kepada penulis. Semoga apa yang kalian harapkan suatu saat nanti semua akan terkabul, amin.



*Tugas Akhir
Konversi Energi*

7. Teman-teman seperjuangan TA. Arif Aulia Rahman, Samsul Rizal, Adityas Wibowo K., Akhmad Fasya, Farouq Yaffie, Danies Setyo H yang selalu memberikan semangat dan inspirasi.
8. Teman-teman keluarga besar lembaga bengkel Mahasiswa Mesin yang selalu memberikan keceriaan.
9. Teman-teman tim Sapuangin yang menginspirasi banyak ide.
10. Teman-teman futsal M-Gab yang selalu memberikan apresiasi.
11. Segenap Keluarga besar Lab. Mekanika Fluida
12. Teman-teman M-52 semua yang sudah memberikan saya waktu yang indah bersama kalian.
13. Serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Akhirnya penulis menaruh sebuah harapan, semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi siapa saja yang membacanya.

Wassalam.

Surabaya, Februari 2014

Diaul Vikri Yuliyu



DAFTAR ISI

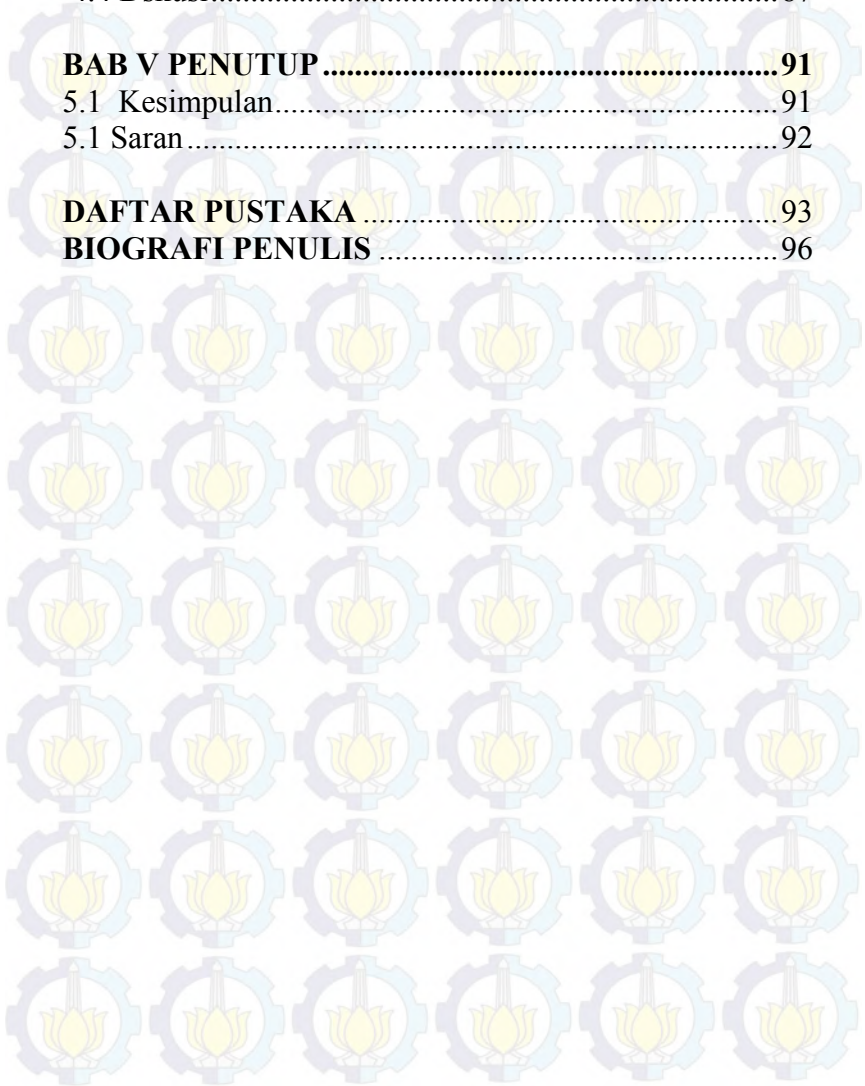
ABSTRAK	i
<i>ABSTRACT</i>	iii
LEMBAR PENGESAHAN	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR SIMBOL	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Batasan Masalah	6
1.5 Manfaat Penelitian	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 Aliran Eksternal	9
2.1.1 Konsep Lapis Batas (<i>Boundary Layer</i>)	9
2.1.2 Karakteristik <i>Boundary Layer</i>	11
2.1.3 Separasi Pada <i>Boundary Layer</i>	12
2.1.4 Separasi Bubble	13
2.1.5 Persamaan Tekanan	15
2.1.6 Gaya Aerodinamika	18
2.1.7 Teori Terjadinya <i>Drag</i>	19
2.1.8 Teori Terjadinya <i>Lift</i>	22
2.1.9 <i>Ground Effect</i>	25
2.2 Penelitian yang Relevan	27
2.2.1 Choi dan Lee	27
2.2.2 Bucheim et al	30



2.2.3 Fukuda et al.....	32
2.2.4 Prakoso.....	36
2.2.5 Nashruddin.....	38
2.2.6 Kurniawan.....	41
2.3 <i>Porous Jump</i>	45
2.4 <i>Blockage Effect</i>	47
2.5 <i>Numerical Modelling</i>	48
2.3.1 <i>Computational Fluid Dynamics (CFD)</i>	48
2.3.2 Deskripsi tentang RANS Turbulensi Model...	49
BAB III METODE PENELITIAN	51
3.1 <i>Preprocessing</i>	51
3.1.1 Geometri Mobil <i>Sapuangin Speed</i>	51
3.1.2 Geometri <i>Porous Jump</i>	52
3.1.3 Domain Pemodelan.....	53
3.1.4 Meshing.....	54
3.1.5 Parameter Pemodelan.....	55
3.2 <i>Processing</i> atau <i>solving</i>	56
3.3 <i>Postprocessing</i>	56
3.4 Tahapan Penganalisaan.....	57
3.5 Alokasi Waktu Penelitian.....	57
3.6 <i>Flowchart</i> Metode Penelitian.....	58
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN	59
4.1 Analisa Pengambilan Data.....	59
4.2 Analisa Medan Aliran.....	60
4.2.1 Analisa Aliran Pada Daerah <i>Midspan</i>	60
4.2.2 Analisa Pengaruh <i>Sidebody</i>	64
4.2.3 Analisa Aliran Melewati <i>Sidepot</i>	75
4.2.4 Analisa Aliran di Daerah <i>Rear End</i>	80
4.3 Perhitungan Gaya Aerodinamika di <i>Midspan</i>	84
4.3.1 Perhitungan Gaya Drag.....	85



4.3.2 Perhitungan Gaya Lift.....	86
4.4 Dskusi.....	87
BAB V PENUTUP	91
5.1 Kesimpulan.....	91
5.1 Saran	92
DAFTAR PUSTAKA	93
BIOGRAFI PENULIS	96





*Tugas Akhir
Konversi Energi*



halaman ini sengaja dikosongkan



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Struktur lapis batas	10
Gambar 2.2	Lapis batas didekat permukaan kendaraan	11
Gambar 2.3	Aliran dengan <i>pressure gradient</i>	13
Gambar 2.4	Deskripsi skematik separasi <i>bubble</i> dan transisi lapis batas	14
Gambar 2.5	Distribusi tekanan pada separasi <i>bubble</i>	15
Gambar 2.6	Terminologi <i>streamline</i> aliran di sekeliling kendaraan	14
Gambar 2.7	Distribusi C_p sepanjang 2D kontur <i>automobile</i>	17
Gambar 2.8	Gaya <i>drag</i> , <i>lift</i> , <i>side</i> dan momen	19
Gambar 2.9	Penguraian komponen gaya <i>drag</i> dan <i>lift</i>	20
Gambar 2.10	Proses terjadinya <i>lift</i> pada kendaraan	23
Gambar 2.11	Pengaruh <i>ground clearance</i> pada gaya <i>lift</i> dan <i>drag</i>	24
Gambar 2.12	Pengaruh tanah atau <i>ground effect</i>	25
Gambar 2.13	<i>Ground effect</i> pada kendaraan	26
Gambar 2.14	Skema penelitian (kiri); C_p silinder (kanan)	27
Gambar 2.15	Koefisien tekanan pada dinding	28
Gambar 2.16	Koefisien <i>drag</i> dan <i>lift</i>	29
Gambar 2.17	Pengaruh perancangan <i>leading edge</i> terhadap C_{LF}	30
Gambar 2.18	Pengaruh perancangan <i>trailing edge</i> terhadap C_{LR} dan C_D	31
Gambar 2.19	Pengaruh <i>underbody diffuser</i> terhadap CLR	32
Gambar 2.20	(a) Distribusi vortisitas dibelakang model ahmed dengan CFD (atas, x-komponen ; bawah, y-komponen) ; (b) Efek dari sudut inklinasi ujung belakang (θ) terhadap	



	C_D, C_L, C_{LF}, C_{LR}	33
Gambar 2.21	Efek sudut inklinasi ujung belakang terhadap C_D, C_{LF}, C_{LR} (kiri); Distribusi tekanan pada kontur belakang (kanan)	33
Gambar 2.22	Efek dari dek dan <i>spoiler</i> terhadap C_D, C_{LF}, C_{LR} (kiri) ; distribusi tekanan pada kontur belakang (kanan)	34
Gambar 2.23	(a) Vektor kecepatan (kiri) dan distribusi vortisitas (kanan) tipe <i>fastback</i> belakang; (b) Distribusi vortisitas tipe <i>notback</i> Belakang (kiri original, kanan bentuk baru)	35
Gambar 2.24	Efek dari lebar spoiler bentuk baru terhadap C_D, C_{LF}, C_{LR} (<i>fastback car</i>)	35
Gambar 2.25	Pahline kecepatan dan kontur tekanan pada bodi sapuan dengan pengaruh <i>ground clearance</i>	36
Gambar 2.26	Distribusi vektor kecepatan pada bidang potong (a) $x=30\%$, (b) $x=40\%$, dan (c) $x=50\%$ pada pemodelan 3D tanpa <i>ground clearance</i>	37
Gambar 2.27	Perbandingan antara bentuk bodi Sapu Angin tipe <i>Urban Concept</i> standar dan modifikasi	39
Gambar 2.28	Perbandingan kontur tekanan pada <i>leading edge</i> (atas) dan kontur tekanan pada <i>rear end</i> (bawah) bodi standar dan modifikasi	39
Gambar 2.29	Kontur tekanan dan <i>pathline</i> (a) tampak depan, (b) isometri depan	41
Gambar 2.30	Kontur tekanan dan <i>pathline</i> (a) isometri belakang, (b) tampak samping	41
Gambar 2.31	Kontur tekanan dan <i>pathline</i> (a) tampak atas, (b) tampak bawah	42



Gambar 2.32	Pemotongan pada arah sumbu x dengan variasi $x/l=0,4$, $x/l=0,6$, dan $x/l=0,7$	43
Gambar 2.33	Pemotongan pada sumbu dengan jarak (a) $x/l=0,4$, (b) $x/l=0,6$, dan (c) $x/l=0,7$	44
Gambar 2.34	Skema <i>perforated plate</i> dengan $l/d>0.015$	46
Gambar 2.35	Blok diagram simulasi dengan <i>CFD</i>	48
Gambar 3.1	Isometri bodi mobil tampak depan.....	52
Gambar 3.2	Bodi mobil tampak depan, samping, dan atas.....	52
Gambar 3.3	Geometri <i>porous jump</i>	53
Gambar 3.4	Domain pemodelan.....	53
Gambar 3.5	<i>Meshing</i> bodi.....	54
Gambar 3.6	<i>Flowchart</i> penelitian.....	58
Gambar 4.1	Kualitas <i>meshing</i> tanpa modifikasi.....	59
Gambar 4.2	Kualitas <i>meshing</i> dengan modifikasi.....	60
Gambar 4.3	Kontur dan <i>pathline</i> kecepatan pada bodi sapuangin speed di daerah midspan.....	61
Gambar 4.4	Distribusi tekanan disekitar bodi sapuangin speed di daerah midspan.....	62
Gambar 4.5	Grafik distribusi C_p <i>upper</i> dan <i>lower</i> bodi sapuangin speed di daerah midspan.....	62
Gambar 4.6	Distribusi C_p pada pemodelan pada pemotongan $Z=10\%$, $Z=20\%$, $Z=30\%$ di segmen <i>upperside</i> (atas); <i>lowerside</i> (bawah).....	65
Gambar 4.7	Distribusi C_p pada pemodelan pada pemotongan sumbu $Z=60\%$, $Z=70\%$, $Z=80\%$ di segmen <i>upperside</i> (atas); <i>lowerside</i> (bawah).....	67
Gambar 4.8	<i>Pathline</i> kecepatan dan kontur tekanan pada bodi sapuangin speed.....	69



Gambar 4.9	Lokasi separasi <i>bubble</i> , <i>vortex</i> pada roda dan <i>sidepot</i>	71
Gambar 4.10	Pemotongan pada sumbu x dengan variasi $x/l=0.15$, $x/l=0.34$, $x/l=0.55$, dan $x/l=0.65$	72
Gambar 4.11	Distribusi vektor kecepatan pada bidang potong (a) $x/l= 0,15$, (b) $x/l= 0,34$, (c) $x/l=0.55$, dan (d) $x/l= 0,65$	74
Gambar 4.12	Distribusi C_p pada pemotongan searah sumbu Z sebesar $Z=60\%$, $Z=70\%$, $Z=80\%$ di segmen <i>upperside</i> (atas); <i>lowerside</i> (bawah).....	77
Gambar 4.13	Distribusi tekanan pada daerah <i>sidepot</i>	77
Gambar 4.14	Distribusi tekanan tanpa penambahan <i>porous</i> (kiri) dan dengan penambahan <i>porous</i> (kanan).....	79
Gambar 4.15	Distribusi kecepatan tanpa penambahan <i>porous</i> (kiri) dan dengan penambahan <i>porous</i> (kanan).....	79
Gambar 4.16	Posisi pemotongan pada <i>rear end</i> mobil	80
Gambar 4.17	Vektor kecepatan di belakang model kendaraan (a) $x/l=0.78$, (b) $x/l=0.9$, (c) $x/l=1.12$ dan (d) $x/l=1,4$	82
Gambar 4.18	Disribusi vektor kecepatan pada potongan searah sumbu y sebesar $y/t=0.7$	83
Gambar 4.19	<i>Free body</i> diagram gaya-gaya pada kendaraan	88



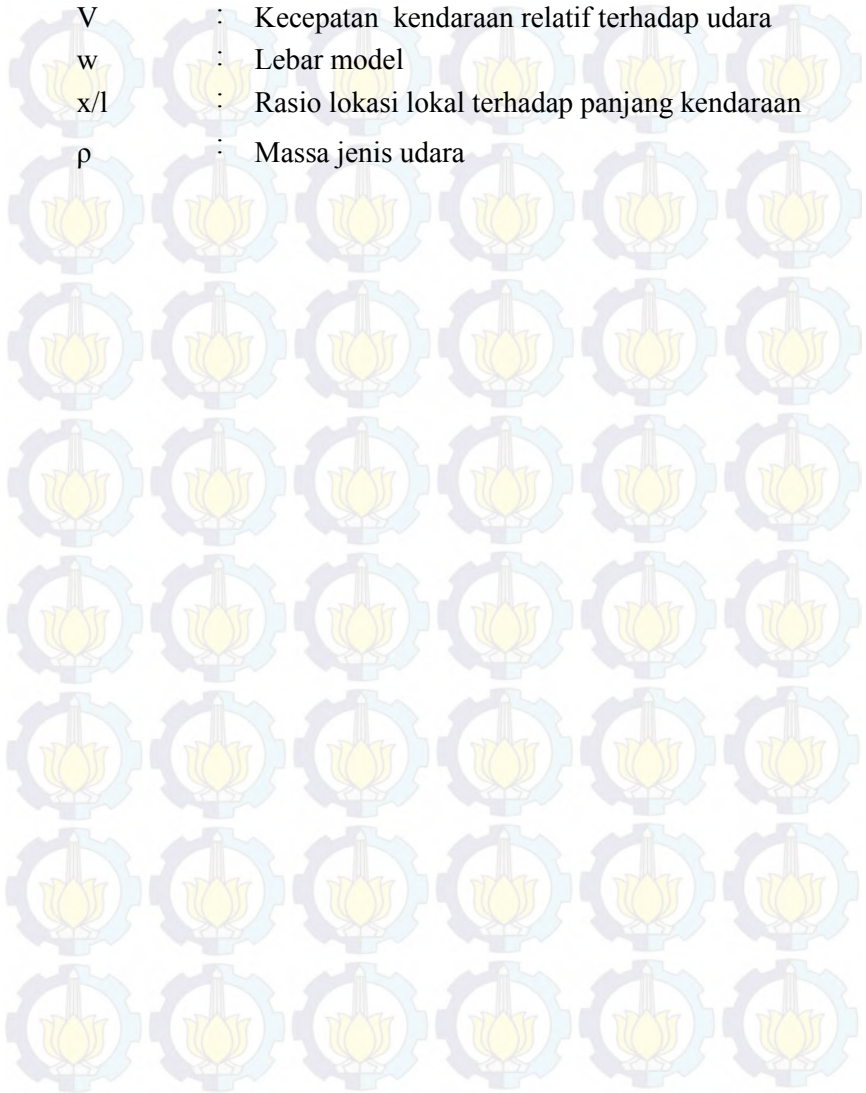
DAFTAR SIMBOL

Simbol	Arti
P_{∞}	: Tekanan statis <i>freestream</i>
$\partial p / \partial x$: Gradient tekanan aliran
$\partial u / \partial y$: Gradient kecepatan aliran
ΔP	: Perbedaan antara tekanan <i>freestream</i> dengan tekanan pada kontur kendaraan
α	: Sudut serang
μ	: Viskositas udara
A	: Luas frontal
C_D	: Koefisien <i>drag</i>
C_f	: Koefisien <i>friction</i>
C_L	: Koefisien <i>lift</i>
c/l	: Rasio <i>clearance</i> terhadap panjang model
C_{LF}	: Koefisien <i>front lift</i>
C_{LR}	: Koefisien <i>rear lift</i>
C_p	: Koefisien tekanan
C_m	: Koefisien moment
F_D	: Gaya <i>drag</i>
F_L	: Gaya <i>Lift</i>
g	: Percepatan gravitasi
L	: Panjang model
P	: Tekanan statis aliran fluida
P_o	: Tekanan stagnasi
Re	: Bilangan <i>Reynolds</i>
H	: Tinggi model



Tugas Akhir
Konversi Energi

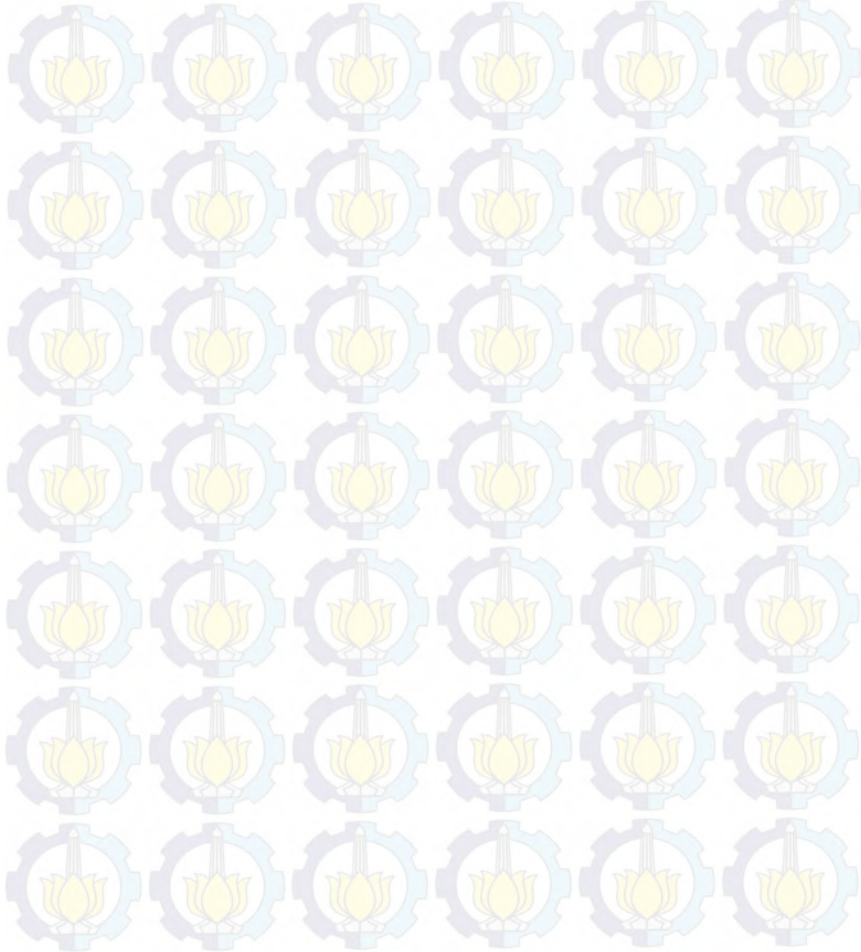
- U_{∞} : Kecepatan *free stream*
 V : Kecepatan kendaraan relatif terhadap udara
 w : Lebar model
 x/l : Rasio lokasi lokal terhadap panjang kendaraan
 ρ : Massa jenis udara





DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Shear Stress fungsi l/d	47
Tabel 3.1	Dimensi Mobil <i>Sapuangin Speed</i>	51
Tabel 3.2	Alokasi waktu penelitian	57







BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Formula student merupakan kompetisi membuat kendaraan dibawah naungan SAE (*Society Automotive Engineer*) internasional yang diikuti oleh mahasiswa di seluruh dunia. Dalam lomba ini mahasiswa dituntut untuk dapat membuat mobil dan menjalani perlombaan seperti pada mobil formula. Dalam kompetisi ini ada beberapa kateori perlombaan diantaranya *acceleration, skid pad, autocross, endurance, dan fuel efficiency* . Karena banyaknya kategori perlombaan tersebut maka tiap tim harus dapat mendesain mobil sebaik mungkin agar dapat memenangkan pertandingan. Salah satu cara yang dapat dilakukan adalah menganalisa kendaraan dari segi aerodinamika. Penyebab kendaraan memiliki efisiensi bahan bakar terbaik diantaranya adalah berat kendaraan, efisiensi mesin, cara mengemudi dan gaya hambat aerodinamika. Aerodinamika dapat menjadi suatu sarana untuk menghasilkan mobil yang memiliki efisiensi bahan bakar paling baik.

Kebutuhan untuk menghasilkan teknologi yang semakin maju, menuntut berbagai kalangan untuk melakukan penelitian dan pengembangan untuk menghasilkan bodi mobil yang memiliki gaya hambat aerodinamika sekecil mungkin. Untuk mengarah ke konsep optimalisasi tersebut, para peneliti menggunakan konsep aliran 2D maupun aliran 3D yang melintasi suatu bodi. Analisa 2D mengenai fenomena aliran sejak dahulu telah memunculkan berbagai macam karakteristik aliran. Salah satunya adalah analisa aliran melewati bodi tunggal yang sederhana maupun dengan menyertakan pengaruh dinding (*side wall*).

Beberapa penelitian terdahulu telah dilakukan pada bodi tunggal yang berfokus pada *leading edge*. *Leading edge* merupakan bagian pada kendaraan yang pertama kali terkena oleh



aliran. Oleh sebab itu, bentuk dan desain dari *leading edge* menentukan konfigurasi maupun pola aliran dibelakangnya (*downstream*). Van dyke menyatakan bahwa *leading edge* yang semakin tumpul akan menyebabkan tingkat defleksi aliran yang semakin besar. Namun, penelitian ini tidak memperhitungkan pengaruh dinding (*side wall*) terhadap karakteristik aliran yang melewati bodi tunggal.

Beberapa kajian telah dilakukan yang berkonsentrasi pada *centreline* kendaraan dengan menggunakan analisa aliran 2D. Barnard mendapati bahwa faktor yang sangat mempengaruhi terjadinya gaya angkat pada *road vehicle* adalah jarak dengan jalan (*ground clearance*). Berdasarkan teori bahwa bagian bawah kendaraan akan membentuk efek venturi yang menghasilkan daerah bertekanan rendah, sehingga menciptakan gaya angkat negatif (*downforce*). McBeath gaya angkat negatif akan meningkat seiring dengan berkurangnya *ground clearance*, pada jarak tertentu maka gaya angkat negatifnya akan berkurang. *Ground clearance* yang terlalu rendah akan membuat *viscous effect* menjadi dominan, menghalangi aliran yang ada di bagian bawah kendaraan. Katz memperkecil *ground clearance* akan menaikkan *lift* untuk tipe dari geometri kendaraan tertentu. Pada tipe *symmetric ellipsoid*, dengan memperkecil *ground clearance* akan menghasilkan *down force* yang lebih besar tetapi akan memperbesar *drag*. Sedangkan untuk tipe *semi ellipsoid*, dengan memperkecil *ground clearance* akan meningkatkan *lift* dan *drag*. Konsentrasi penelitian juga dilakukan pada bagian belakang kendaraan yang dilakukan oleh Hucho et al. Semakin kecil sudut *inklinasi* ujung belakang (θ) maka semakin kecil koefisien dari gaya hambat belakang (C_{DR}), gaya angkat depan (C_{LF}) dan gaya angkat belakang (C_{LR}). Dan semakin besar sudut *difuser* bawah (γ) pada bodi belakang, maka semakin kecil koefisien gaya angkat belakang (C_{LR}).

Struktur aliran ketika melewati geometri bodi yang kompleks dirasa kurang cukup bila karakteristiknya dideskripsikan hanya menggunakan analisa 2D. Pada bodi



kendaraan, analisa aliran 3D dirasa perlu digunakan saat aliran tersebut menerima banyak gangguan. Gangguan tersebut biasa terjadi pada aliran yang melewati dua benda yang saling berdekatan yaitu pada gap antara bodi bawah dengan jalan. Interaksi antar lapis batas tersebut membuat terjadinya *vortisitas sekunder* yang akan memunculkan aliran sekunder. Fenomena ini terjadi ketika terjadi interferensi antara *boundary layer* bodi kendaraan dengan *boundary layer* jalan. Hal ini akan mengakibatkan *blockage effect* dan kerugian pada daerah interaksi tersebut dikenal dengan *secondary loss*. Untuk itulah, kajian mengenai analisa aliran secara 3D ini sangat penting pada sebuah kendaraan.

Fukuda et al telah mengkaji konsep aliran 3D pada aerodinamika automobil dengan menggunakan teknik CFD dan uji eksperimen di terowongan angin. Penelitian ini untuk mengetahui hubungan antara sudut *inklinasi* ujung belakang (θ) terhadap gaya *drag* dan *lift* serta struktur *wake* ditunjukkan sebagai dasar bentuk ujung belakang kendaraan. Didapatkan bahwa *spiral vortex* pada sumbu-x bertambah, berkurang atau hilang disebabkan perubahan sudut *inklinasi* ujung belakang (θ) dan hasilnya menyebabkan perubahan pada C_D, C_L , terutama C_{LR} .

Kompleksitas dari fenomena aliran yang melewati struktur benda yang kompleks dirasa kurang cukup untuk mendeskripsikan karakteristiknya ketika masih menggunakan analisa 2D saja. Pada kendaraan mobil, fenomena aliran 3D dirasa perlu digunakan saat aliran tersebut menerima banyak gangguan. Gangguan tersebut biasa terjadi pada aliran yang melewati dua benda yang saling berdekatan yaitu pada gap antara bodi bawah dengan jalan. Deskripsi tentang aliran 3D ditunjang dengan terminologi fisis mengenai interaksi antara lapis batas kedua benda tersebut. Interaksi antar lapis batas tersebut membuat terjadinya *vortisitas sekunder* yang akan memunculkan aliran sekunder. Kerugian justru didapat dengan adanya efek penyumbatan (*blockage effect*) pada daerah interaksi tersebut. Fenomena ini terjadi ketika momentum aliran *free stream*



bertemu dengan momentum aliran bodi bawah mobil dan momentum aliran pada jalan. Untuk itulah, kajian mengenai analisa aliran secara 3D sangat penting pada sebuah kendaraan.

Grummy menjelaskan hasil yang diperoleh dari pemasangan *side airdams* pada van relatif tidak berpengaruh terhadap distribusi tekanan maupun pada tingkat stabilitas kendaraan. Pengamatan yang dilakukan pada bagian *wake* menunjukkan tidak ada perubahan distribusi kecepatan pada *upperside* tetapi sedikit ada perubahan pada *lowerside*. Sehingga pengaruh dari gaya drag relatif terjadi pada pemasangan *side-airdams*.

1.2 Perumusan Masalah

Secara umum geometri dari mobil *Sapuangin Speed* ini didesain menyerupai bentuk bodi mobil formula. Bagian depan tumpul dan membesar sampai bagian belakang yang hampir berbentuk segiempat. Hal tersebut dikarenakan geometri juga mengikuti bentuk chassis kendaraan. Seperti halnya mobil formula, geometri mobil memiliki *sidepot* di bagian kiri dan kanan mobil. Bentuk dari *sidepot* mengalami pengecilan penampang dari bagian depan sampai belakang, hal ini akan sangat berpengaruh terhadap fenomena aliran pada *side body* kendaraan akibat bentuknya yang sangat kompleks. Selain itu bentuk *leading edge* yang tumpul memungkinkan terjadinya *multi-stagnation point*. *Multi-stagnation point* ini merupakan area bertekanan tinggi pada *leading edge*. Perbedaan tekanan antara *leading edge* dan *rear end* ini akan mengakibatkan *drag force* yang melawan pergerakan bodi. Semakin besar perbedaan tekanan antara *leading edge* dan *rear end* mengakibatkan terbentuknya *drag force* yang semakin besar pula.

Dengan bentuk geometri belakang yang menyerupai segi empat di bagian belakang dan bilangan Reynolds yang rendah beresiko terhadap separasi aliran di buritan. Adanya separasi akan menghasilkan area bertekanan rendah di belakang bodi yang disebut *wake*. Hal ini disebabkan momentum aliran laminar tidak mampu mengatasi gaya geser dan *adverse pressure gradient*



setelah melewati *leading edge*. Deskripsi terbentuknya separasi di buritan dapat diperkuat dengan efek yang ditimbulkan oleh *ground clearance* dan efek dari *sidebody*. Semakin rendah *ground clearance* maka semakin besar potensi terbentuknya *blockage effect* pada sisi *upstream* dekat jalan. Aliran cenderung terdefleksi dengan sangat cepat menuju *upperside* yang seakan-akan menerima sudut serang positif sehingga menggeser posisi titik *minimum pressure* lebih kedepan. Manifestasinya adalah mendorong *adverse pressure gradient* lebih ke depan dan separasi di buritan pun lebih cepat terjadi.

Berdasarkan beberapa pemahaman mengenai fenomena aliran di atas, tugas akhir ini mencoba untuk menganalisa bagaimana fenomena aliran melewati bodi kendaraan *Sapuangin speed* di daerah sekitar *leading edge*, *rear end* dan *side body sapuangin speed*.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan diadakannya penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui karakteristik aliran 3D beserta efek gaya aerodinamika yang ditimbulkan pada saat melewati bodi mobil *Sapuangin Speed*. Melalui pemodelan numerik *Computational Fluid Dynamics* (CFD) akan dikaji beberapa parameter, antara lain :
 1. Nilai distribusi koefisien tekanan (C_p), koefisien *drag* (C_D), dan koefisien *lift* (C_L) pada kontur bodi mobil *Sapuangin Speed*.
 2. Visualisasi aliran meliputi tampilan *pathlines*, kontur kecepatan, serta tampilan distribusi vektor kecepatan saat melewati bodi mobil *Sapuangin Speed*.
2. Mengetahui hambatan-hambatan aerodinamika yang terjadi pada bodi *sapuangin speed*.
3. Mengetahui estimasi kebutuhan gaya traksi terbaik untuk dapat meningkatkan efisiensi bahan bakar



berdasarkan analisa aerodinamika yang telah dilakukan.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan pada penelitian dengan menggunakan perangkat lunak *Ansys Fluent 14* ini adalah :

1. Pemodelan numerik dengan memodelkan aliran fluida tanpa sudut serang ($\alpha=0^\circ$) terhadap bodi.
2. Menggunakan model turbulen *k-ε realizable, boundary condition* untuk *inlet* adalah *velocity inlet* dengan kecepatan aliran udara masuk sebesar 22.22 m/s dan untuk *outlet* adalah *pressure outlet*.
3. Perpindahan energi diabaikan.
4. Efek yang ditimbulkan adanya *cockpit* dan pengemudi diabaikan.
5. Efek yang ditimbulkan oleh putaran roda diabaikan.
6. *Firewall* diabaikan.
7. Benda uji yang digunakan adalah bodi standar dengan dimensi utama :

Panjang (l) : 2913 mm

Lebar (w) : 1428 mm

Tinggi (h) : 686 mm

Celah (c) : 40 mm

Perbandingan celah dengan panjang (C/L) : 0.014

Kondisi pengujian pada : $Re_L = 3.3541 \times 10^6$

1.5 Manfaat penelitian

Dengan dilakukannya penelitian ini diharapkan membawa manfaat yaitu :

1. Mampu memahami, menjelaskan, dan membandingkan pengaruh bentuk *leading edge, rear end* dan *ground clearance* terhadap karakteristik aliran disekitar bodi kendaraan *sapuan speed* yang ditinjau secara analisa aliran 3D.



2. Mengetahui fenomena aliran secara fisis dari analisa aliran 3D disekitar bodi melalui visualisasi aliran dengan perangkat lunak *Ansys Fluent 14* akibat pengaruh bentuk *leading edge*, *rear end*, *ground clearance* beserta efek sidebody.
3. Mampu memberikan sumbangsih nyata pada optimalisasi bodi kendaraan yang nantinya bisa digunakan sebagai rujukan pengembangan kendaraan *Sapuangan Speed* yang akan berlaga di Formula Student Japan 2014



Halaman ini sengaja dikosongkan



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Aliran Eksternal

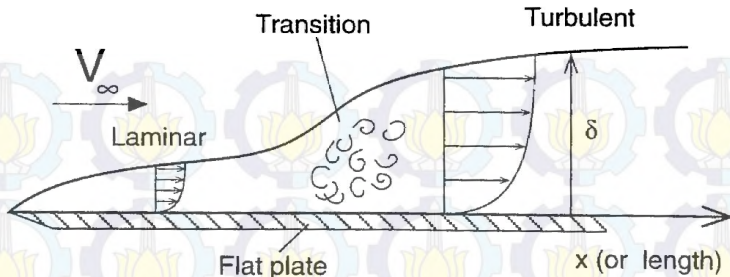
2.1.1 Konsep Lapis Batas (*Boundary Layer*)

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*).

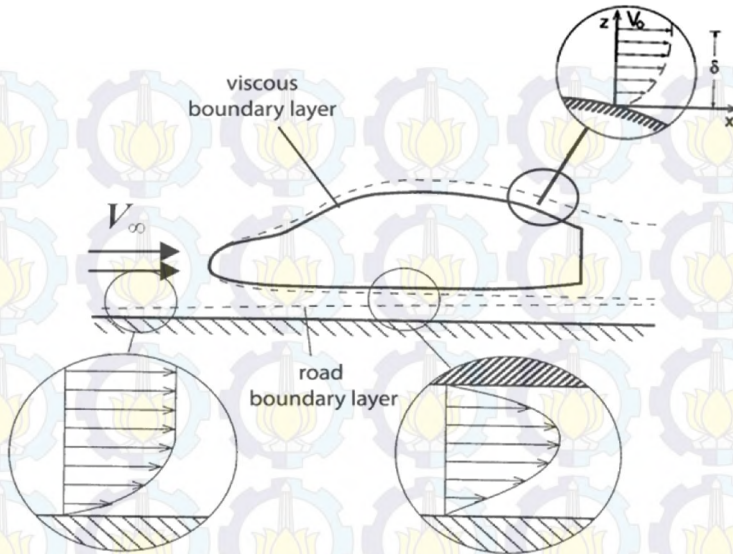
Gambar 2.1 memperlihatkan suatu fluida mengalir dengan distribusi kecepatan yang sama atau *uniform* (U_∞). Ketika melewati suatu *solid surface*, aliran tersebut mengalami distribusi kecepatan yang berbeda sebagai pengaruh adanya tegangan geser pada permukaan padat. Distribusi kecepatan ini dimulai dari titik di permukaan padat tersebut, dimana aliran fluida mempunyai kecepatan nol. Kemudian menjadi semakin besar ketika menjauhi permukaan bodi. Pengaruh tegangan geser akan hilang pada posisi tertentu dan 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 posisi tersebut disebut tebal lapis batas (*boundary layer thickness*, δ). Di mana tebal lapis batasnya akan meningkat seiring dengan bertambahnya jarak atau lintasan.



Gambar 2.1 Struktur lapis batas

Lapis batas pada permukaan padat akan berkembang dari ujung plat (*leading edge*). Tebal lapis batas pada daerah *leading edge* masih tipis, dimana partikel-partikel bergerak secara berlapis-lapis dan lapis batas yang terjadi disebut lapis batas laminar. Semakin jauh fluida bergerak dari ujung plat, lapis batas akan semakin berkembang dan aliran akan berubah mendekati turbulen.

Adanya lapis batas menyebabkan kerugian *momentum flux* dibanding aliran *inviscid*. Ketebalan dalam aliran *inviscid* yang mempunyai *momentum flux* sama dengan defisit *momentum flux* dalam lapis batas disebut *momentum thickness* (θ). Kerugian momentum ini dapat digunakan untuk mengetahui seberapa besar koefisien friksi permukaan (C_f).



Gambar 2.2 Lapis batas didekat permukaan kendaraan Katz

Ketebalan dari lapis batas sekitar beberapa mm didepan kendaraan yang melaju pada 100 km/jam, dan beberapa cm pada bagian belakangnya. Seperti yang diketahui, semakin tebal lapis batas berkontribusi pada terbentuknya *viscous friction drag* yang semakin besar.

2.1.2 Karakteristik *Boundary Layer*

Jenis lapis batas yang terjadi pada aliran udara yang mengalir suatu obyek sangat ditentukan oleh bilangan *Reynolds* (R_e). Hal ini dapat dijelaskan bahwa dalam lapis batas gaya *viscous* dan gaya inersia sangat penting, sementara bilangan *reynolds* sendiri menggambarkan perbandingan antara gaya inersia terhadap gaya *viscous*.

$$R_e = \frac{\text{Gaya Inersia}}{\text{Gaya Viscous}} \quad (2.1)$$



dimana : Gaya Inersia $= p \cdot A = \rho \cdot U_{\infty}^2 \cdot L^2$ (2.2)

Gaya Viscous $= \tau \cdot A = \left(\frac{\mu \cdot U_{\infty}}{L} \right) \cdot L^2$ (2.3)

Sehingga,

$$R_e = \frac{\rho \cdot U_{\infty}^2 \cdot L^2}{\left(\frac{\mu \cdot U_{\infty}}{L} \right) \cdot L^2} = \frac{\rho \cdot U_{\infty} \cdot L}{\mu} \quad (2.4)$$

dimana : ρ : Densitas fluida

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

L : Panjang karakteristik yang diukur pada medan aliran, dalam kasus ini adalah panjang kendaraan

μ : Viskositas dinamis fluida.

Sehingga,

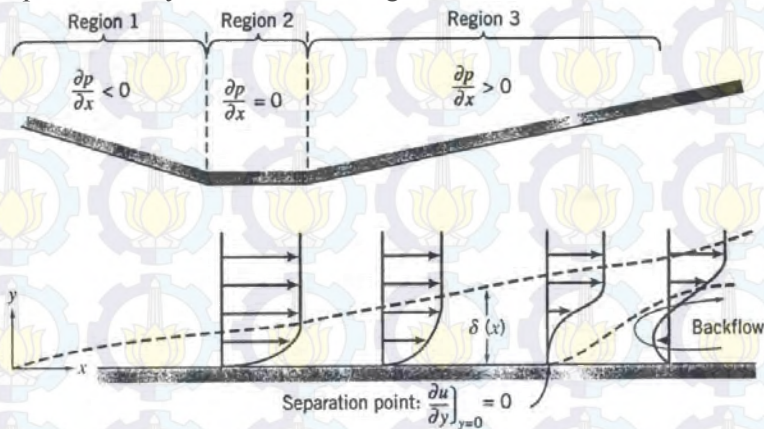
$$R_e = \frac{\rho \cdot U_{\infty} \cdot L}{\mu} \quad (2.5)$$

2.1.3 Separasi Pada Boundary Layer

Di dalam *boundary layer* ditemukan suatu fenomena yang disebut sebagai separasi. Separasi ini menimbulkan aliran yang terbalik arahnya dari aliran utama. Separasi merupakan peristiwa dimana aliran fluida terpisah dari permukaan benda. Proses separasi diawali dengan adanya aliran fluida yang terus menerus mengalami perubahan karena adanya gaya gesek. Akibat gaya gesek tersebut, momentum alirannya berkurang sampai suatu saat momentum alirannya sudah tidak bisa mengatasi hambatan sehingga aliran 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 arah aliran utama.



Gambar 2.3 Aliran dengan pressure gradient

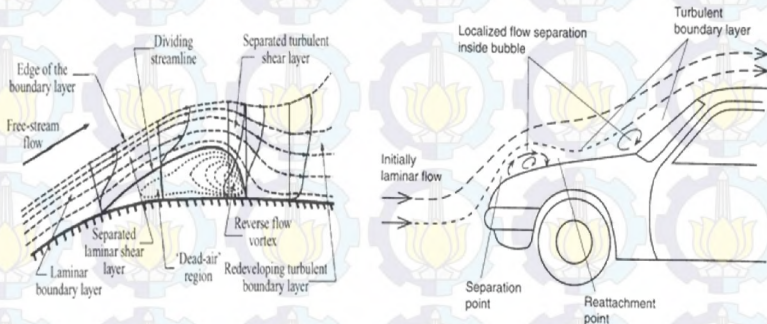
Separasi sangat dipengaruhi oleh *gradient* tekanan sepanjang aliran, khususnya oleh *adverse pressure gradient*, yaitu tekanan yang semakin meningkat sejajar dengan arah aliran sepanjang permukaan benda kerja $\left[\frac{dp}{dx} \right] > 0$. Pada daerah *adverse pressure gradient*, aliran fluida akan mengalami hambatan selain karena adanya gesekan 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.

2.1.4 Separasi *Bubble*

Separasi *Bubble* adalah separasi yang dilanjutkan dengan penyentuhan kembali fluida yang telah terseparasi ke *solid body*. Seperti terlihat pada gambar 2.4, 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 mendapatkan dorongan

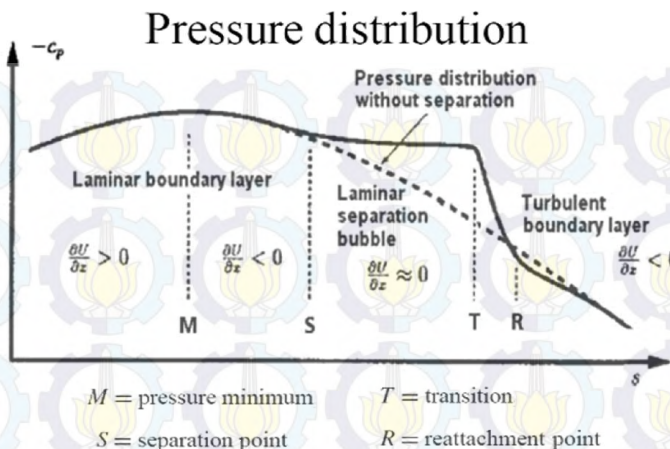


energi dari *free stream* yang kemudian memaksa *shear layer* untuk *attach* kembali ke *solid body*. Setelah mencapai untuk *reattachment*, aliran diperlambat lagi karena adanya gesekan dan *adverse pressure gradient* yang lebih kuat, sehingga terjadi separasi *massive*.



Gambar 2.4 Deskripsi skematik separasi bubble dan transisi lapis batas

Daerah di bawah *shear layer* laminar, yang merupakan *downstream* dari titik separasi (dimulai dari titik di mana *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* di mana terjadi osilasi tekanan yang kuat. Hal ini dikarenakan pusat *recirculating flow* berada dekat bagian belakang *bubble*.

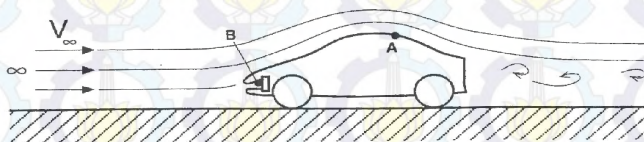


Gambar 2.5 Distribusi tekanan pada separasi bubble

Dari distribusi tekanan pada gambar 2.5, tampak bahwa tekanan statis cenderung bernilai konstan selama *downstream* dari titik separasi. Hal ini dikarenakan kecepatan partikel fluida di daerah *separated flow* sangat lambat. Tekanan kembali meningkat setelah *separasi bubble*.

2.1.5 Persamaan Tekanan

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



Gambar 2.6 Terminologi untuk streamline aliran di sekeliling kendaraan



Sejumlah aliran pada bodi kendaraan yang diilustrasikan pada gambar 2.6 diatur oleh hubungan antara kecepatan dan tekanan yang diekspresikan melalui persamaan Bernoulli sebagai berikut.

$$\frac{P}{\rho} + \frac{V^2}{2} = \text{Konstan} \quad (2.6)$$

$$P_{\text{statik}} + P_{\text{dinamik}} = \text{konstan} = P_{\text{total}} \quad (2.7)$$

$$P_B - P_{\infty} = \rho/2 V_{\infty}^2 \quad (2.8)$$

Persamaan ini mempunyai arti bahwa aliran udara yang mengalami kenaikan tekanan, akan diimbangi dengan penurunan kecepatan aliran udara tersebut atau sebaliknya. Dengan begitu, kita dapat mengetahui besarnya tekanan pada sepanjang kontur bodi, dalam hal ini diwakilkan oleh titik B. Tetapi perlu diketahui bahwa asumsi yang digunakan untuk persamaan ini adalah perbedaan ketinggian diabaikan, tidak ada perbedaan densitas (aliran *incompressibel*), aliran *steady*, aliran sepanjang *streamline*, dan aliran tanpa gesekan.

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

Tekanan stagnasi (tekanan total) adalah tekanan yang diukur pada suatu titik dimana aliran fluida diperlambat



mendekati nol dengan proses tanpa gesekan dan arah tumbukan fluida adalah tegak lurus dengan bidang tumbukan.

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

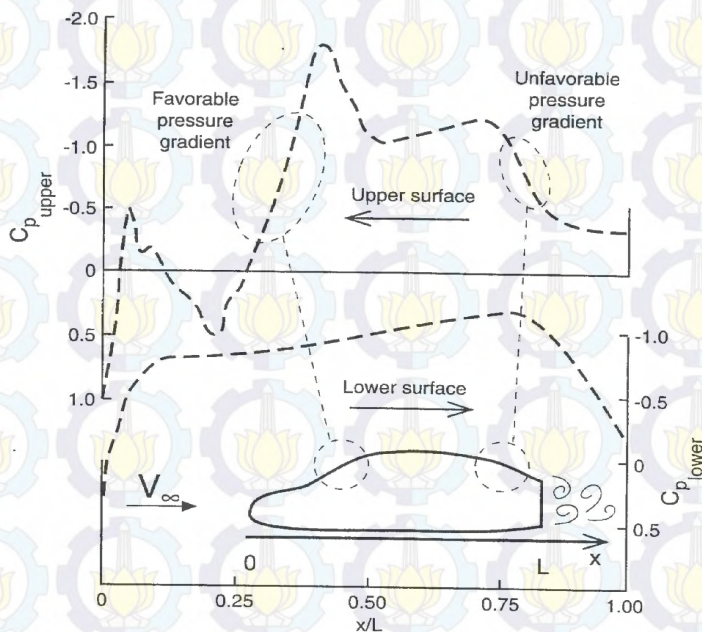
$$C_p = \frac{p - p_\infty}{\frac{1}{2}\rho V_\infty^2} = 1 - \frac{V^2}{V_\infty^2} \quad (2.9)$$

dimana P : tekanan statik lokal atau tekanan pada kontur

p_∞ : tekanan statik *free stream*

V : kecepatan lokal aliran

V_∞ : kecepatan *free stream*



Gambar 2.7 Distribusi C_p sepanjang 2D kontur automobile



Timbul atau tidaknya gaya angkat dapat dilihat secara langsung dari distribusi tekanan atau C_p pada permukaan atas dan bawah dari kontur seperti pada gambar 2.7. Jika selisih distribusi tekanan pada permukaan atas dan bawah bernilai positif maka *lift* yang timbul akan menyebabkan profil terangkat, sedangkan bila yang terjadi adalah sebaliknya maka gaya angkat negatif akan menyebabkan profil tertekan ke bawah. Selisih distribusi tekanan, besar kecilnya gaya angkat maupun gaya hambat juga ditentukan oleh gaya gesek dalam bentuk *skin friction coefficient* (C_f).

2.1.6 Gaya Aerodinamika

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

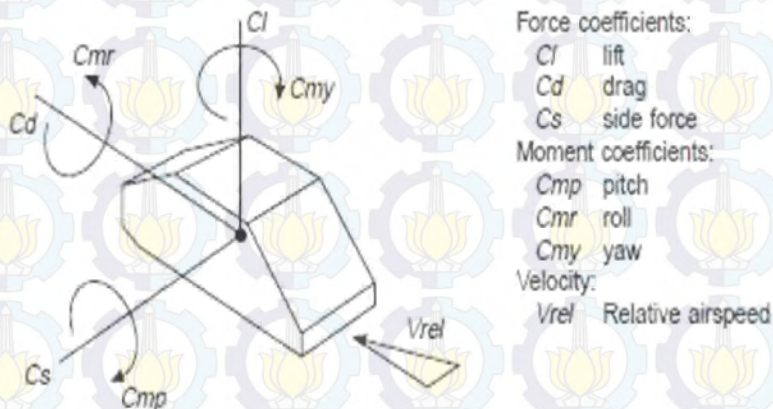
Gaya dan momen aerodinamika yang terdapat pada kendaraan diilustrasikan melalui gambar 2.8. Sedangkan koefisien gaya (F) dan momennya (M) didefinisikan melalui persamaan dibawah ini.

$$C_F = \frac{F}{1/2 \rho v^2 A} \quad (2.10)$$

$$C_M = \frac{M}{1/2 \rho v^2 A l} \quad (2.11)$$



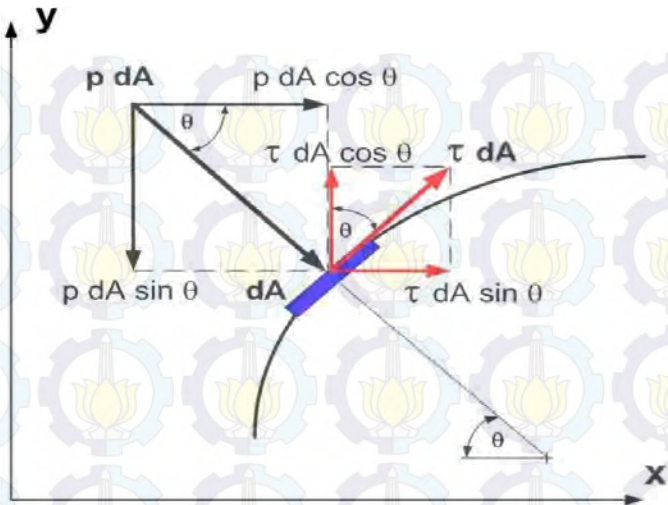
Dimana F adalah gaya (*lift*, *drag* atau *side*), M adalah momen, ρ adalah *densitas* udara, v adalah kecepatan, A adalah luasan referensi dan l adalah panjang referensi. Saat gaya aerodinamika bekerja pada kendaraan ketika diberikan kecepatan tertentu yang proporsional baik dari koefisien yang tepat dan dari luasan depan, produk dari C_{fA} biasanya digunakan untuk mengukur performansi aerodinamika khususnya *drag*.



Gambar 2.8 Gaya lift, drag, side dan momen

2.1.7 Teori Terjadinya Drag

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



Gambar 2.9 Penguraian komponen gaya drag dan lift

Penguraian gaya drag dapat dilihat pada gambar 2.9. Gaya drag yang terjadi dapat berupa *skin friction drag* (F_{Df}) yaitu gaya hambat yang menyinggung permukaan secara tangensial yang timbul sebagai akibat adanya *viskositas* (tegangan geser antara fluida dan permukaan benda) dan *pressure drag* (F_{Dp}) yaitu gaya hambat yang tegak lurus terhadap permukaan benda yang timbul karena adanya tekanan fluida. Resultan antara *friction drag* dan *pressure drag* ini disebut sebagai total drag.

Komponen gaya searah sumbu-x adalah gaya hambat. Gaya hambat yang terbentuk dapat didefinisikan sebagai berikut :

$$F_D = F_{Dp} + F_{Df} \quad (2.12)$$

$$F_D = \int \cos\theta.(p.dA) + \int \sin\theta.(\tau.dA) \quad (2.13)$$

Selain itu dapat juga dirumuskan sebagai berikut :



$$F_X = F_{SX} + F_{BX} = \frac{\partial}{\partial t} \int_{CV} \vec{V} \rho dV + \int_{CS} \vec{V} \rho \vec{V} \cdot d\vec{A}, \quad (2.14)$$

asumsi : 1) *Steady flow & Incompressible flow*

$$2) \vec{F}_{BX} = 0$$

3) Kecepatan aliran sisi inlet dianggap *uniform*

Sehingga,

$$\vec{F}_{SX} = \int_A \rho V dA,$$

Dengan *control volume* seperti pada gambar 2.9, maka :

$$\begin{aligned} F_{SX} &= - \int_{A_1} \vec{V}_1 \rho_1 V_1 dA_1 + \int_{A_2} \vec{V}_2 \rho_2 V_2 dA_2 \\ &= - |V_1 \rho_1 V_1 A_1| + \int_{A_2} \vec{V}_2 \rho \vec{V}_2 d\vec{A}_2 \end{aligned} \quad (2.15)$$

dimana: $A_1 = w \cdot 2h$

$$dA_2 = w \cdot dy_2$$

w = lebar *test section wind tunnel*

h = setengah tinggi *test section wind tunnel*.

Akhirnya didapat,

$$\begin{aligned} \vec{F}_{SX} &= - \left| \rho V_1^2 w(2h) \right| + \int_{-h}^h \vec{V}_2 \rho \vec{V}_2 w dy \\ \vec{F}_D = - \vec{F}_{SX} &= \left| \rho V_1^2 w(2h) \right| - \int_{-h}^h \vec{V}_2 \rho \vec{V}_2 w dy \end{aligned} \quad (2.16)$$

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



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

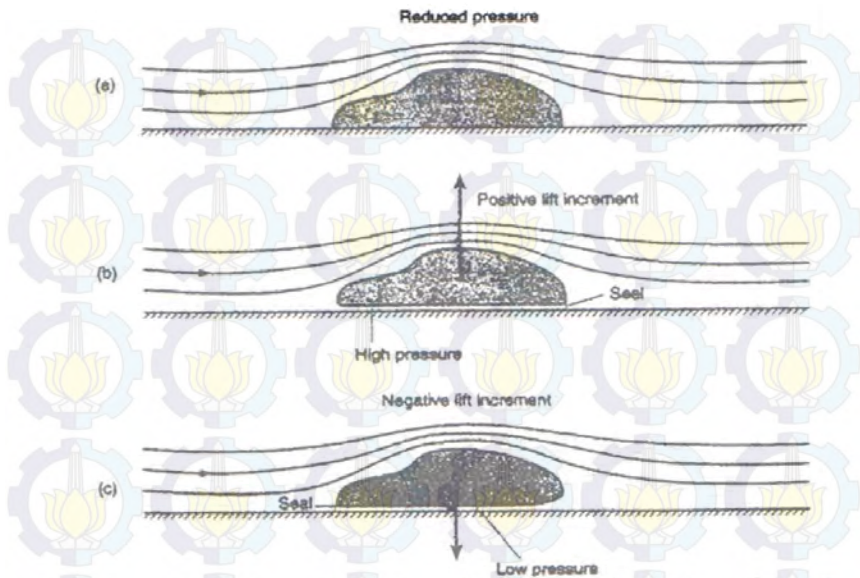
$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot A} \quad (2.17)$$

Dimana : A = luas frontal
 ρ = densitas udara
 V = kecepatan kendaraan relatif terhadap udara

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

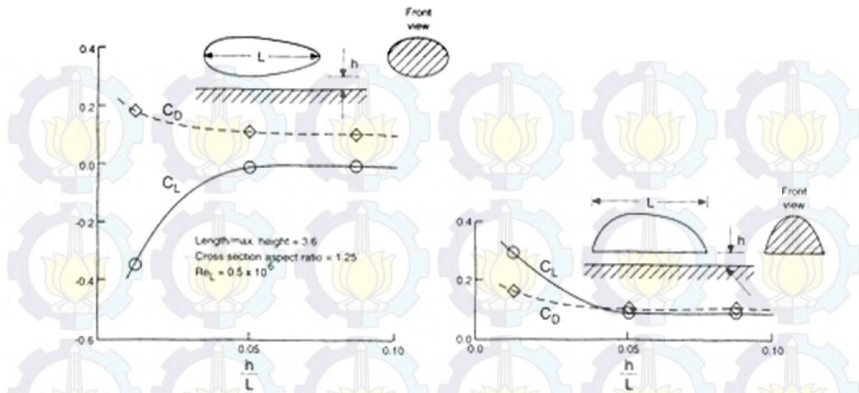
2.1.8 Teori Terjadinya Lift

Lift merupakan faktor penting dalam aerodinamika kendaraan, karena *lift* mempunyai pengaruh yang besar terhadap stabilitas, kemantapan berjalan atau *road holding* dan unjuk kerja atau *performance* kendaraan itu sendiri. Menurut Barnard, faktor yang sangat berpengaruh terhadap terjadinya gaya *lift* atau *lift force* pada *road vehicle* adalah jarak dengan jalan (*ground clearance*). Dijelaskan lebih lanjut jika kendaraan dekat dengan jalan sehingga terjadi *sliding contact* dengan jalan, maka aliran udara di bagian atas dipercepat dan akan menghasilkan *lift* sementara tekanan pada permukaan atas rendah. Tetapi umumnya sebagian besar kendaraan selalu memiliki jarak atau *clearance* pada bagian bawah sehingga terjadi juga aliran dibagian bawah dan *lift* positif atau negatif sangat bergantung pada aliran di bawah bodi dan distribusi tekanan.



Gambar 2.10 Proses terjadinya lift pada kendaraan

Hubungan antara jarak dengan tanah atau *ground clearance* dan gaya *lift* juga ditentukan geometri kendaraan. Katz mengelompokkan geometri kendaraan kedalam dua bentuk dasar *symetric ellipsoid* dan *semi ellipsoid*. Pada bentuk *symetric ellipsoid*, dengan memperkecil *ground clearance* akan menyebabkan percepatan aliran dibawah bodi yang akhirnya menghasilkan gaya ke bawah atau *downforce* yang lebih besar, tetapi di sisi lain akan memperbesar gaya *drag*. Sedangkan untuk geometri dasar kendaraan yang *semi ellipsoid*, memperkecil *ground clearance* cenderung akan menahan aliran di bawah bodi dan gaya *drag* mengikuti geometri bodi yang simetri. Hubungan antara kedua geometri dasar kendaraan dengan gaya *lift* dan *drag* ditunjukkan pada gambar 2.11 dibawah ini :



Gambar 2.11 Pengaruh ground clearance pada gaya lift dan drag Katz

Jarak antara garis-garis *streamline* di atas kendaraan dibandingkan dengan lapisan atas kendaraan memberikan indikasi dari *lift*. Jarak antara ruang *streamline* yang semakin dekat berarti kecepatan tinggi dan konsekuensinya tekanan statik rendah. Perbedaan tekanan antara sisi atas dan sisi bawah kendaraan menghasilkan gaya resultan yang disebut *lift*. Sesuai dengan hukumnya *lift* mempunyai arah ke atas, dengan demikian cenderung untuk mengangkat kendaraan sehingga mengurangi efektivitas beban roda. Di bawah kecepatan 100 km/jam *lift* dan *pitching moment* hanya mempunyai pengaruh yang kecil pada kendaraan meskipun angin silang atau *crosswind*. Besarnya gaya *lift* yang terjadi dapat dicari menggunakan rumusan dibawah ini :

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

Dimana :

F_L = gaya lift (N)

C_L = koefisien lift

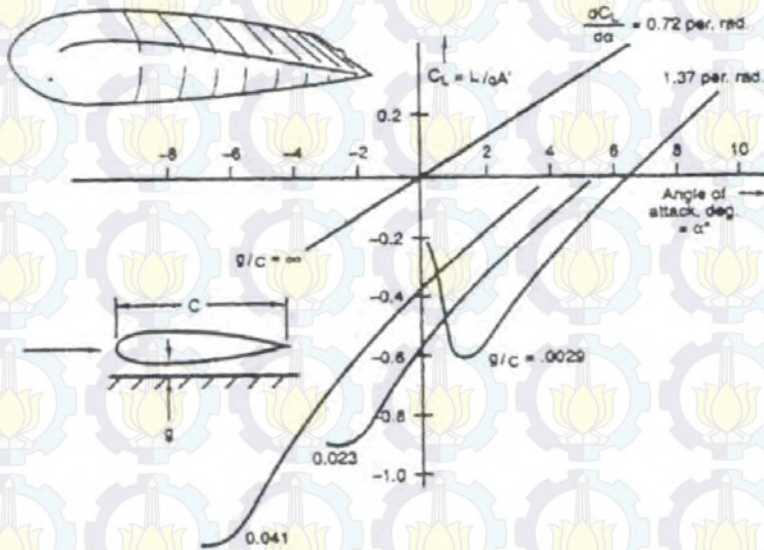
A = luas frontal (m²)

V = kecepatan kendaraan relatif terhadap udara (m/s)



2.1.9 *Ground Effect*

Konsep *ground effect* dijelaskan oleh Miliken & Miliken mengutip hasil penelitian *Stollery & Burns* yang menguji tentang gaya-gaya yang bekerja pada bodi dekat tanah. Dengan menggunakan teori sederhana bahwa airfoil simetri dua dimensi pada sudut serang atau *angle of attack* nol derajat dapat memberikan gaya angkat atau *lift negatif* jika diletakkan dekat tanah seperti ditunjukkan pada gambar 2.12, karena pada kondisi ini kecepatan udara antara airfoil dan tanah meningkat dan tekanan lokal menurun.

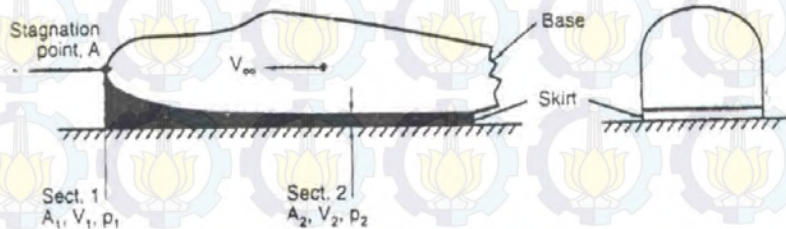


Gambar 2.12 Pengaruh tanah atau *ground effect*

Aplikasi konsep *ground effect* pada kendaraan ini dijelaskan lebih lanjut oleh *Miliken & Miliken* yang mengutip dari hasil penelitian *Peter Wright*. Dicontohkan pada gambar sasis atau *chassis* kendaraan dengan *side skirts* bergerak di atas tanah dengan kecepatan V_{∞} . Diasumsikan V_1 adalah kecepatan udara



relatif terhadap kendaraan pada *section 1* yang sama dengan V_∞ . Juga diasumsikan titik stagnasi A belum diketahui, jadi luas *cross-section* A_1 pada daerah masuk. Tekanan statik pada daerah ini $p_1 = p_\infty$. Asumsi aliran *incompressible*, pengaruh *diffuser* diabaikan. Juga diasumsikan *skirt* menutup dengan baik sehingga *vortices* yang kebocoran *seal* tidak ada.



Gambar 2.13 Ground effect pada kendaraan

Berdasarkan hukum kontinuitas, aliran massa yang melintasi *section 1* dan *section 2* sama, atau :

$$\rho A_1 V_1 = \rho A_2 V_2 \text{ atau } V_2 = V_1 (A_1 / A_2) \quad (2.19)$$

Dari persamaan Bernoulli :

$$p_\infty + \frac{1}{2} \rho V_\infty^2 = p_2 + \frac{1}{2} \rho V_2^2 \quad (2.20)$$

$$\Delta p = p_2 - p_\infty = \frac{1}{2} \rho V_\infty^2 - \frac{1}{2} \rho V_2^2 \quad (2.21)$$

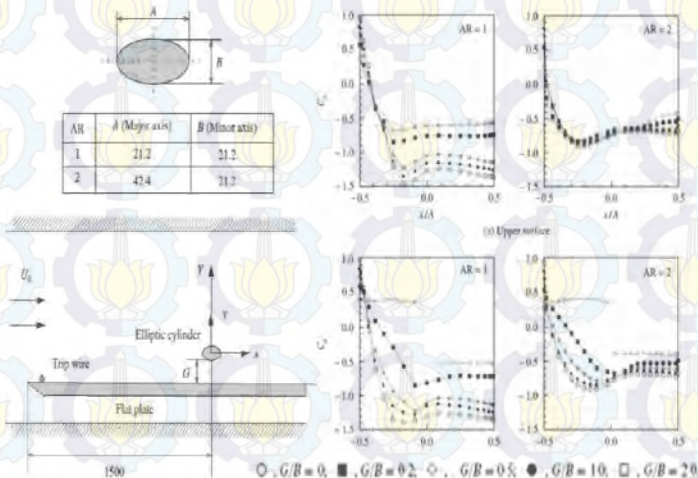
$$\frac{\Delta p}{\frac{1}{2} \rho V_\infty^2} = 1 - \left(\frac{V_2}{V_\infty} \right)^2 = C_p \quad (2.22)$$



2.2 Penelitian yang Relevan

2.2.1 Penelitian Bodi Tunggal dengan Pengaruh Dinding oleh *Choi dan Lee* [13]

Penelitian *Choi dan Lee* adalah mengenai pengaruh dinding terhadap aliran fluida yang melalui sebuah silinder elips pada sebuah *bondary layer* turbulen. Penelitian dilakukan pada silinder yang diletakkan 1500 mm dari ujung pelat datar dengan memvariasikan rasio sumbu mayor dan minor (AR) serta rasio jarak gap antara permukaan plat datar dengan permukaan bawah silinder dan tinggi silinder (G/B), yaitu 0; 0,2; 0,5; 1,0; 2,0. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa harga koefisien *lift* (C_L) dan koefisien *drag* (C_D) mengalami perubahan seiring dengan perubahan harga G/B . Skema percobaan yang dilakukan oleh *Choi dan Lee* [13] tampak seperti pada Gambar 2.14.

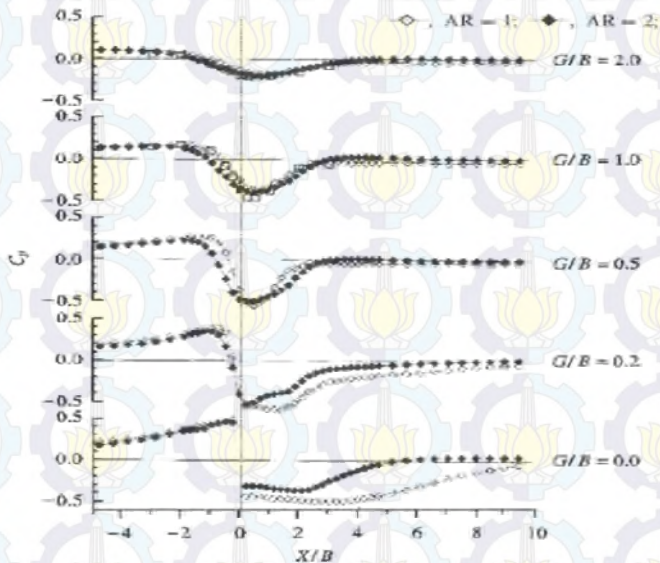


Gambar 2.14 Skema penelitian (kiri); C_p pada silinder (kanan)

Hasil penelitian yang dilakukan oleh *Choi dan Lee* didapatkan bahwa dengan semakin besar nilai rasio gap maka



nilai dari koefisien tekanan akan turun. Akan tetapi pada silinder dengan $AR=1$ (silinder siku), penurunan tekanan yang terjadi lebih besar dari pada penurunan tekanan yang terjadi pada silinder dengan $AR=2$ (elips). Pada gambar 2.14 b, dapat ditunjukkan bahwa nilai koefisien *drag* yang terjadi pada silinder sirkular lebih besar dari koefisien *drag* yang terjadi pada elips.

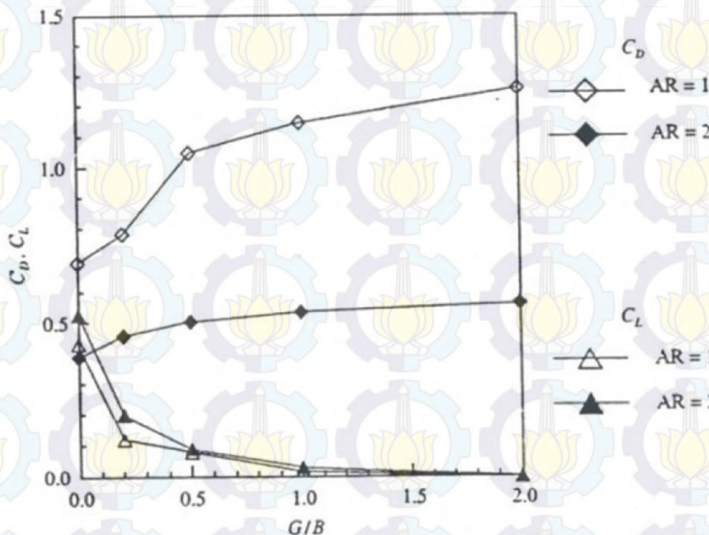


Gambar 2.15 Koefisien tekanan pada dinding]

Dari hasil penelitian yang dilakukan oleh *Choi dan Lee* dapat disimpulkan bahwa ketika silinder didekatkan pada dinding ($G/B = 0$), distribusi tekanan yang terdapat pada dinding mengalami *discontinuity* atau putus pada bagian dinding yang kontak dengan silinder. Dari gambar 2.15 juga dapat dijelaskan pada bagian depan silinder mengalami kenaikan C_p karena pada bagian tersebut terjadi perlambatan kecepatan aliran. Dengan perlambatan kecepatan tersebut maka tekanan yang dimiliki akan lebih besar. Untuk rasio jarak gap yang lebih besar, tidak terjadi



lagi *discontinuity* distribusi tekanan pada dinding. Semakin besar rasio jarak gap ini juga didapatkan distribusi tekanan yang ada pada dinding semakin mendekati distribusi tekanan pada saat tanpa silinder. Hal ini mengindikasikan bahwa semakin besar rasio jarak gap, maka pengaruh dari silinder terhadap distribusi tekanan pada dinding semakin hilang.



Gambar 2.16 Koefisien drag dan lift

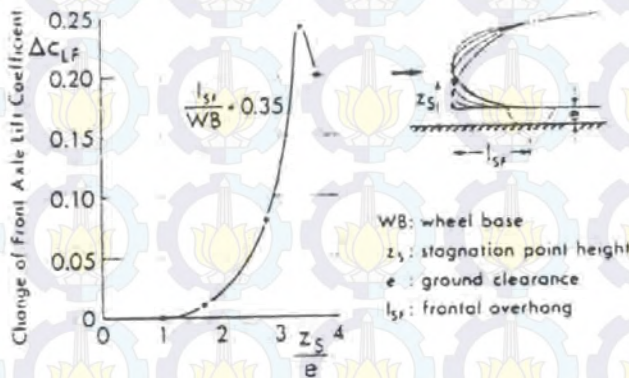
Pada Gambar 2.16 ditunjukkan bahwa distribusi tekanan permukaan menjadi simetri pada kenaikan rasio jarak gap. Pada $AR = 1$ dan $G/B = 0$ dihasilkan koefisien drag 0,7 dan semakin besar saat rasio jarak gap G/B mulai meningkat. Koefisien drag mencapai titik maksimum pada rasio jarak gap $G/B = 2$, yaitu sebesar $\pm 1,25$. Sedangkan pada $AR = 2$ dan $G/B = 0$ diperoleh koefisien drag 0,4 dan semakin meningkat pula saat rasio jarak gap G/B semakin besar. Koefisien drag mencapai titik maksimum pada rasio jarak gap $G/B = 2$, yaitu sebesar $\pm 0,55$. Hal ini menunjukkan bahwa koefisien drag silinder sirkular lebih besar dari pada elips yang perubahan kenaikan koefisien drag-nya tidak



terlalu signifikan pada kenaikan rasio jarak gap G/B . Hasil percobaan untuk *lift*, ketika silinder diletakkan pada rasio jarak gap $G/B=0$, silinder mempunyai koefisien *lift* yang positif. Untuk rasio jarak gap kurang dari $G/B=0,5$, silinder elips mempunyai koefisien *lift* yang lebih besar dibandingkan dengan silinder sirkuler. Dengan meningkatnya rasio jarak gap, koefisien *lift* akan turun dan semakin mendekati nol.

2.2.2 Penelitian pada Kendaraan yang Berkonsentrasi di Centreline oleh Buchheim et al

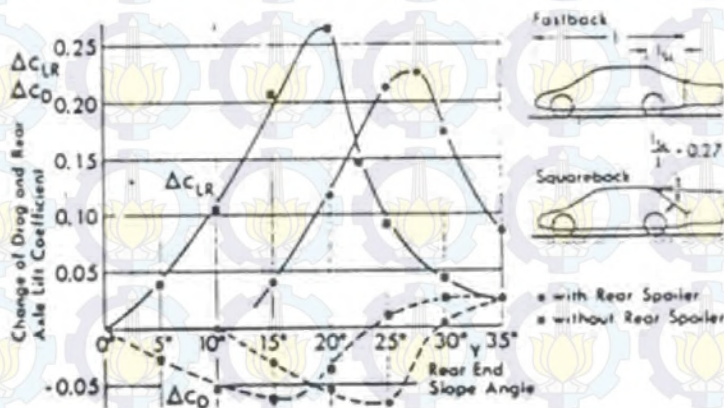
Kontrol dari parameter aerodinamika yang penting dan mempengaruhi dinamika kendaraan seperti *lift* dan koefisien momen sangat mutlak diperlukan ketika mengkaji optimalisasi dari kontur bodi kendaran yang berbasis rendah *drag*. Melalui penelitian ini didapatkan pengaruh antara variasi kontur dari tiap bagian dari kendaraan yang mempengaruhi struktur kestabilan kendaraan pada umumnya. Pada bagian depan kendaraan (*leading edge*), didapat bahwa koefisien *lift* depan C_{LF} akan turun seiring dengan penurunan dari ketinggian titik stagnasi Z_s . Hal ini dapat dideskripsikan melalui gambar 2.17 dibawah ini.



Gambar 2.17 Pengaruh perancangan leading edge terhadap C_{LF}



Pada bagian belakang kendaraan (*trailing edge*), pengaruh efek aerodinamika yang cukup signifikan dijelaskan oleh variasi dari sudut inklinasi ujung belakang (θ) pada tipe dari ujung belakang tertentu. Dijelaskan melalui gambar 2.18, bahwa dengan penambahan spoiler belakang akan mengurangi terbentuknya intensitas vortisitas pada daerah *wake* sehingga peningkatan sudut inklinasi ujung belakang (θ) dapat mereduksi efek aerodinamika pada ujung belakang seperti C_D dan C_{LR} daripada yang tidak memakai spoiler belakang.

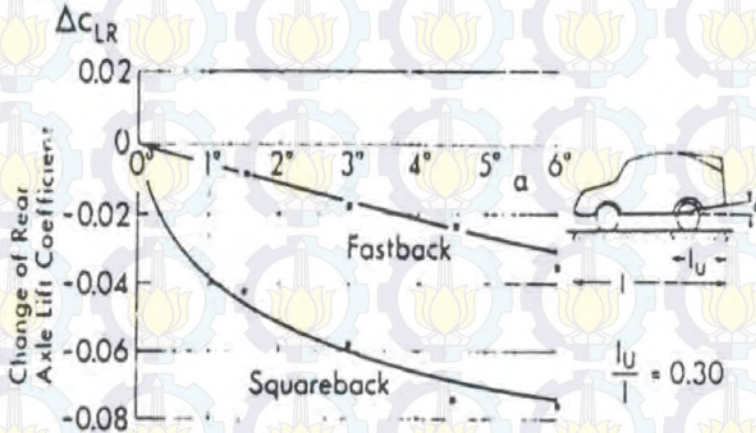


Gambar 2.18 Pengaruh perancangan *trailing edge* terhadap C_{LR} dan C_D

Komposisi yang tepat antara sudut inklinasi ujung belakang (θ) dan tipe ujung belakang tertentu akan menghasilkan bentuk perancangan yang optimal dari sudut pandang pengurangan C_{LR} dan C_D yang sesuai untuk kestabilan kendaraan tertentu. Pada tipe ujung belakang *hatchback* ($\theta > 30$ - 15°) atau tipe *squareback* ($\theta < 5^\circ$) akan menghasilkan harga C_{LR} terkecil. Optimalisasi drag tipe *fastback* ($\theta \approx 15^\circ$) menunjukkan harga C_{LR} terbesar daripada tipe *squareback*. Pada penggunaan spoiler yang optimal terdapat pada ($\theta < 10^\circ$) untuk menghasilkan *lift* dan *drag* yang rendah.



Perancangan pada bagian difuser bawah belakang (*underbody diffuser*) yang optimal pada tipe ujung belakang tertentu, akan berdampak pada perbaikan dari karakteristik C_{LR} .



Gambar 2.19 Pengaruh *underbody diffuser* terhadap C_{LR}

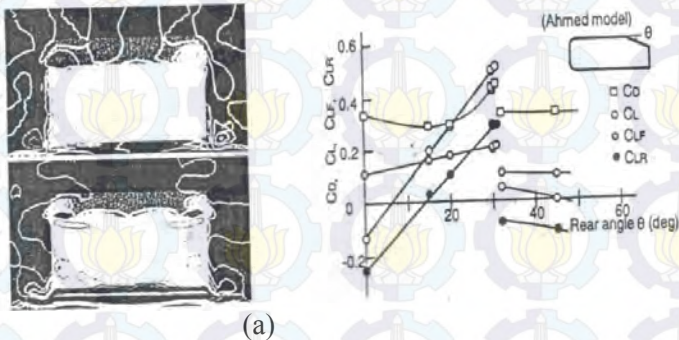
2.2.3 Penelitian Detail Karakteristik Aliran disekitar Kendaraan oleh Fukuda et al

Penelitian ini menggunakan model ahmed dan model sedan ukuran sebenarnya yang terkonsentrasi pada daerah ujung belakang. Tujuan dari berbagai bentuk modifikasi ujung belakang yang dilakukan adalah untuk optimalisasi bodi terhadap detail karakteristik aliran yang melewati bodi seperti distribusi tekanan dan medan kecepatan serta efek gaya aerodinamika yang ditimbulkannya seperti koefisien *drag* (C_D), koefisien *lift* (C_L), terutama koefisien *lift* belakang (C_{LR}) pada daerah *wake*. Penelitian ini membandingkan bentuk original ujung belakang terhadap bentuk yang baru dengan metode numerik dan eksperimental pada *wind tunnel*.

Pada bentuk original (model ahmed) didapat bahwa struktur *wake* terdiri dari dua jenis *vortex* penyusun yang berbentuk cincin yang disebut *spiral vortex* (searah sumbu-x) dan yang searah sumbu-y. Didapatkan bahwa *spiral vortex* pada



sumbu-x bertambah, berkurang atau hilang disebabkan perubahan sudut inklinasi ujung belakang (θ) dan hasilnya menyebabkan perubahan pada C_D , C_L , terutama C_{LR} . Fenomena fisis dan efek aerodinamikanya dapat dilihat pada gambar 2.20 dibawah ini.



Gambar 2.20 (a) Distribusi vortisitas dibelakang model ahmed dengan CFD (atas, x-komponen ; bawah, y-komponen) ; (b) Efek dari sudut inklinasi ujung belakang (θ) terhadap C_D , C_L , C_{LF} , C_{LR}

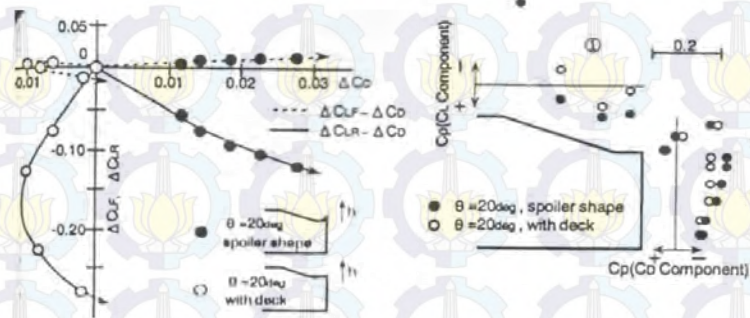
Penambahan dek belakang pada model ahmed juga mempengaruhi karakteristik dan efek aerodinamika pada model terutama pengurangan C_{LR} yang signifikan akibat kenaikan tekanan statis pada kontur inklinasi dan dek. Deskripsi perbandingannya dapat dilihat melalui gambar 2.21 dibawah ini.



Gambar 2.21 Efek sudut inklinasi ujung belakang terhadap C_D , C_{LF} , C_{LR} (kiri) ; Distribusi tekanan pada kontur belakang (kanan)

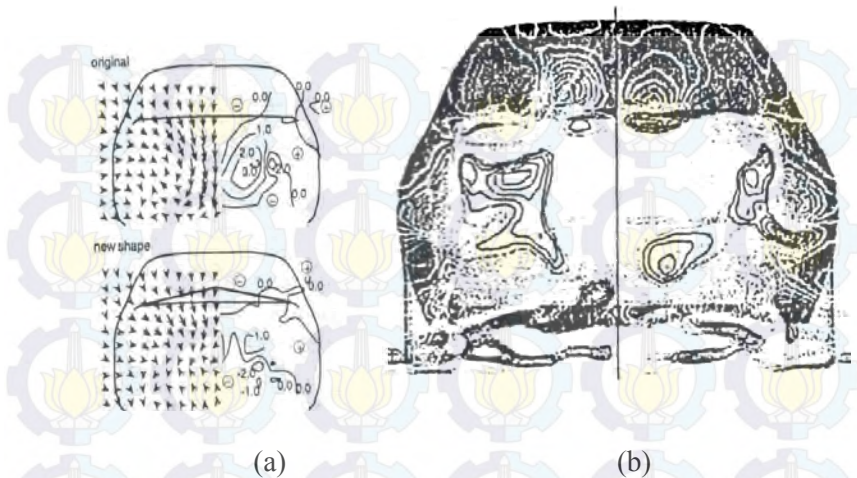


Penambahan spoiler di dek pada model ahmed juga menyebabkan terjadinya pengurangan C_{LR} dan peningkatan C_D dan C_{LF} ketika ketinggian spoiler bertambah. Walaupun penambahan spoiler memperkecil downwash dari uperside dan memperkecil resultan spiral vortex sehingga C_{LR} berkurang, namun juga akan memperbesar intensitas vortex cincin pada permukaan belakang, terutama vortex pada ujung atas dari permukaan belakang sehingga C_D dan C_{LF} meningkat. Hal ini dapat dideskripsikan oleh gambar 2.22 dibawah ini.

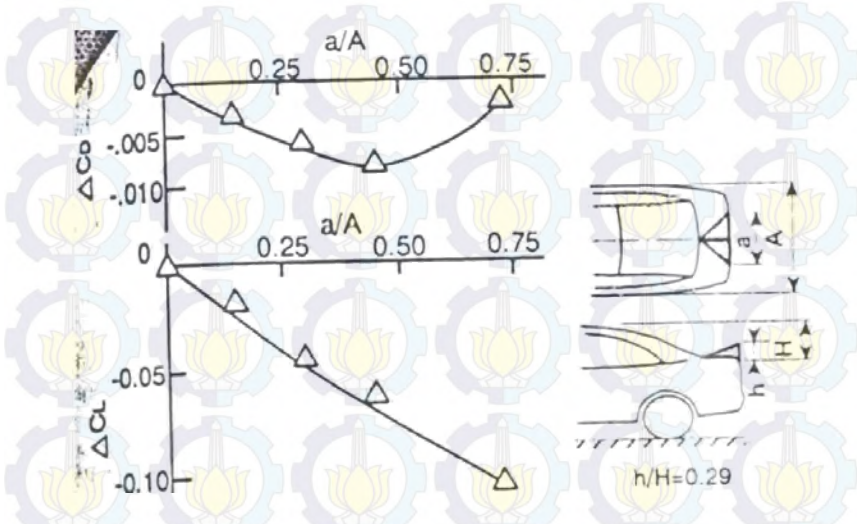


Gambar 2.22 Efek dari dek dan spoiler terhadap C_D, C_{LF}, C_{LR} (kiri) ; distribusi tekanan pada kontur belakang (kanan)

Dari percobaan dengan menggunakan model ahmed tadi, dapat diaplikasikan pada kendaraan sedan untuk menghubungkan variasi dari C_D, C_{LF}, C_{LR} pada dek belakang serta membandingkan bentuk spoiler konvensional dengan bentuk baru (*trigonal pyramid*). Dari gambar 2.22 dapat dilihat bahwa dengan penambahan bentuk baru spoiler (*trigonal pyramid*) akan menyebabkan pengurangan vortisitas pada daerah *wake* sehingga kecepatan pada *downwash* akan mengecil. Hal ini akan berimbas pada pengurangan C_D dan peningkatan C_L yang cukup signifikan. Besar kecilnya parameter optimalisasi dari efek aerodinamika seperti C_D dan C_L dapat dikonfigurasi melalui dimensi dari bentuk spoiler itu sendiri yang dapat dilihat pada gambar 2.23.



Gambar 2.23 (a) Vektor kecepatan (kiri) dan distribusi vortisitas (kanan) tipe fastback belakang; (b) Distribusi vortisitas tipe notchback belakang (kiri original, kanan bentuk baru)

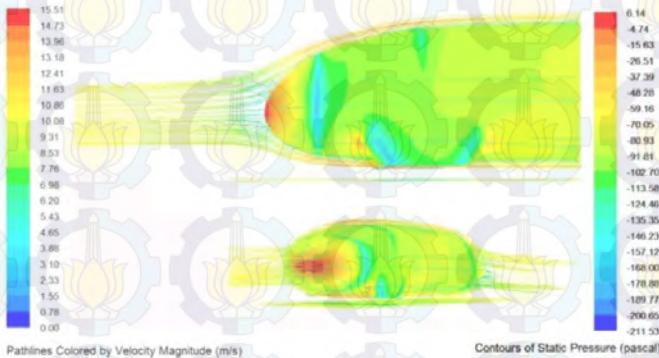


Gambar 2.24 Efek dari lebar spoiler bentuk baru terhadap C_D , C_{LF} , C_{LR} (fastback car)



2.2.4 Prakoso

Penelitian ini menggunakan model Sapu angin *Type Prototype* yang dioperasikan pada $Re_L = 1.97 \times 10^6$ dengan metode numerik menggunakan model turbulen *k-ε realizable*. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui detail karakteristik aliran melintasi model sapu angin dengan pengaruh *Ground Clearance* terhadap panjang model sebesar (C/L) 0.027. Penelitian ini membuat segmentasi agar dapat dievaluasi bertahap yang terpisah jelas antara pengaruh efek yang ditimbulkan oleh *sidebody* dan efek yang ditimbulkan oleh *ground clearance*.



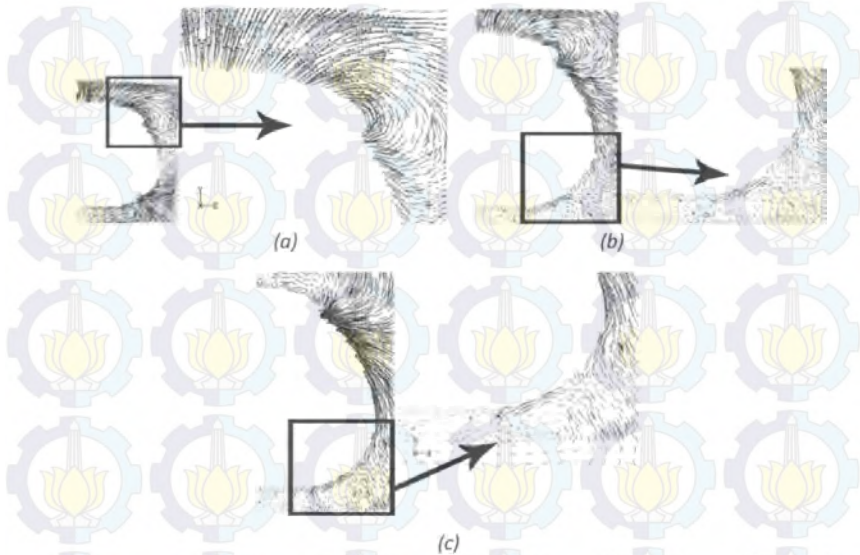
Gambar 2.25 Pathline kecepatan dan kontur tekanan pada bodi sapu angin dengan pengaruh *ground clearance*

Melalui gambar 2.25 mengenai distribusi tekanan pada kontur bodi secara keseluruhan tampak bahwa terjadinya multi stagnasi yang ditandai dengan luasan spektrum warna merah yang besar berdifusi kesegala arah pada *leading edge*. Dari gambar juga terlihat bahwa tekanan rendah terletak pada permukaan atas *sidebody* pada *leading edge*. Hal ini menandakan aliran akan terdistribusi dominan ke daerah ini pada saat mengenai *leading edge*. Kemudian akan mengalami akselerasi tajam menuju ke arah



sidebody centre. Pada daerah buritan, tekanan rendah ditunjukkan melalui spektrum warna kuning yang menegaskan bertemunya *adverse pressure gradient* baik inklinasi ujung belakang pada *upperside*, diffuser bawah belakang pada *lowerside*, dan *tail boat* pada *sidebody surface*.

Penjelasan karakteristik aliran 3D pada daerah interaksi antar lapis batas *sidebody surface* dengan lapis batas disekitar *midspan*, dapat ditegaskan melalui visualisasi vektor kecepatan dengan metode pemotongan searah axis sebagai berikut.



Gambar 2.26 Distribusi vektor kecepatan pada bidang potong (a) $x=30\%$, (b) $x=40\%$, dan (c) $x=50\%$ pada pemodelan 3D tanpa *ground clearance*

Dari gambar 2.26 tampak bahwa vortex separasi 3D terjadi pada pemotongan $x=30\%$ sampai 50% . Intensitas vortisitas terkuat terbentuk pada daerah interaksi antar lapis batas *sidebody surface* dengan lapis batas disekitar *midspan* yaitu pada zona lengkung bawah dan zona lengkung atas. Dari deskripsi



terdistribusinya aliran pada pembahasan sebelumnya, daerah *sidebody centre* merupakan daerah dengan distribusi tekanan tertinggi dan akan semakin berkurang mendekati *midspan*. Oleh sebab itu efek *sidebody* benar-benar memberikan pengaruhnya terhadap separasi 3D berupa penyumbang kontraksi aliran. Kronologi terjadinya *vortex* separasi 3D bermula saat aliran telah melewati daerah bertekanan tinggi di *sidebody* setelah lokasi *minimum pressure* seragam searah bidang *y-z* dan memasuki permukaan *flat plate* di *sidebody centre*. Daerah itu bermula pada 30%L sampai 50%L. Akumulasi distribusi aliran setelah *leading edge* akan melewati sisi *upperside sidebody surface* dikarenakan hambatan aerodinamika terendah terjadi pada daerah itu. Sehingga antar lapis batas cenderung bertemu pada zona interaksi itu.

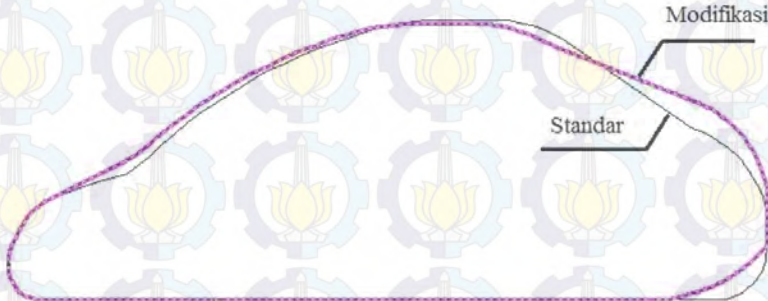
Pada mekanisme terjadinya fenomena *vortex* separasi 3D, lapis batas dari aliran bagian bawah bodi teragitasi untuk menuju ke zona lengkung bawah (*lowerside sidebody surface*) menuju tekanan lebih rendah ke arah atas (*sidebody centre*). Pada daerah ini, lapis batas dekat kontur akan mendapat *adverse pressure gradient* akibat kelengkungan zona ini. Bertemunya lapis batas dari *sidebody centre* lebih memperkuat intensitas vortisitas pada daerah interaksi antar lapis batas ini, sehingga lapis batas ini kemudian terpilin (*skewed boundary layer*) dan berubah menjadi aliran sekunder yang menyebabkan terjadinya separasi *vortex* searah axis (separasi *vortex* 3D). Intensitas vortisitas pada daerah interaksi ini akan berkurang seiring dengan penambahan lintasan searah axis akibat bertemunya *adverse pressure gradient* diburitan. Tampak bahwa intensitas vortisitas pada bidang potong $x=30\%l$ adalah yang terbesar dan akan semakin mengecil pada $x=50\%l$.

2.2.5 Nashruddin

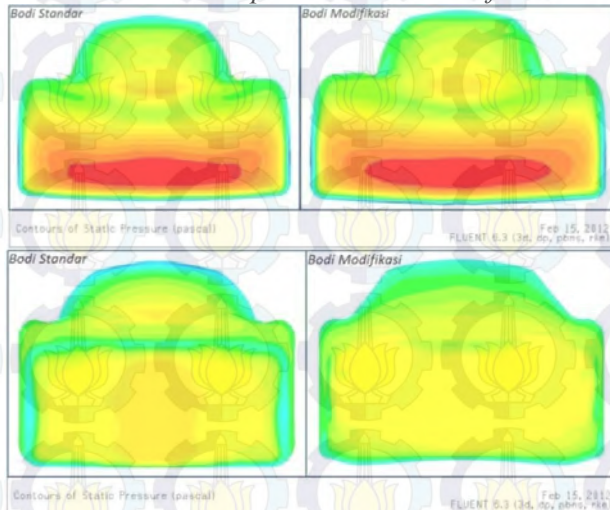
Penelitian ini menggunakan model Sapu Angin Type Urban Concept yang dioperasikan pada $Re_L = 1.918 \times 10^6$ dengan metode numerik menggunakan model turbulen $k-\epsilon$ realizable.



Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui detail karakteristik aliran melintasi model sapu angin bodi standar dan modifikasi dengan pengaruh *Ground clearance* terhadap panjang model sebesar $(C/L) = 0,048$. Segmentasi dari penelitian ini adalah membandingkan nilai distribusi tekanan, koefisien *drag*, dan koefisien *lift* pada bodi standar dan bodi modifikasi.



Gambar 2.27 Perbandingan antara bentuk bodi Sapu Angin Type Urban Concept standar dan modifikasi



Gambar 2.28 Perbandingan kontur tekanan pada leading edge (atas) dan kontur tekanan pada rear end (bawah) bodi standar dan modifikasi



Dari gambar 2.34 terlihat bentuk bodi standar memiliki lekukan-lekukan yang lebih tajam dari dari bodi modifikasi. Bodi modifikasi bentuknya cenderung lebih mengikuti *streamline* karena perubahan sudut lekukannya yang lebih kecil dan tidak tajam. Melalui gambar 2.35 terlihat adanya perbedaan kontur tekanan pada analisa secara dua dimensi pada bodi standar dan modifikasi. Pada bagian *leading edge* tidak terdapat perbedaan karena modifikasi tidak dilakukan pada bagian tersebut, perbedaan terlihat pada bagian *hood* dan *rear end*. Pada bagian *hood* bodi standar, terjadi kontur tekanan yang lebih terpusat dan tinggi daripada bodi modifikasi. Pada bagian *rear end* atas bodi standar terdapat daerah bertekanan tinggi yang terkonsentrasi pada daerah tertentu sedangkan pada bodi modifikasi tekanannya tersebar merata pada bagian mobil. Terpusatnya tekanan pada suatu daerah akan menyebabkan terjadinya perbedaan tekanan yang berpengaruh pada distribusi tekanan, *drag force*, dan *lift force*.

Analisa ini dilakukan secara 2D dan 3D, hal ini dilakukan untuk mendapatkan hasil yang lebih sesuai dengan kondisi nyata. Dari hasil tersebut didapatkan bahwa dengan menggunakan 3D, *drag* yang dihasilkan pada bodi standar lebih besar 6,3% dari analisa 2D dan untuk bodi modifikasi sebesar 1,73%. Dengan bodi yang menyerupai *streamline* dan lekukan yang tidak tajam menghasilkan efek yang baik pada mobil, yaitu penundaan terjadinya separasi. Pada bodi standar separasi terjadi pada $x/l=0,869$ dan pada bodi modifikasi pada $x/l=0,975$ membuat *drag force* pada bodi modifikasi lebih kecil sebesar 6,3% dari bodi standar. Dengan perubahan bentuk tersebut, *lift force* dapat diubah menjadi *downforce*

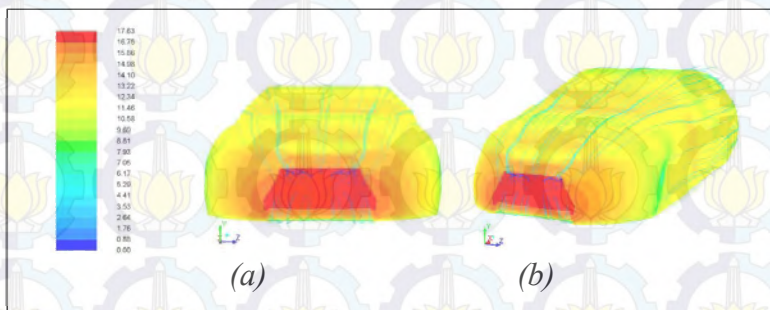
Pada penelitian ini diasumsikan bahwa efek dari *grill* mobil diabaikan maka pada bagian *leading edge* memiliki tekanan yang sangat besar, tekanan stagnasi. Bagian tersebut diasumsikan tidak memiliki lubang atau celah untuk udara dapat masuk sehingga udara akan langsung berbenturan dengan bagian mobil tersebut. Hal ini membuat gaya *drag* yang terjadi menjadi



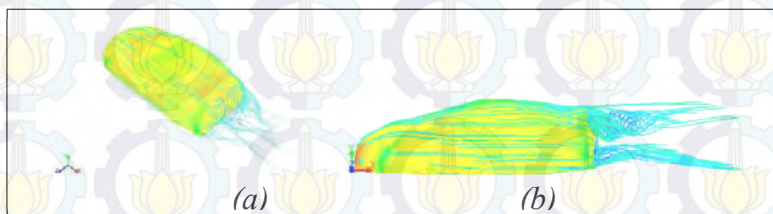
lebih besar. Adanya grill yang berlubang memungkinkan udara dapat menembus bagian *leading edge* tersebut sehingga tekanan yang terjadi menjadi lebih kecil karena terjadi *pressure drop* pada bagian tersebut.

2.2.6 Kurniawan

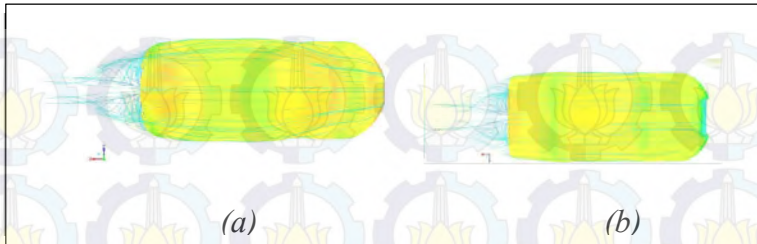
Penelitian ini menggunakan model EC ITS yang dioperasikan pada $Re_L = 2.81 \times 10^6$ dengan metode numerik menggunakan model turbulen *k-ε* realizable. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui detail karakteristik aliran melintasi EC ITS dengan pengaruh *Ground clearance* terhadap panjang model sebesar $(C/L) 0,03$. Segmentasi dari penelitian ini adalah membandingkan nilai distribusi tekanan, koefisien *drag*, dan koefisien *lift* pada bodi EC ITS.



Gambar 2.29 Kontur tekanan dan pathline (a) tampak depan, (b) isometri depan



Gambar 2.30 Kontur tekanan dan pathline (a) isometri belakang, (b) tampak samping



Gambar 2.31 Kontur tekanan dan pathline (a) tampak atas, (b) tampak bawah

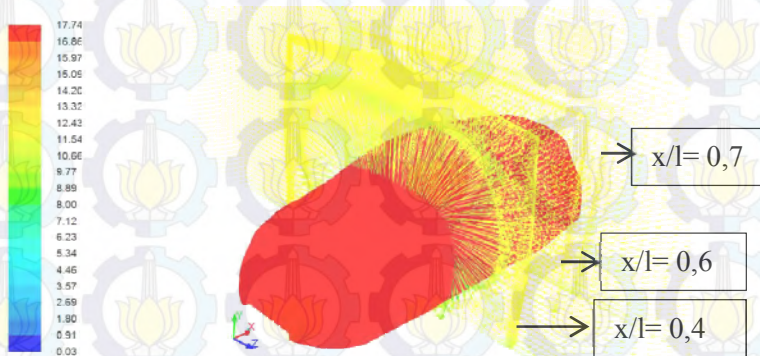
Melalui gambar 2.29 hingga 2.31 diamati dari distribusi tekanan pada kontur bodi secara keseluruhan tampak bahwa tekanan pada *leading edge* tidak setinggi tekanan pada *grill*, ditandai dengan luasan kontur berwarna merah pada daerah *grill* sedangkan pada *leading edge* berwarna jingga. Tekanan terendah terdapat pada bagian *roof* dan bagian bawah kabin. *Sidebody* dari mobil memiliki tekanan yang lebih rendah dari bagian *midspan*. Aliran akan bergerak ke arah sumbu x mulai dari sumbu x bagian *leading edge* hingga lalu bergerak ke arah *sidebody* karena tekanannya yang lebih rendah.

Diamati dari *pathline*, aliran yang akan melintasi bodi bagian *hood* lebih memilih mengalir ke *sidebody surface* yang memiliki *favorable pressure gradient* lebih rendah dibandingkan pada *windshield*. Sebagian aliran dari bagian bawah kendaraan yang mengarah ke *sidebody surface*. Kemudian aliran yang didefleksikan ke *sidebody surface* akan membentuk *vortex* separasi 3D. Geometri bagian tengah mobil yang melebar dan kemudian menyempit membuat arah aliran yang terkena efek *sidebody* berakhir di tengah yang pada akhirnya terseparasi dan membuat *vortex*. Pada daerah buritan, tekanan rendah ditunjukkan melalui spektrum warna kehijauan yang menegaskan bertemunya *adverse pressure gradient* baik *inklinasi* ujung belakang pada *upperside*, bagian bawah bodi belakang (*rear end*), dan *sidebody*

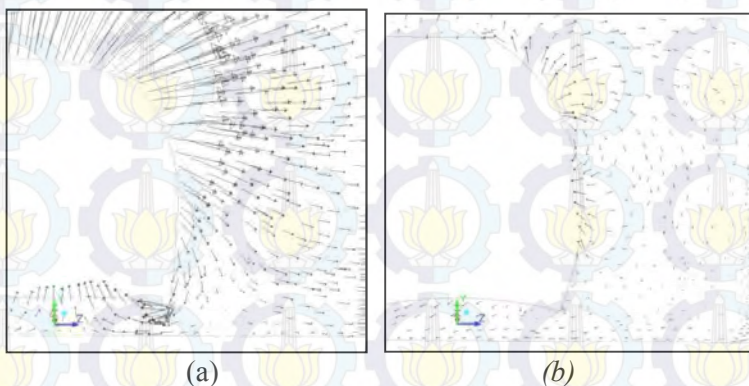


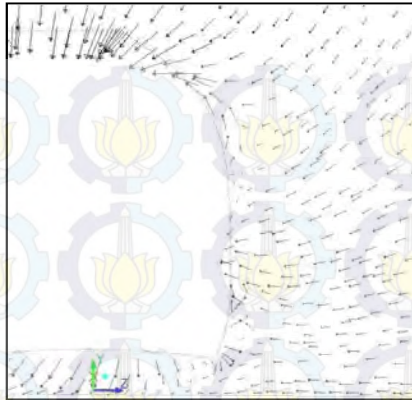
surface. Karena adanya interaksi lapis batas antara *surface* ini membuat aliran terseparasi dan membentuk spiral *vortex*.

Untuk mendukung penjelasan karakteristik aliran 3D pada daerah interaksi antar lapis batas *sidebody surface* dengan lapis batas disekitar *midspan*, dapat ditegaskan melalui visualisasi vektor kecepatan dengan metode pemotongan searah axis sebagai berikut.



Gambar 2.32 Pemotongan pada arah sumbu x dengan variasi $x/l = 0,4$, $x/l = 0,6$, dan $x/l = 0,7$





(c)

Gambar 2.33 Pemotongan pada sumbu dengan jarak (a) $x/l = 0,4$, (b) $x/l = 0,6$, dan (c) $x/l = 0,7$

Gambar 2.33 menunjukkan posisi pemotongan bodi mobil searah dengan sumbu x , pemotongan dilakukan $x/l = 0,4$, $x/l = 0,6$, dan $x/l = 0,7$ yang merupakan bagian paling belakang dari mobil. Dari pemotongan yang dilakukan mulai $0,4$ hingga $0,7$ didapat pola aliran pada *sidebody* mobil. Dari gambar 4.20 tampak bahwa *vortex* separasi 3D terjadi pada pemotongan $x/l = 0,4$ sampai $x/l = 0,6$ dan terlihat pada pemotongan $x/l = 0,7$ *vortex* separasi 3D tersebut sudah tidak ada. Intensitas vortisitas terkuat terbentuk pada daerah interaksi antara lapis batas *sidebody surface* dengan lapis batas bawah kendaraan dekat bagian belakang roda depan. Kronologi terjadinya *vortex* separasi 3D bermula saat aliran di *sidebody* mengalir ke bagian bawah mobil. Aliran tersebut berinteraksi dengan aliran di *sidebody* yang memiliki perubahan bentuk kontur yang cukup kompleks, yang akhirnya terjadi *vortex* separasi 3D. Dari gambar 2.33 didapat bahwa akumulasi distribusi aliran setelah *leading edge* pada *lowerside* cenderung akan mengalir ke *sidebody surface* dikarenakan hambatan aerodinamika terendah terjadi pada daerah itu sehingga antar lapis batas cenderung bertemu pada daerah tersebut. Namun pada bagian bawah kabin aliran *sidebody*



cenderung menuju ke *lowerside* mobil karena adanya penyempitan penampang yang membuat aliran di tempat tersebut memiliki tekanan yang rendah.

Gambar (a) menunjukkan bahwa *vortex* separasi 3D mulai terbentuk dengan intensitas yang masih kecil pada daerah pertemuan antar lapis batas *sidebody surface* dengan aliran dari *lowerside*. Fenomena tersebut berlanjut sampai pada $x/l = 0,6$ seperti yang terlihat pada gambar (b) di mana intensitas *vortex* separasi 3D lebih besar. Hal ini ditunjukkan pada visualisasi *vortex* yang membesar. Sedangkan pada pemotongan $x/l = 0,7$, gambar (c) terlihat bahwa *vortex* separasi 3D tersebut sudah hilang. Untuk mendukung analisa mengenai karakteristik aliran 3D, diperlukan pula observasi pada *downstream* mengenai *wake* 3D. Visualisasi ini diamati pada bentuk potongan ke arah axis di lokasi $x/l = 1,26$, $x/l = 1,52$, dan $x/l = 1,65$, di mana menurut analisa 2D pada daerah tersebut *backflow* sudah tidak terlihat.

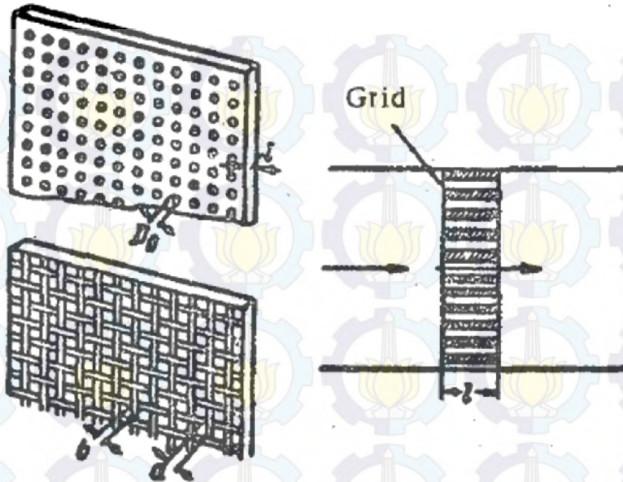
2.3 Porous Jump

Porous jump adalah kondisi yang digunakan untuk memodelkan membran yang telah diketahui kecepatan dan *pressure drop* karakteristiknya, merupakan simplifikasi dari 1D. Untuk porous media dengan ketebalan tertentu, Δm , maka perubahan tekanan yang terjadi didefinisikan dengan kombinasi dari Darcy's Law dengan tambahan *inertial loss*:

$$\Delta p = - \left(\frac{\mu}{\alpha} v + C_2 \frac{1}{2} \rho v^2 \right) \Delta m \quad (2.23)$$

Dimana:

- Δp = pressure loss ($\frac{Kg}{m}$)
- μ = laminar fluid viscosity
- α = permeability (m^2)
- C_2 = pressure-jump coefficient (1/m)
- ρ = air density ($\frac{Kg}{m^3}$)
- v = air velocity (m/s)
- Δm = medium thickness (m)



Gambar 2.34 Skema perforated plate dengan $l/d > 0.015$

Untuk perforated plate (gambar 2.34) yang memiliki rasio ketebalan dan diameter lubang lebih besar dari 0,015 digunakan rumus di bawah ini untuk menentukan resistance coefficient dan pressure drop yang ada.

$$\dot{f} = \frac{F_0}{F_1} \quad (2.24)$$

Dimana : \dot{f} = Ratio antara
 F_0 = Luasan lubang (m^2)
 F_1 = Luas grill keseluruhan (m^2)

$$\zeta = \frac{\Delta P}{\frac{\gamma v_1^2}{2g}} \quad (2.25)$$

$$\zeta = \left[\left(0.5 + \tau \sqrt{1 - \dot{f}} \right) (1 - \dot{f}) + (1 - \dot{f}) + \lambda \frac{l}{a} \right] \frac{l}{a} \quad (2.26)$$

Dimana : ζ = coefficient of fluid resistance



ΔH = *pressure drop pada perforated plate*
 γ = *berat jenis*
 ω = *kecepatan udara (m/s)*
 g = *percepatan gravitasi (m/s²)*
 τ = *shear stress*

$$\frac{\Delta P}{\gamma} = \lambda \frac{v^2 L}{2g d} = \frac{L}{(1,8 \log Re - 1,64)^2} \quad (2.27)$$

Dimana : λ = *friction coefficient of unit relative length*

Tabel 2.1 Shear Stress fungsi l/d

l/d_h	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.6	2.0	2.4
τ	1.35	1.22	1.10	0.84	0.42	0.24	0.16	0.07	0.02	0

2.4 Blockage Effect

Blockage effect merupakan salah satu batasan yang harus dipertimbangkan dalam penggunaan *wind tunnel*. Aliran fluida akan mengalami defleksi saat terhalang oleh bodi. Efek dari gangguan bodi tersebut terjadi hingga jarak tertentu dari bodi. Jika *cross section area* dari area pengamatan (*wind tunnel*) terlalu kecil jika dibandingkan dengan *cross section area* dari bodi, maka *streamline* dari aliran akan terhalang dan membuat hasil tes yang didapat tidak akurat.

$$\text{Blockage ratio } \phi = \frac{\text{Luasan Frontal Bodi}}{\text{Luasan area wind tunnel}} \quad (2.28)$$

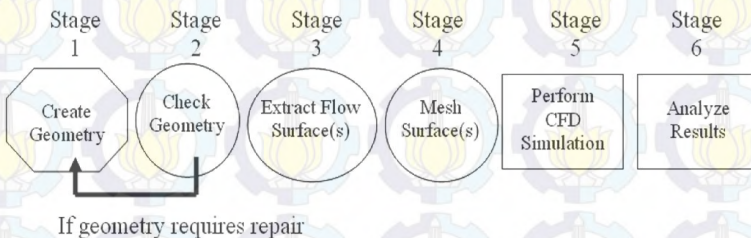
Blockage ratio direkomendasikan kurang dari 10%, namun hasil yang maksimal didapat pada hasil *blockage ratio* kurang dari 7,5%.

2.3 Numerical Modeling



2.3.1 Computational Fluid Dynamics (CFD)

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. CFD hakekatnya adalah perangkat *software* menggunakan *finite volume method* dengan memperlakukan fluida menjadi volume kecil-kecil dan melalui algoritma tertentu untuk menyelesaikan persamaan *Navier-Stokes*. 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 2.27.



Gambar 2.35 Blok diagram simulasi dengan CFD

Sampai saat ini, CFD telah banyak digunakan dalam bidang aplikasi, baik untuk keperluan riset optimasi desain maupun untuk aplikasi praktis. Beragam industri dari *biomedical* dan farmasi sampai industri perminyakan dan *refinery* semua memanfaatkan untuk menganalisa sistem. Industri farmasi menggunakan untuk mensimulasikan enzim-enzim dalam tubuh



manusia. Industri *refinery* menggunakan untuk mensimulasikan aliran ekstraksi gas-gas. Untuk optimasi desain, *aerodynamics* menggunakan untuk analisa *lift* dan *drag*. *Hydrodynamics* menggunakan untuk simulasi beban dinamis gelombang. *Power plant* memakai untuk mensimulasikan pembakaran dan perpindahan panas. *Turbomachinery* menggunakan untuk menganalisa aliran dalam *rotating passage*. *Electronic engineering* menggunakan untuk simulasi pendinginan *microcircuits*. *Chemical engineering* menggunakan untuk simulasi proses *mixing*. *Building engineering* menggunakan untuk analisa beban dinamis. *Marine engineering* menggunakan untuk simulasi beban *offshore structures*. *Environmental engineering* memakai untuk simulasi distribusi *pollutants*. *Hydrology* dan *oceanography* memanfaatkan untuk simulasi aliran sungai, pantai, dan laut. *Metrology* menggunakan untuk prediksi cuaca.

2.3.2 Deskripsi tentang RANS Turbulensi Model

- **Spalart–Allmaras:** Merupakan model turbulensi dengan satu persamaan yang menyelesaikan model persamaan *transport* untuk viskositas turbulen. Model ini didesain secara khusus untuk aplikasi *aerospace* yang melibatkan *wall-bounded flows* dan telah menunjukkan hasil yang baik untuk lapisan batas yang dipengaruhi *adverse pressure gradient*. Bentuk dasar model spalart – allmaras hanya efektif pada model dengan bilangan *Reynolds* yang kecil. Model ini dapat digunakan untuk simulasi yang relatif kasar dengan ukuran *mesh* yang besar, dimana perhitungan aliran turbulen yang akurat bukan merupakan hal yang kritis.
- **Standard $k-\epsilon$:** Pemodelan yang menggunakan persamaan *transport* untuk penyelesaian model $k - \epsilon$. Model ini juga dapat menyelesaikan untuk *heating*, *buoyancy* dan *compressibility* yang dapat diselesaikan dalam $k-\epsilon$ model yang lainnya. Model tidak cocok untuk aliran kompleks yang meliputi *strong stream curvature* dan *separation*.



- **RNG $k-\epsilon$** : Variasi pemodelan dari *standard $k-\epsilon$ model*. Model ini sangat signifikan untuk mengubah dalam persamaan ϵ , sehingga dapat memperbaiki model yang mempunyai *highly strained flows*. Dalam model ini juga dapat digunakan untuk aliran yang mempunyai Re yang rendah dan untuk memprediksi aliran yang mempunyai efek *swirling*.
- **Realizable $k-\epsilon$** : Variasi pemodelan dari *standard $k-\epsilon$ model*. Dengan menggunakan model ini dapat dilakukan untuk menentang penggunaan *mathematical constraints* sehingga dengan pemodelan ini cukup dapat memperbaiki performansi dari model tanpa menggunakan *mathematical constrains*.
- **Standard $k-\omega$** : Pemodelan yang menggunakan dua persamaan transport model untuk memecahkan $k-\omega$. Pemodelan ini juga dapat digunakan untuk aliran yang memiliki Re yang rendah. Pemodelan ini juga dapat menampilkan transisi aliran dari aliran laminar menuju aliran turbulen. Keuntungan lainnya adalah dapat menghitung *free shear* dan aliran *compressible*.
- **SST $k-\omega$** : Variasi dari pemodelan *standard $k-\omega$* . Mengkombinasikan pemodelan asli *Wilcox model* (1988) untuk menggunakan *near wall treatment* dan *standard $k-\epsilon$ model*.
- **RSM**: Merupakan model turbulensi yang paling teliti pada *fluent*. Model RSM mendekati persamaan *Navier-Stokes (Reynoldss-averaged)* dengan menyelesaikan persamaan transport untuk tegangan *reynoldss* bersama-sama dengan persamaan laju dissipasi. Model ini menggunakan 5 persamaan transport, lebih banyak dibanding model turbulensi yang lain. Model RSM menghitung efek dari kurva *streamline*, pusaran (*swirl*), putaran, dan perubahan tiba-tiba pada aliran dengan lebih teliti daripada model turbulensi yang lain, sehingga dapat memberikan prediksi yang lebih akurat untuk aliran yang lebih kompleks.



BAB III METODE PENELITIAN

Dikarenakan keterbatasan alat ukur dan tuntutan visualisasi yang detail mengenai karakteristik aliran melintasi bodi *Sapuanjin Speed* maka penelitian ini menggunakan metode numerik dengan *software Ansys Fluent 14*. Pada metode numerik ini ada tiga tahapan utama yang harus dilakukan, antara lain: *preprocessing*, *solving* atau *processing* dan *postprocessing*.

3.1 *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.

3.1.1 Geometri Mobil *Sapuanjin Speed*

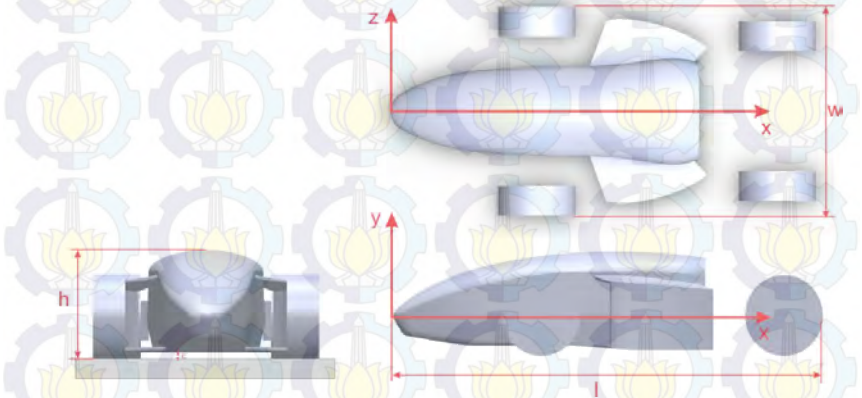
Pembuatan geometri bodi *sapuanjin speed* ini menggunakan *software Solidwork*. Adapun geometri dan dimensi dari bodi *sapuanjin speed* dapat dilihat pada gambar di bawah ini :

Parameter	Dimensi
l	2913 mm
w	1428 mm
h	683 mm
c	40 mm

Tabel 3.1 Dimensi bodi *sapuanjin speed*



Gambar 3.1 Isometri bodi mobil tampak depan



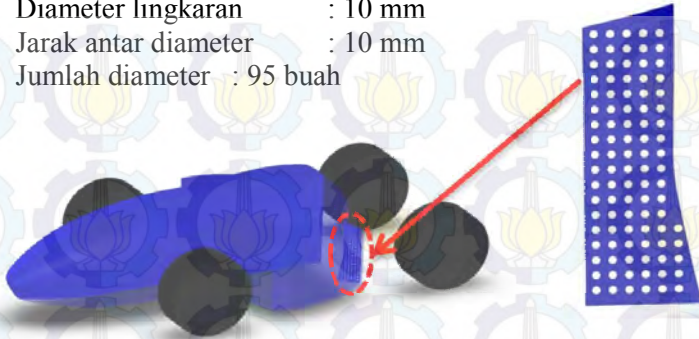
Gambar 3.2 Bodi mobil tampak depan, samping, dan atas

3.1.2 Geometri Porous Jump

Penelitian juga dilakukan dengan pemberian porous jump pada bagian belakang sidepot dengan geometri seperti di bawah ini :



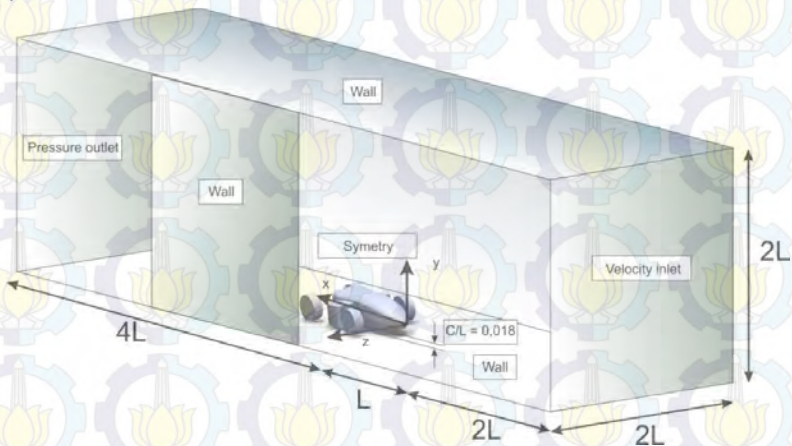
Luas total area : 0.04 m²
 Diameter lingkaran : 10 mm
 Jarak antar diameter : 10 mm
 Jumlah diameter : 95 buah



Gambar 3.3 Geometri porous jump

3.1.3 Domain Pemodelan

Penentuan dimensi domain merujuk pada penelitian berbasis *vehicle aerodynamics* yang dilakukan oleh **Damjanović [19]** dengan menggunakan model turbulensi *k-ε realizable*. Berikut adalah gambar domain yang digunakan untuk pemodelan :

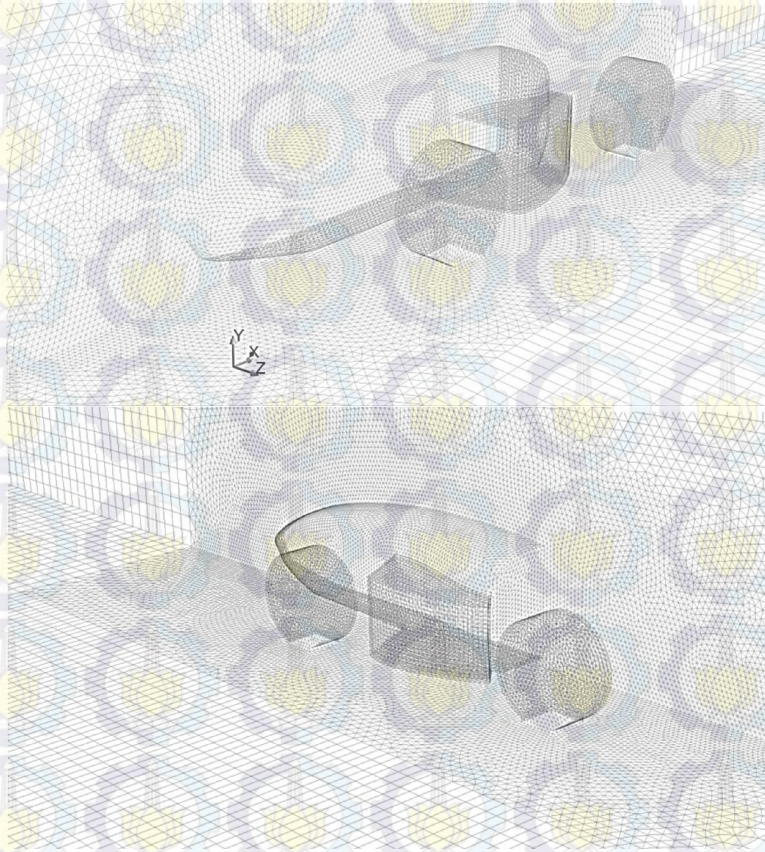


Gambar 3.4 Domain pemodelan



3.1.3 Meshing

Bidang atau volum yang diisi oleh fluida dibagi menjadi sel-sel kecil (*meshing*) sehingga kondisi batas dan beberapa parameter yang diperlukan dapat diaplikasikan ke dalam elemen-elemen kecil tersebut. Bentuk *mesh* yang dipilih untuk pemodelan digunakan *tet/hybrid-tgrid* dengan *hex-map*. Berikut adalah gambar *meshing* untuk pemodelan.



Gambar 3.5 Meshing Bodi



3.1.4 Parameter Pemodelan

3.1.4.1 Models

Model yang digunakan adalah model turbulen *k-ε realizable (RKE)*. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan hasil yang akurat pada kontur, baik tekanan maupun kecepatan. Selain itu, *k-ε realizable (RKE)* cocok digunakan untuk memodelkan aliran yang mengalami efek *swirling*. Evaluasi pemilihan model turbulen ini merujuk pada penelitian **Nicholas et al [23]**.

3.1.4.2 Materials

Dalam tahap ini menetapkan jenis material yang akan digunakan serta memasukkan data-data *properties* dari material tersebut. Pada pemodelan ini dipilih udara sebagai fluida kerja dengan densitas (ρ) : $1,225 \text{ kg/m}^3$ dan viskositas (μ) : $1,7894 \times 10^{-5} \text{ kg/m.s}$.

3.1.4.3 Operating Conditions

Operating Conditions merupakan perkiraan kondisi daerah operasi yang biasanya merupakan perkiraan tekanan pada daerah operasi yaitu 1 atm atau 101325 pa.

3.1.4.4 Boundary Conditions

Boundary Conditions merupakan penentuan parameter-parameter dan batasan yang mungkin terjadi pada aliran. *Boundary condition* pada *inlet* digunakan *velocity inlet* dengan kecepatan ke arah sumbu x sebesar 22,22 m/s dan temperatur sebesar 300 K ($\approx 26,85 \text{ }^\circ\text{C}$). *Boundary condition* pada *outlet* digunakan *outflow*. *Boundary Condition* pada kontur bodi kendaraan, bagian atas, bawah dan samping berupa *wall*. Agar daya komputasi tidak terlalu besar juga digunakan *boundary condition* berupa *symmetry*.



3.1.4.5 Solution

Solusi pada penelitian ini adalah menggunakan *second order* untuk *pressure*, *second order upwind* untuk *momentum turbulent kinetic energy* dan *turbulent dissipation rate*.

3.1.4.6 Initialize

Initialize merupakan penentuan nilai awal yang dihitung dari salah satu kondisi batas agar lebih memudahkan untuk konvergen dan diinputkan dari *inlet*.

3.1.4.7 Monitor Residual

Monitor Residual adalah tahap penyelesaian masalah, berupa proses iterasi hingga mencapai harga *convergence criterion* yang diinginkan. *Convergence criterion* ditetapkan sebesar 10^{-6} , artinya proses iterasi dinyatakan telah konvergen setelah *residual*-nya mencapai harga di bawah 10^{-6} .

3.2 Processing atau Solving

Dengan bantuan software *Ansys Fluent 14*, kondisi-kondisi yang telah ditetapkan pada saat *preprocessing* akan dihitung (diiterasi). Jika kriteria konvergensi tercapai dengan kriteria konvergensi 10^{-6} maka tahapan dilanjutkan pada *postprocessing* dan jika tidak tercapai tahapan akan mundur ke belakang pada tahapan pembuatan *meshing*.

3.3 Postprocessing

Postprocessing merupakan penampilan hasil serta analisa terhadap hasil yang telah diperoleh berupa data kualitatif dan data kuantitatif. Data kuantitatif berupa distribusi koefisien tekanan, koefisien *drag* dan koefisien *lift*. Sedangkan data kualitatif berupa visualisasi aliran dengan menampilkan *grid display*, *pathlines*, plot kontur, plot vektor dan profil kecepatan.



3.4 Tahapan Penganalisaan

Beberapa tahapan penganalisaan yang diperlukan untuk mengetahui karakteristik aliran 3D disekitar bodi *Sapuwingin Speed* dengan rasio *ground clearance* terhadap panjang bodi ($c/l=0.014$) adalah dengan penganalisaan aliran 3D yang disajikan dalam bentuk analisa distribusi C_p dan tampilan vektor kecepatan serta kontur tekanan. Analisa ini dimulai dari pemotongan kontur bodi di *midspan* pada pemodelan 3D.

3.5 Alokasi Waktu Penelitian

Penelitian ini dijadwalkan dalam waktu 5 bulan dengan rincian kegiatan seperti pada tabel di bawah ini :

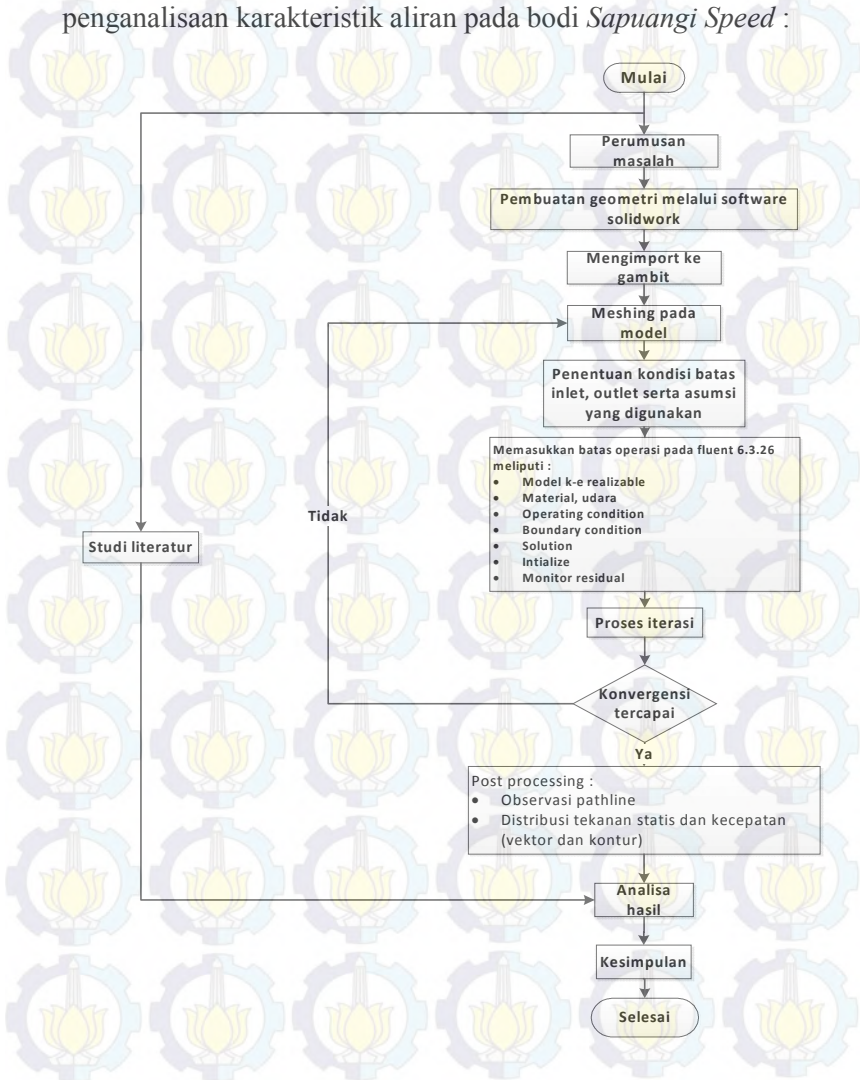
	KEGIATAN	WAKTU																							
		I				II				III				IV				V				VI			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Studi Pustaka																								
	Analisa 2																								
2	Dimensi																								
	Pembuatan																								
3	model																								
	<i>Solid Work 3D</i>																								
4	Pembuatan																								
	<i>Meshing Gambir</i>																								
5	Iterasi <i>Fluent</i>																								
	<i>Postprocessing</i>																								
6	Data																								
7	Penulisan laporan																								
	Seminar Proposal																								
8	Tugas Akhir																								
	Sidang Tugas																								
9	Akhir																								

Tabel 3.2 Alokasi waktu penelitian



3.6 Flowchart Metode Penelitian

Berikut ini adalah metode penelitian yang dipakai dalam penganalisaan karakteristik aliran pada bodi *Sapuangi Speed* :



Gambar 3.6 Flowchart penelitian

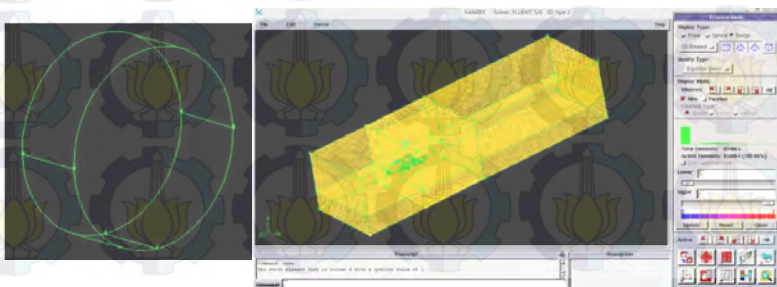


BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

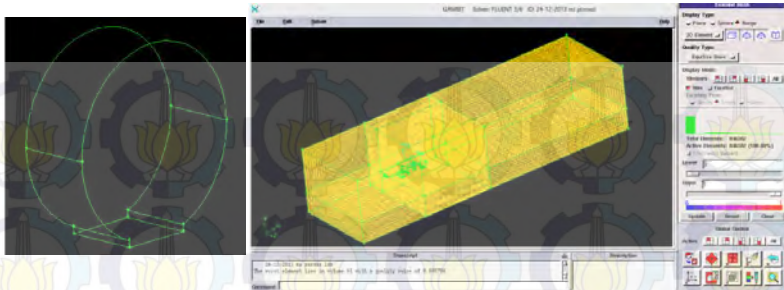
4.1 Analisa Pengambilan Data

Dalam studi numerik menggunakan *software Ansys Fluent 14* diperlukan keakuratan data, baik pada langkah *post processing* maupun *pre processing*nya. Hal ini dilakukan agar data yang diperoleh dapat divalidasi pada aplikasi sebenarnya. Salah satu metode *post processing* adalah diskritisasi elemen yang dilakukan pada *software gambit 2.4*. Untuk menghasilkan hasil simulasi yang baik dapat dilihat pada hasil meshing. Kualitas meshing dalam *software* ini ditunjukkan dalam kisaran nilai 0-1. Kualitas meshing yang memiliki nilai mendekati 0 merupakan yang terbaik.

Bentuk geometri mobil *sapuanjin speed* yang kompleks membuat langkah ini sedikit mengalami kesulitan. Untuk menghasilkan kualitas meshing yang baik dilakukan beberapa cara diantaranya memecah domain yang berada di sekitar bodi. Sampai melakukan variasi terhadap jumlah meshing. Akan tetapi hasil yang didapat kurang baik karena kualitas meshing memiliki nilai 1. Bagian yang memiliki elemen terburuk terletak pada bagian bawah roda. Untuk itu dilakukan sedikit modifikasi untuk mendapatkan hasil yang baik. Hasilnya kualitas meshing meningkat yaitu 0.88 dari yang sebelumnya 1 seperti yang ditunjukkan dalam gambar di bawah.



Gambar 4.1 Kualitas meshing tanpa modifikasi



Gambar 4.2 Kualitas meshing dengan modifikasi

Dari simulasi yang sudah dilakukan menggunakan software *ansys fluent 14*, hasil yang dicapai perhitungan tidak mencapai konvergensi. Hal ini dikarenakan bentuk geometri yang kompleks. Bentuk geometri yang kompleks berpengaruh pada metode meshing.

4.2 Analisa Medan Aliran

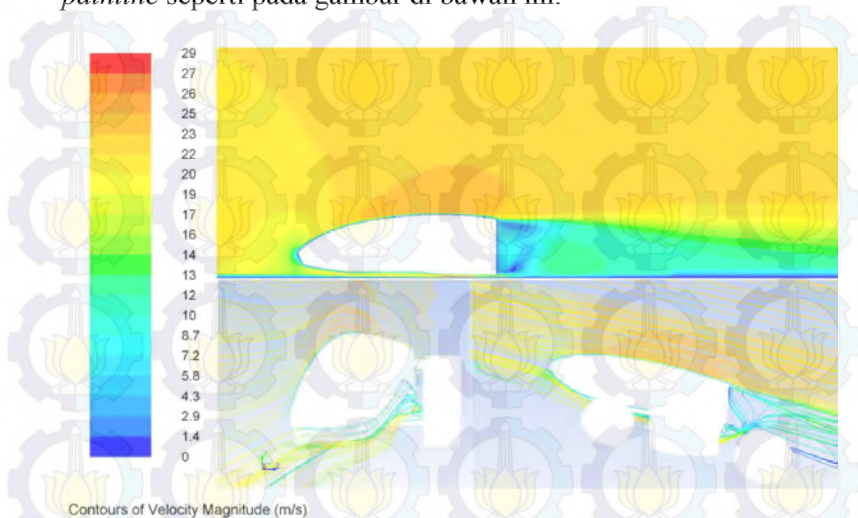
Pada analisa aliran 3 dimensi, secara umum akan dibahas mengenai karakteristik aliran yang melewati bodi sapuangin speed. Pembahasan didasarkan pada perumusan masalah yang dijelaskan pada bagian sebelumnya mengenai pengaruh bentuk leading edge, adanya ground clearance sampai bentuk rear end bodi yang cenderung berbentuk segiempat. Analisa ini akan dimulai dengan analisa aliran pada midspan. Analisa pada again ini digunakan sebagai acuan untuk analisa aliran pada bagian lain.

4.2.1 Analisa Aliran Pada Daerah *Midspan*

Evaluasi terhadap karakteristik aliran yang melewati bodi sapuangin speed pertama-tama ditinjau dari pembahasan terhadap pemotongan di segmen midspan. Analisa pada bagian ini akan menjelaskan gambaran karakteristik aliran ketika mengenai leading edge bodi sapuangin speed serta efek yang dihasilkan. Berdasarkan hasil post processing, untuk mendukung analisa pada segmen ini akan ditampilkan hasil *post processing* kuantitatif berupa distribusi nilai C_p yang didukung oleh *post processing*



kualitatif berupa visualisasi kontur tekanan, kecepatan dan *pathline* seperti pada gambar di bawah ini.



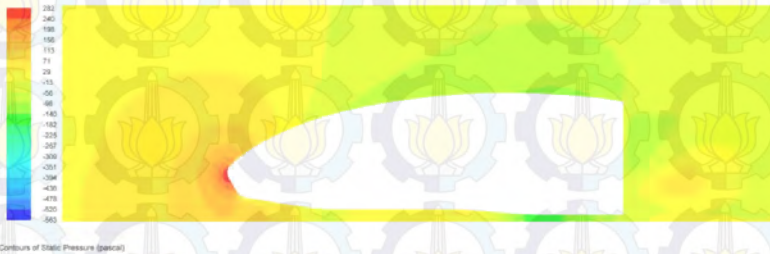
Contours of Velocity Magnitude (m/s)

Gambar 4.3 Kontur dan *pathline* kecepatan pada bodi sapuwing speed di daerah midspan

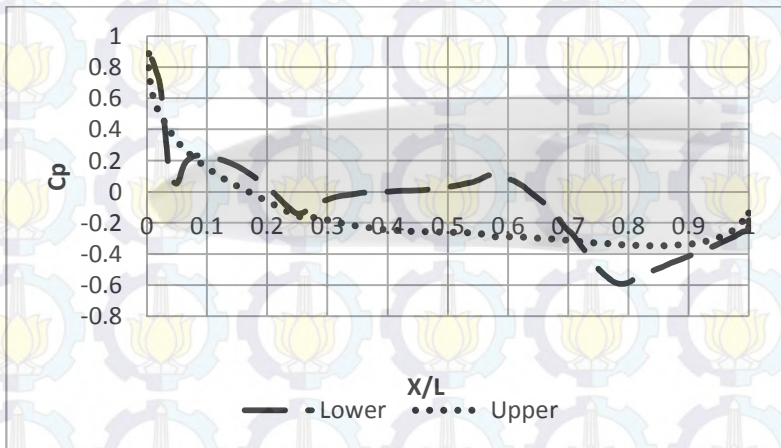
Aliran udara dari *free stream* mengalir menuju bodi kendaraan kemudian bertumbukan dengan bagian depan bodi (*leading edge*) sehingga aliran udara mengalami perlambatan. Karena adanya momentum yang tinggi dari aliran yang akan melewati *lowerside* bagian atas dengan aliran bagian bawah dekat *ground*, membuat lapis batas dekat *ground* berinteraksi dengan lapis batas dekat *lowerside*. Desakan momentum aliran yang kuat terhadap yang lemah membuat fenomena ini berkembang menjadi sebuah *blockage* aliran. Hal ini akan membuat aliran dari bawah yang akan menuju *lowerside* mendapat hambatan aerodinamika yang tinggi di daerah interaksi lapis batas antara sisi *ground* dan sisi *lower*. Untuk itu aliran cenderung memilih hambatan aerodinamika terkecil untuk melewati sisi *upper* daripada sisi *lower*, sehingga timbul akselerasi maksimum ke arah *upperside*. Selanjutnya, kecepatan aliran udara dari *free stream* ini seolah-



olah berhenti di *leading edge* dan membuat tekanan di *leading edge* menjadi sangat tinggi. Hal ini terlihat dari warna merah yang mendominasi daerah pada bodi bagian depan pada gambar 4.4. Pada kondisi ini aliran mengalir dari tekanan tinggi menuju tekanan rendah atau biasa disebut *adverse pressure gradient*. Tekanan pada daerah *upper side* lebih rendah daripada tekanan pada daerah *lower side* sehingga aliran mengalir menuju daerah ini.



Gambar 4.4 Distribusi tekanan disekitar bodi Sapuwing speed di daerah midspan



Gambar 4.5 Grafik distribusi C_p upper dan lower bodi sapuwing speed di daerah midspan



Terlihat dari visualisasi *pathline*, aliran yang melewati *upper side* cenderung mengalami percepatan sampai bagian belakang bodi. Hal tersebut dibuktikan dengan nilai C_p yang semakin kecil pada grafik 4.5. Aliran yang terdefleksi ke arah *lower side*, memiliki karakteristik aliran yang sedikit berbeda daripada aliran yang melewati daerah *upper side*. Pada daerah ini, aliran mula-mula mengalami percepatan sampai dengan kecepatan maksimum pada posisi $x/l = 0.05$ yang ditunjukkan dengan nilai $C_p = 0.053$. Karena aliran udara harus melawan gesekan, maka pada $x/l = 0.05$ aliran udara mulai mengalami perlambatan. Hal ini ditunjukkan dengan naiknya nilai C_p maksimum pada posisi $x/l = 0.08$ dengan nilai $C_p = 0.233$. Pada posisi $x/l = 0.08$ sampai $x/l = 0.25$ aliran dipercepat dengan $C_p = -0.141$. Pada posisi $x/l = 0.25$ sampai $x/l = 0.57$ aliran diperlambat karena dipaksa melewati *streamtube* yang menyempit dengan nilai $C_p = 0.115$. Pada posisi $x/l = 0.57$ sampai $x/l = 0.78$ aliran dipercepat lagi dengan nilai $C_p = -0.592$. kemudian dari posisi $x/l = 0.78$ aliran diperlambat lagi dengan indikasi kenaikan nilai C_p .

Pada daerah midspan selain terdefleksi ke arah *upper side* dan *lower side* aliran juga cenderung terdefleksi ke arah *sidebody*. Daerah aliran yang dilewati cenderung pada daerah *lower side* dari *sidebody*. Hal tersebut terlihat pada visualisasi *pathline* pada gambar 4.1. Dari gambar tersebut aliran yang melewati *sidebody* mempunyai intensitas yang cukup besar. Aliran yang melewati *sidebody* tersebut dimulai pada *leading edge* yang merupakan daerah bertekanan tinggi karena pada daerah tersebut aliran mendapat hambatan besar karena bentuk *leading edge* yang tumpul. Karena hambatan yang diterima aliran cukup besar ketika melewati *leading edge*, maka aliran terdefleksi ke arah *sidebody*. Pada *sidebody* bagian *upper side* hambatan yang diterima aliran lebih besar dibanding bagian *lower side* karena bentuk *sidebody* bagian *upper side* lebih tumpul daripada bagian *lower side*. Karena itu aliran terdefleksi ke arah *lower side* yang memiliki hambatan lebih kecil.

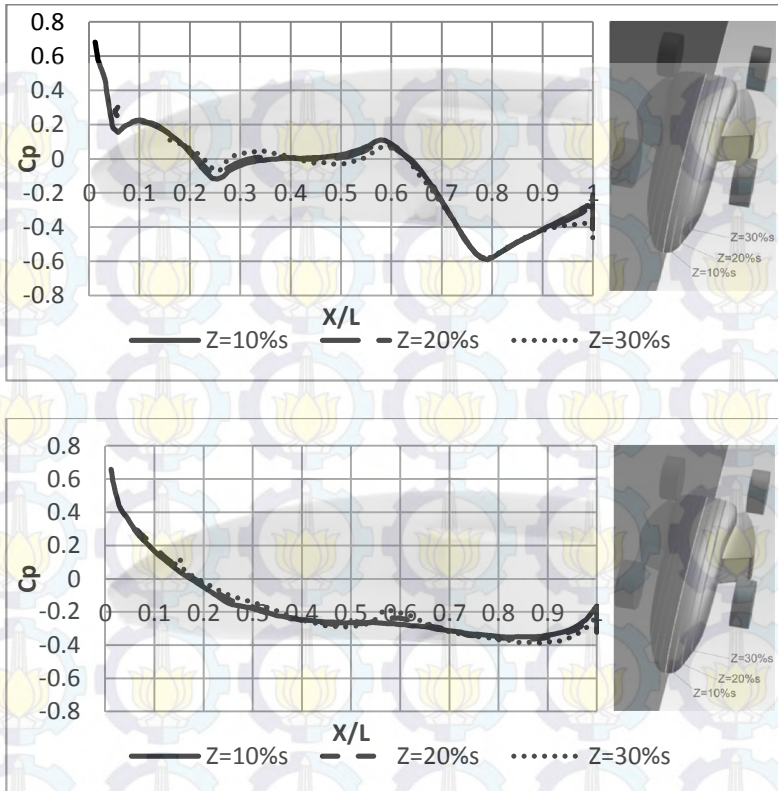


Pada bagian rear end, aliran mengalami separasi massive baik aliran yang melewati daerah *upperside* maupun *lowerside* karena aliran sudah tidak dapat mengikuti kontur lagi. Separasi ini mengakibatkan pada daerah *rear end* memiliki tekanan. Daerah bertekanan rendah ini akan mempengaruhi nilai gaya hambat kendaraan. Apabila daerah yang bertekanan rendah di bagian *rear end* besar maka gaya hambat yang dialami mobil besar begitu juga sebaliknya.

Dari distribusi C_p terlihat bahwa pada daerah *leading edge* nilai C_p maksimum tidak mencapai angka 1. Nilai C_p 1 menunjukkan bahwa pada daerah tersebut terjadi kondisi stagnasi dan biasanya terjadi pada *leading edge*. Hal ini bisa terjadi karena pada saat aliran udara *free stream* mengalir menuju *leading edge*, momentum yang diterima sudah berkurang karena adanya *blockage* aliran. Adanya *blockage* aliran ini yang menyebabkan momentum aliran *free stream* yang menuju *leading edge* menjadi tidak sebesar aliran *free stream*.

4.2.2 Analisa Pengaruh *Sidebody*

Untuk mendukung karakteristik aliran disekitar *midspan* yang mendapat pengaruh dari efek *sidebody* dapat dijelaskan melalui metode pemotongan searah sumbu z yaitu pada $z=10\%$, $z=20\%$, dan $z=30\%$ di *leading edge* dan $z=60\%$, $z=70\%$ dan $z=80\%$ di *sidepot* berikut.



Gambar 4.6 Distribusi C_p pada pemodelan pada pemotongan $Z=10\%$, $Z=20\%$, $Z=30\%$ di segmen *lowside* (atas); *upperside* (bawah)

Melalui gambar 4.6 dapat diketahui bahwa secara umum pada pemotongan searah sumbu z pada $z=10\%$ sampai $z=30\%$ nilai distribusi C_p relative sama. Hal tersebut dibuktikan dengan tren dari ketiga grafik yang hampir sama baik pada daerah *lowside sidebody surface* maupun *upperside sidebody surface*. Dari Grafik juga terlihat bahwa distribusi aliran yang dominan mengarah ke sisi terluar dari span pada daerah *leading edge* pada segmen *lowside* (*lowside sidebody surface*). Hal ini dapat

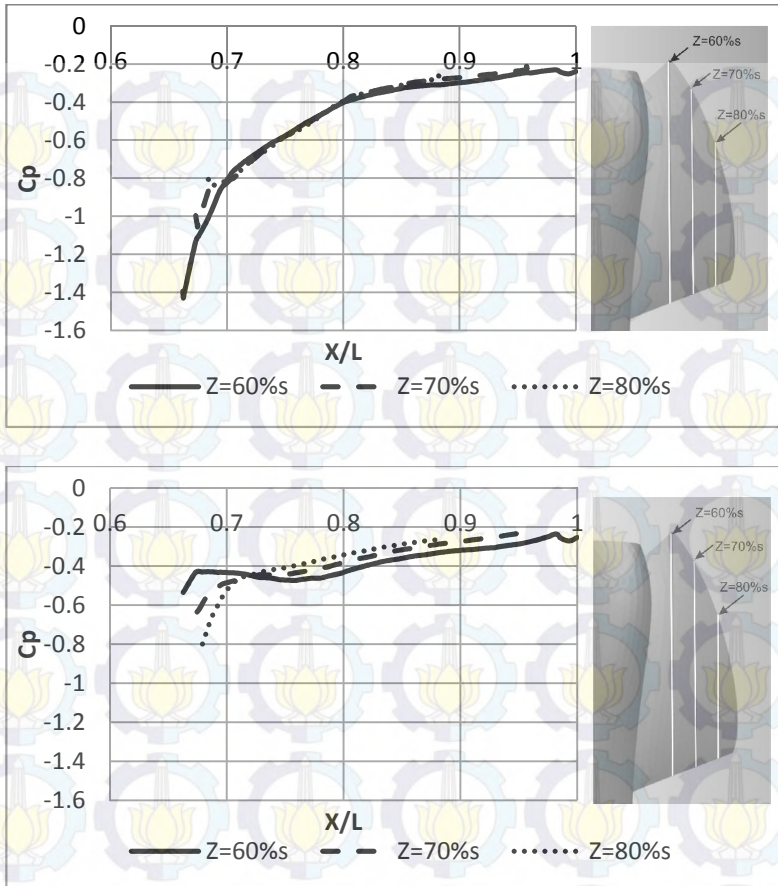


dilihat dari gambar 4.4 bahwa defleksi maksimum terjadi pada segmen *lowerside* pada ketiga potongan dengan nilai C_p sebesar -0.586 daripada segmen *upperside* yang hanya -0.389.

Pada saat aliran mengenai *leading edge*, defleksi aliran cenderung didominasi ke arah *lowerside sidebody surface* akibat hambatan aerodinamik terendah terletak pada daerah ini. Hal ini dapat dijelaskan dengan kelengkungan kontur bagian depan *lowerside* yang landai dan pendek, serta adanya hambatan aerodinamika tertinggi di *sidebody centre* yang mengarah ke *upperside sidebody surface*. Setelah terdefleksi maksimum pada $x/l=0.06$ merata di bidang $y-z$, aliran dibelokkan ke arah *upperside sidebody centre* akibat terbentuknya aliran sekunder dekat zona lengkung atas yang bertekanan rendah.

Aliran yang melintasi bodi bagian bawah setelah terdefleksi ke arah *sidebody surface* selanjutnya melintasi bodi kendaraan. Kecepatan 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. Selanjutnya ada interaksi lapis batas antara lapis batas bagian bawah kendaraan dengan lapis batas *sidebody surface*. Adanya interaksi lapis batas ini kemudian berkembang menjadi vortisitas sekunder selanjutnya menjadi aliran sekunder. Aliran sekunder merupakan aliran yang mempunyai komponen kecepatan *orthogonal* terhadap arah aliran utama. Kondisi ini terjadi pada daerah sidebodi dimana akibat adanya interaksi antar lapis batas ini mengakibatkan timbulnya vortex aliran. Adanya aliran sekunder ini mempengaruhi tekanan pada *midspan* di *lowerside*.

Selain analisa yang dilakukan pada pemotongan dalam arah sumbu z sebesar 10-30% dilakukan juga analisa pada potongan 60-80% yang merupakan bagian *sidepot* yang akan ditampilkan dalam grafik distribusi C_p di bawah ini.



Gambar 4.7 Distribusi C_p pada pemodelan pada pemotongan sumbu $Z=60\%$, $Z=70\%$, $Z=80\%$ di segmen upperside (atas) ; lowerside (bawah)

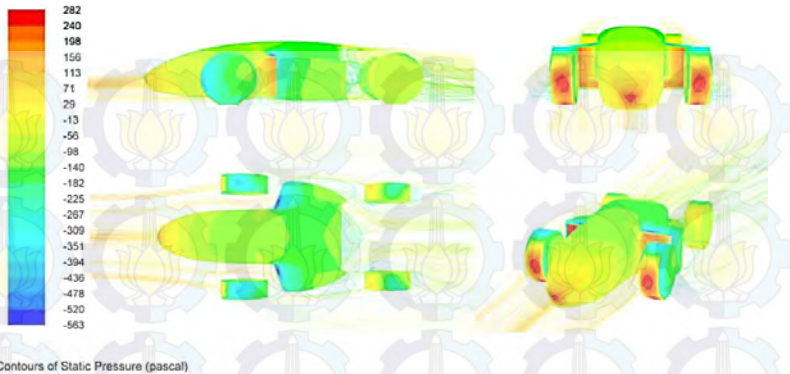
Dari grafik diatas terlihat bahwa nilai distribusi C_p pada pada daerah *upperside sidepot* memiliki tren yang hampir sama. Pada potongan $z=60\%$, aliran udara dari *free stream* langsung mengenai bagian *leading edge sidepot* yang tidak terhalang roda. Sementara pada potongan $z=70\%$ dan $z=80\%$ aliran udara dari



free stream tidak langsung mengenai *leading edge sidepot* dikarenakan terhalang oleh roda yang ada di depan *sidepot*. Setelah melewati *leading edge*, aliran kemudian diperlambat, hal ini terlihat dari grafik distribusi C_p yang semakin meningkat. Peningkatan nilai distribusi C_p ini menandakan bahwa pada hambatan aliran yang melalui *upperside* akan semakin meningkat sampai bagian belakang *sidepot*.

Untuk aliran yang melewati *lowerside sidepot*, nilai C_p juga memiliki tren yang hampir sama pada ketiga potongan. Nilai C_p pada bagian ini lebih besar daripada nilai C_p di bagian *upperside sidepot*. Pada daerah ini laju aliran diperlambat karena dipaksa melewati *streamtube* yang kecil. Kondisi ini mengakibatkan aliran mengalami hambatan akibat *pressure gradient* yang semakin besar. Daerah aliran ini disebut juga daerah *adverse pressure gradient*. Pada daerah *adverse pressure gradient*, aliran fluida akan mengalami hambatan selain karena adanya gesekan juga karena adanya kenaikan tekanan tekanan pada arah aliran fluida. Pada potongan $z=70\%$ dan $z=80\%$ nilai Distribusi C_p sedikit berbeda daripada potongan $z=60\%$. Terlihat pada grafik bahwa nilai C_p tidak mengalami peningkatan tetapi juga penurunan. Adanya penurunan nilai C_p ini menandakan pada daerah ini aliran akan mengalami percepatan sesaat. Pada saat aliran mengalami percepatan, pada daerah tersebut hambatan aerodinamika yang dialami oleh aliran kecil. Kemudian setelah aliran mengalami percepatan aliran kemudian mengalami perlambatan yang ditunjukkan dengan kembali naiknya nilai koefisien C_p .

Untuk mendukung data kuantitatif diatas, disajikan observasi dari fenomena yang terjadi dari pemodelan berupa visualisasi aliran yang meliputi tampilan *pathline* kecepatan dan kontur tekanan pada gambar 4.8 berikut ini.



Gambar 4.8 Pathline kecepatan dan kontur tekanan pada bodi sapu angin speed

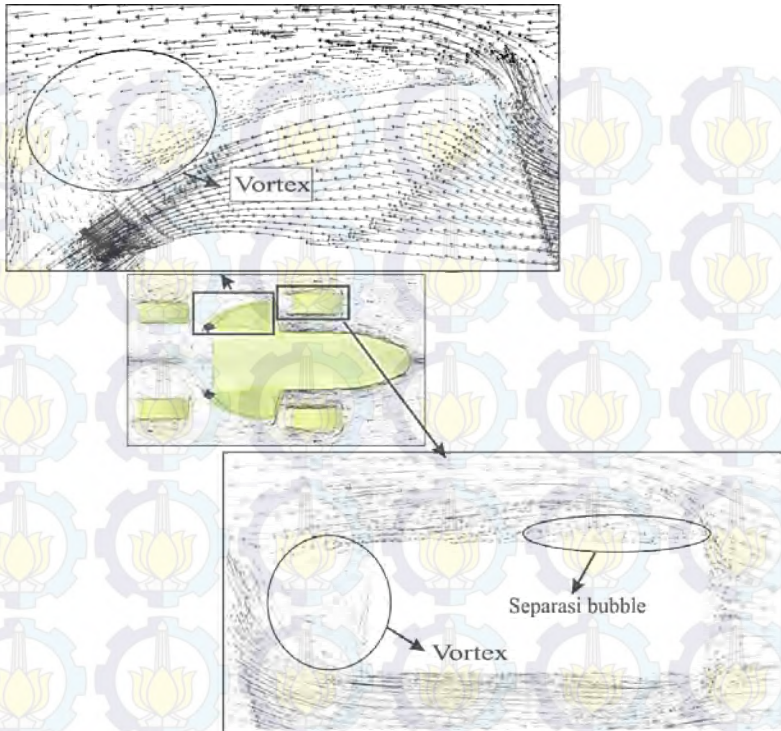
Melalui gambar 4.8 mengenai distribusi tekanan pada kontur bodi secara keseluruhan tampak bahwa terjadinya multi stagnasi yang ditandai dengan luasan spektrum berwarna merah yang besar berdifusi kesegala arah pada *leading edge*. Selain itu tekanan yang tinggi juga terjadi pada *leading edge* roda dan daerah di dalam *sidepot*. Selain daerah bertekanan tinggi juga terlihat bahwa daerah bertekanan rendah terletak pada permukaan atas bodi, bagian samping roda dan juga pada *sidepot* bagian atas. Hal ini menandakan bahwa aliran akan terdistribusi dominan ke arah ini. Pada bagian bodi, setelah aliran melewati *leading edge*, aliran kemudian akan mengalami akselerasi tajam menuju ke arah *sidebody* yang memiliki tekanan lebih kecil. Banyaknya *pathline* yang berdefleksi ke arah *lowerside* lebih banyak daripada ke *upperside* menandakan kuatnya hambatan aerodinamik pada sisi *upperside sidebody* sehingga aliran lebih dominan ke arah *lowerside sidebody*.

Dari tampilan *pathline* dapat diamati bahwa aliran yang melalui roda bagian depan mengalami separasi pada sisi bagian terluar dari bodi. Hal tersebut dikarenakan bentuk roda yang tumpul sehingga aliran tidak dapat mengikuti kontur. Akibat



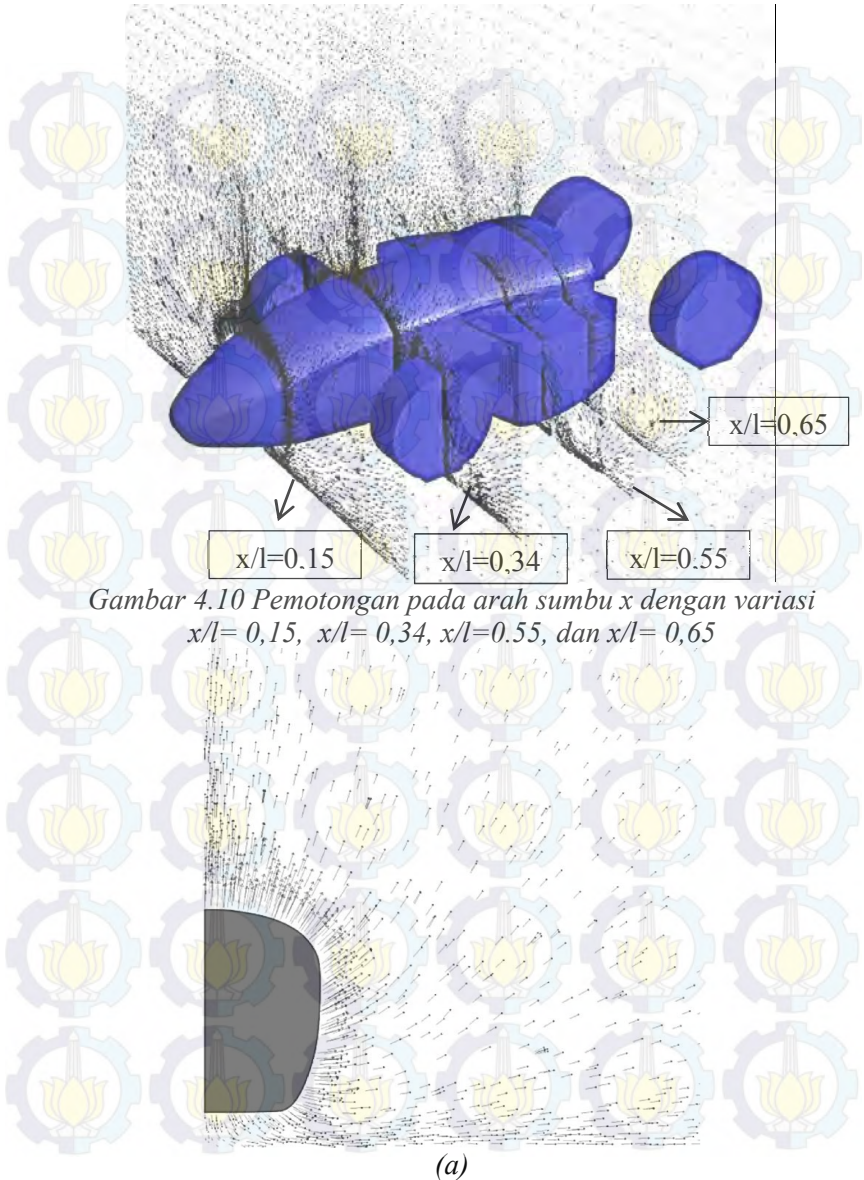
adanya aliran *free stream* yang mengalir melalui sisi roda membuat energi aliran tersebut dapat mendefleksikan aliran sehingga mampu mengikuti kontur kembali. Separasi ini dinamakan *separasi bubble*. Sedangkan untuk sisi roda bagian terdekat dengan bodi, adanya aliran dari *free stream* yang mengalir diantara bodi dan roda mengakibatkan separasi tidak terlalu besar karena energi dari *free stream* mampu mendefleksi aliran yang melewati roda kembali mengikuti kontur. Pada daerah buritan roda, aliran mengalami separasi *massive*. Saat aliran melewati *sidebody* roda, aliran diperlambat lagi karena adanya gesekan dan *adverse pressure gradient* yang tinggi. Meningkatnya *adverse pressure gradient* menyebabkan partikel fluida di dalam *boundary layer* mengalami perlambatan. Gaya tekan dan gaya geser pada elemen bawah melawan arah aliran. Perbedaan tekanan dan gaya geser ini mengakibatkan momentum pada aliran di atasnya lebih besar dan sangat berpengaruh terhadap fluida yang terletak dekat dengan permukaan karena inilah timbul daerah wake dan vortex. Visualisasi fenomena separasi *bubble* maupun timbulnya *vortek* pada daerah *downstream* bodi dapat dilihat pada gambar 4.9.

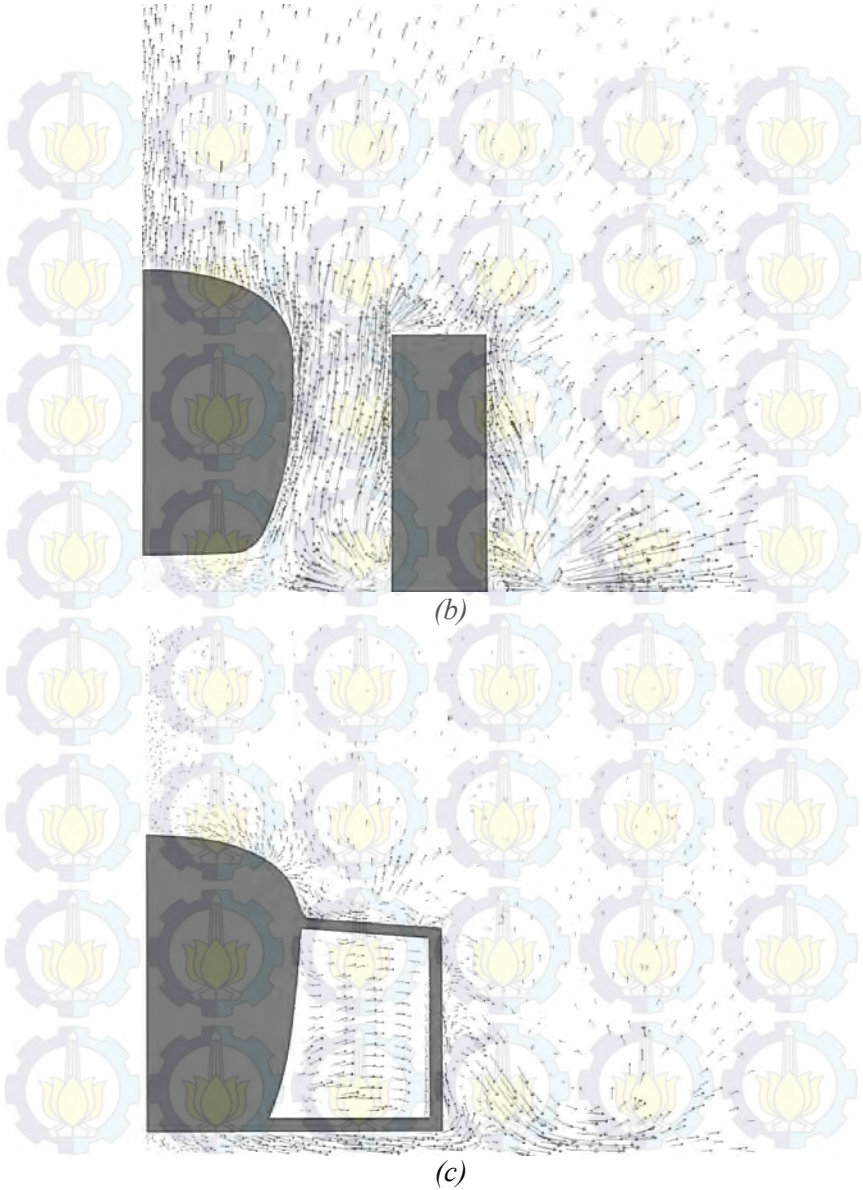
Tampak pada visualisasi *pathlines* ada sebagian aliran dari bagian bawah kendaraan yang mengarah ke *sidebody surface*. Kemudian aliran yang didefleksikan ke *sidebody surface* akan membentuk *vortex* separasi 3D pada daerah *sidepot*. Pada daerah buritan, tekanan rendah ditunjukkan melalui spektrum warna kuning yang menegaskan bertemunya *adverse pressure gradient* baik inklinasi ujung belakang pada *upperside*, bagian bawah bodi belakang (*rear end*), dan *sidebody surface*. Karena adanya interaksi lapis batas antara *surface-surface* ini membuat aliran terseparasi dan membentuk spiral *vortex*.

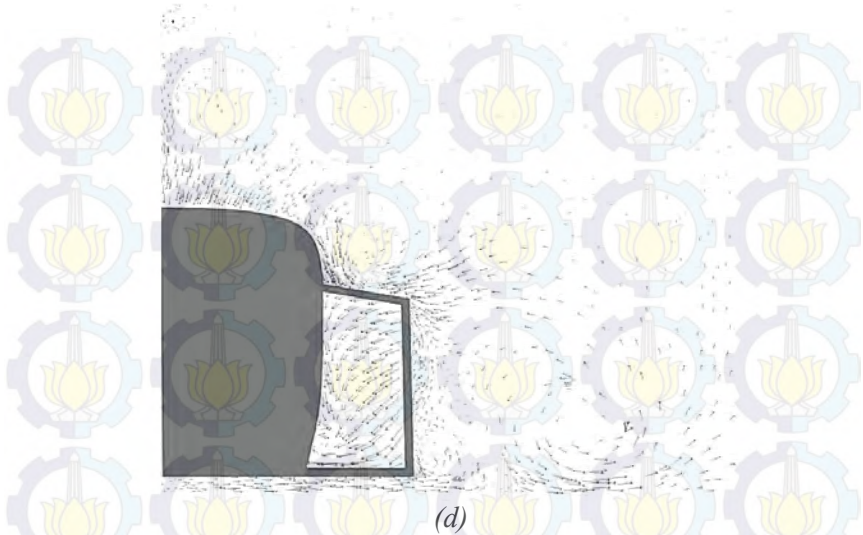


Gambar 4.9 Lokasi separasi bubble, vortex pada roda dan sidepot

Pada penjelasan di atas sedikit disinggung mengenai timbulnya *vortex* pada daerah *sidebody*. Untuk mendukung penjelasan tersebut dilakukan analisa pemotongan geometri searah dengan sumbu x . analisa ini juga digunakan untuk mendukung penjelasan karakteristik aliran 3D pada daerah interaksi antar lapis batas *sidebody surface* dengan lapis batas disekitar *midspan*, dapat ditegaskan melalui visualisasi vektor kecepatan dengan metode pemotongan searah sumbu x sebesar $x/l=0.15$, $x/l=0.34$, $x/l=0.55$, dan $x/l=0.65$ sebagai berikut.







Gambar 4.11 Distribusi vector kecepatan pada bidang potong (a) $x/l=0.15$, (b) $x/l=0.34$, (c) $x/l=0.55$, dan (d) $x/l=0.65$

Gambar 4.11 menunjukkan posisi pemotongan bodi mobil searah dengan sumbu x , pemotongan dilakukan pada $x/l=0.15$, $x/l=0.34$, $x/l=0.55$ dan $x/l=0.65$. Dari pemotongan yang dilakukan mulai $x=0.15$ hingga $x=0.34$ didapat pola aliran pada *sidebody* mobil. Dari gambar 4.8 tampak bahwa pada posisi potongan $x/l=0.15$ sampai $x/l=0.34$ tidak timbul adanya vortek akibat interaksi antara aliran melewati bawah bodi dengan aliran pada *sidebody surface*. Pada potongan $x/l=0.55$ dan $x/l=0.65$, timbul adanya vortex yang berbentuk cincin atau spiral vortex yang searah dengan sumbu x . pada daerah pemotongan $x=0.55$ dan $x=0.65$, aliran yang melewati daerah *loweside sidebody* cenderung memiliki hambatan yang besar karena aliran dipaksa melewati *stream tube* yang mengecil.

Pada potongan searah sumbu x dengan pada posisi $x/l=0.55$ dan $x/l=0.65$, vortex yang terbentuk tidak hanya vortex



spiral dengan arah sumbu x . *Vortex* juga terbentuk searah dengan sumbu y . Visualisasi terjadinya *vortex* dapat dilihat pada gambar 4.11 di atas. Terlihat dari gambar bahwa posisi terjadinya *vortex* mendekati bagian belakang *sidepot*.

Kronologi terjadinya *vortex* separasi 3D bermula saat aliran di *sidebody* mengalir ke bagian bawah mobil. Aliran tersebut berinteraksi dengan aliran di *sidebody* yang memiliki perubahan bentuk kontur yang cukup kompleks, interaksi antara aliran-aliran ini kemudian menyebabkan timbulnya *vortex* separasi 3D. Dari gambar 4.11 didapat bahwa akumulasi distribusi aliran setelah *leading edge* pada *lowerside* cenderung akan mengalir ke *sidebody surface* dikarenakan hambatan aerodinamika terendah terjadi pada daerah itu sehingga antar lapis batas cenderung bertemu pada daerah tersebut.

4.2.3 Analisa Aliran Melewati *Sidepot*

Pada *sidepot*, ada dua macam analisa yang dilakukan. Pertama adalah analisa aliran tanpa penambahan *porous jump* dan yang kedua adalah analisa aliran dengan penambahan *porous jump*. Data *porous* yang diinputkan kedalam software *fluent* mengacu kepada penelitian yang dilakukan oleh **Kurniawan [17]**. *Porous* ditempatkan pada bagian belakang *sidepot*. Adanya *porous jump* ini dimaksudkan sebagai pengganti hambatan aliran yang melewati bagian radiator, mesin dan lain-lain. Besarnya hambatan aliran yang melalui radiator, mesin dan lain-lain diasumsikan sama dengan hambatan aliran yang melalui *porous jump*.

Porous jump merupakan suatu pemodelan aliran yang melewati membran tipis atau sebagai penyederhanaan pemodelan 1 dimensi dari *porous media*. Pada pemodelan ini harus diketahui nilai dari *pressure drop* yang melewati *porous*. Pada simulasi ini nilai dari *pressure drop* dapat diketahui pada perumusan 2.26. Untuk perhitungan yang digunakan dalam *porous jump* mengacu pada perumusan 2.23:

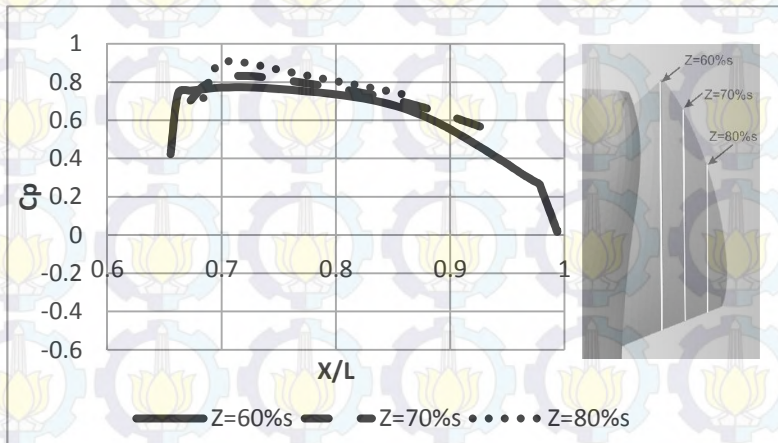


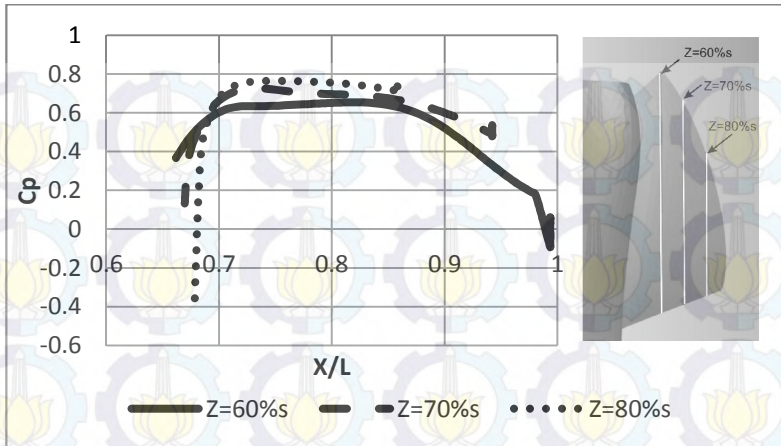
$$\Delta p = - \left(\frac{\mu}{\alpha} v + C_2 \frac{1}{2} \rho v^2 \right) \Delta m$$

Pada perhitungan, sangat dipengaruhi oleh bilangan *reynold* dari pemodelan. Bilangan *reynold* yang digunakan cukup tinggi yaitu 3.3541×10^6 . Karena itulah pada pemodelan efek dari aliran pada kondisi *laminar* diabaikan.

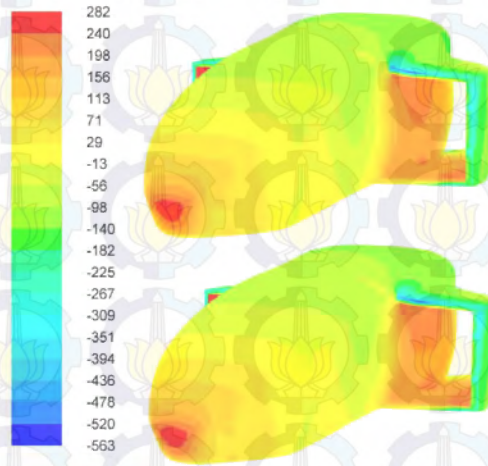
Dari simulasi yang sudah dilakukan baik dengan dan tanpa penambahan *porous jump*, terdapat perbedaan diantara keduanya. Dugaan awal dari penambahan *porous jump* adalah hambatan aerodinamika yang terjadi semakin besar. Karakteristik aliran yang terjadi hampir sama diantara keduanya.

Untuk mengetahui perbedaan aliran melewati *sidepot* baik dengan penambahan *porous* maupun tidak ditinjau dari hasil *post processing* kualitatif berupa nilai distribusi C_p . Analisa *post processing* kuantitatif ini ditunjang dengan *post processing* kualitatif berupa *pathline*, kontur tekanan dan kecepatan. Analisa dibuat dengan melakukan pemotongan searah sumbu z sebesar $z=60\%s$, $z=70\%s$ dan $z=80\%s$. nilai distribusi C_p dan kontur tekanan pada daerah *sidepot* ditunjukkan pada gambar di bawah ini.





Gambar 4.12 Distribusi C_p pada pemotongan searah sumbu Z sebesar $Z=60\%$, $Z=70\%$, $Z=80\%$ di segmen upperside (atas); lowerside (bawah)



Contours of Static Pressure (pascal)

Gambar 4.13 Distribusi tekanan pada daerah sidepot simulasi tanpa porous (atas) dan simulasi menggunakan porous (bawah)



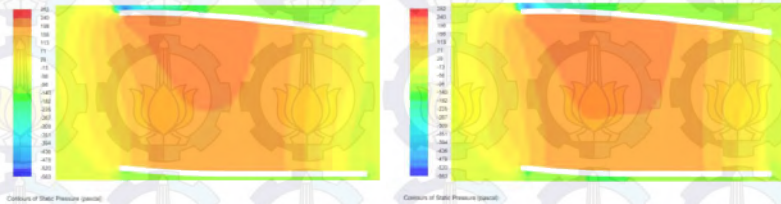
Dari grafik distribusi C_p diatas nilai C_p mempunyai tren yang hampir sama pada tiap potongan baik pada daerah *upperside* maupun *lowerside*. Secara umum nilai distribusi C_p bagian *upperside* lebih besar daripada bagian *lowerside*. Hal tersebut ditunjukkan dengan nilai maksimum C_p sebesar 0.9 sedangkan pada *lowerside* sebesar 0.76. Nilai C_p yang besar menandakan bahwa aliran mengalami hambatan yang besar ketika melalui *sidepot*.

Aliran dipercepat ketika melewati posisi $x/l=0.65$ yang merupakan posisi terdepan *sidepot*, hal ini dibuktikan dari kecilnya nilai C_p pada tiap potongan baik bagian *upperside* maupun *lowerside* pada posisi tersebut. Setelah aliran melewati posisi ini selanjutnya aliran diperlambat yang ditunjukkan oleh nilai C_p yang naik. Hambatan aerodinamik terbesar berada pada daerah *lowerside* karena pada tiap potongan searah sumbu z nilai C_p relative tinggi. Nilai distribusi C_p yang cenderung konstan sampai posisi belakang *sidepot* menunjukkan bahwa hambatan pada area ini merata. Sedangkan pada daerah *upperside*, grafik distribusi C_p cenderung menurun sampai posisi belakang *sidepot* yang menunjukkan hambatan tidak sebesar daerah *lowerside*.

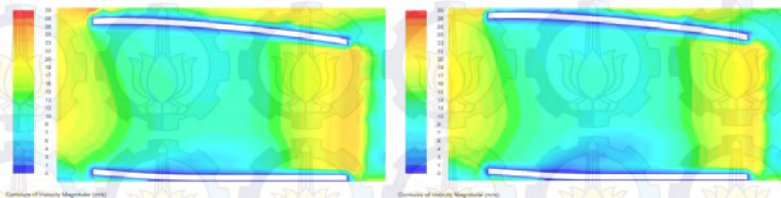
Pada gambar 4.13 terlihat distribusi tekanan pada area di dalam *sidepot* pada simulasi tanpa menggunakan *porous* dan dengan menggunakan *porous*. Terlihat pada simulasi dengan menggunakan *porous* memiliki tekanan yang lebih tinggi di dalam *sidepot*. Hal ini terlihat dari luasan kontur berwarna merah yang lebih besar dibanding simulasi tanpa menggunakan *porous*. Dibanding dengan bagian bodi lain, bagian *sidepot* memiliki tekanan lebih tinggi tinggi. Dapat dijelaskan aliran dari *free stream* mengalir menuju *sidepot* maka aliran menuju daerah bertekanan tinggi atau biasa disebut daerah *adverse pressure gradient*. Ketika aliran mengalir dari tekanan rendah menuju tekanan tinggi, maka aliran tersebut akan diperlambat. Hambatan aliran yang diterima di dalam *sidepot* hampir sama dengan hambatan aliran yang diterima pada *leading edge* bodi yang juga memiliki tekanan tinggi.



Untuk mengetahui detail antara analisa dengan penambahan *porous* dan tidak dilakukan juga visualisasi kontur tekanan dan kecepatan pada pemotongan searah sumbu z sebesar $z/s=0.56$ seperti gambar di bawah ini.



Gambar 4.14 Distribusi tekanan tanpa penambahan *porous* (kiri) dan dengan penambahan *porous* (kanan)



Gambar 4.15 Distribusi kecepatan tanpa penambahan *porous* (kiri) dan dengan penambahan *porous* (kanan)

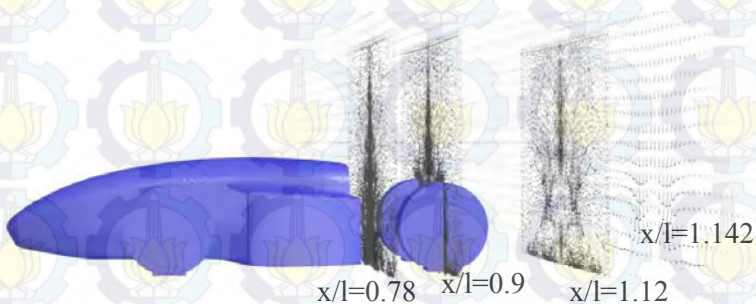
Dari gambar distribusi tekanan terlihat bahwa simulasi yang dilakukan dengan penambahan *porous* memiliki area bertekanan tinggi yang lebih besar daripada simulasi tanpa penambahan *porous* pada bagian belakang *sidepot*. Hal ini menunjukkan bahwa pada saat aliran melewati *porous* aliran akan mengalami hambatan. *Adverse pressure gradient* meningkat dari bagian depan *sidepot* menuju daerah belakang. Dari kontur kecepatan terlihat dengan adanya *porous* aliran yang melewati belakang *sidepot* memiliki kecepatan yang relatif rendah karena adanya hambatan dari *porous*. Hal tersebut dibuktikan dari warna kontur tekanan yang lebih kuat pada daerah yang melalui *porous*.



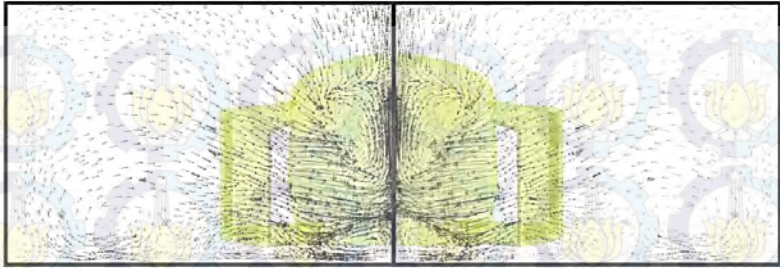
Dari gambar distribusi tekanan maupun kecepatan terlihat bahwa perbedaan antara keduanya tidak teralalu besar. Akan tetapi tetap ada pengaruh dari kedua metode analisa. Pengaruhnya adalah pada nilai C_d dan C_l . Perbedaan ini dapat mempengaruhi perhitungan gaya hambat kendaraan meskipun kecil. Karena dalam analisa aerodinamika pada kendaraan diusahakan gaya hambat sekecil mungkin agar memiliki efisiensi bahan bakar yang baik.

4.2.4 Analisa Aliran di Daerah *Rear End*

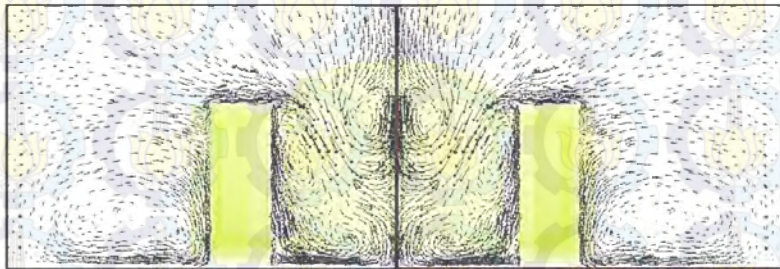
Untuk mendukung analisa mengenai karakteristik aliran 3D, diperlukan pula observasi pada daerah *rear end* mengenai *wake* 3D. Analisa meliputi simulasi dengan pemberian *porous* dan tanpa pemberian *porous*. Visualisasi ini diamati pada bentuk potongan ke arah axis di lokasi $x/l=0.78$, $x/l=0.9$, $x/l=1.12$ dan $x/l=1.4$ sebagai berikut.



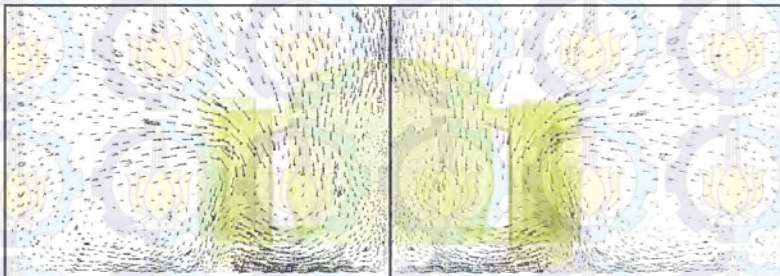
Gambar 4.16 Posisi pemotongan pada rear end mobil



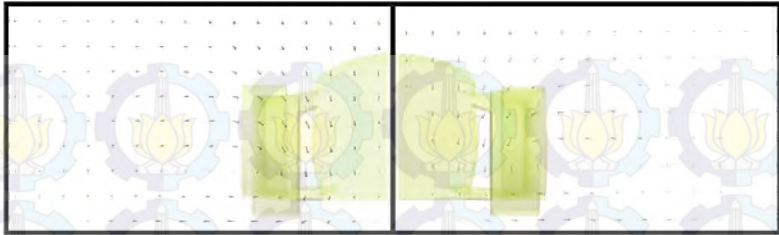
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 4.17 Vektor kecepatan di belakang model kendaraan (a) $x/l=0.78$, (b) $x/l=0.9$, (c) $x/l=1.12$ dan (d) $x/l=1.4$ dengan simulasi menggunakan porous di bagian kiri dan tanpa menggunakan porous di sebelah kanan

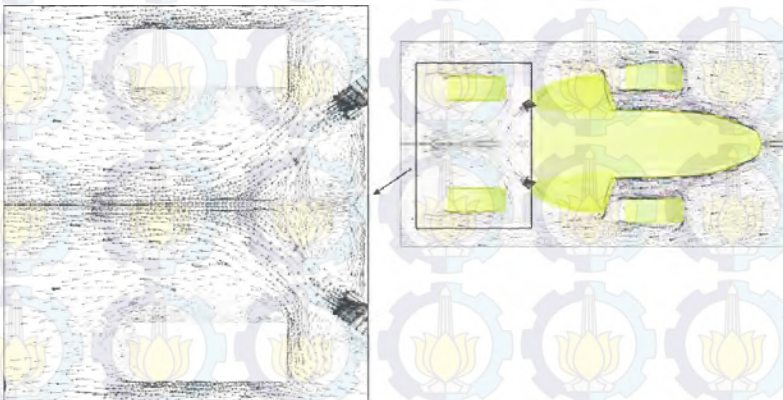
Gambar 4.11 adalah visualisasi dari vektor kecepatan pada *downstream* pada posisi $x/l=0.78$, $x/l=0.9$, $x/l=1.12$ dan $x/l=1.4$ untuk menunjukkan distribusi vortisitas pada daerah *wake*. Pada potongan $x/l=0.78$ terlihat bahwa *vortex* yang terjadi simetris pada sisi kanan dan kiri dari bidang potong. Interaksi antara aliran dari *upperside* dengan aliran melalui *sidepot* menyebabkan terjadinya *vortex* yang posisinya berada di atas dengan arah *clockwise* pada aliran di sebelah kanan dan *counter clockwise* pada aliran sebelah kiri. Sedangkan pada interaksi aliran *lowerside* dan aliran yang melewati *sidepot* menyebabkan terjadinya *vortex* yang terletak di bawah tidak hanya satu tetapi dua *vortex*. Intensitas *vortex* yang terjadi di bagian atas lebih besar daripada bagian bawah. Untuk aliran di daerah sebelah kanan *centerline* arah *vortex clockwise* dan *clockwise* untuk aliran di sebelah kiri. *Vortex* juga terbentuk pada daerah *downstream* bagian *sidebody*. Pada bagian ini terlihat bahwa intensitas *vortex* yang terjadi lebih besar daripada *vortex* di bagian *rear end* bodi. Hal ini menandakan bahwa interaksi aliran pada daerah *lowerside* dengan aliran pada *sidebody* memiliki pengaruh yang besar terhadap terbentuknya *vortex* daripada interaksi aliran pada daerah *upperside* maupun *lowerside* terhadap aliran yang melewati *sidepot*. Pada gambar juga terlihat bahwa simulasi tanpa



menggunakan porous memiliki intensitas vortex yang lebih besar di bagian bawah. Hal ini dikarenakan udara langsung mengalir tanpa hambatan sehingga memiliki kecepatan lebih tinggi sehingga menimbulkan olakan aliran yang lebih besar. Sedangkan simulasi dengan menggunakan porous aliran yang melewati sidepot cenderung terhambat sehingga kecepatan lebih rendah. Akibatnya, olakan yang terjadi juga lebih kecil. Hal inilah yang mempengaruhi harga koefisien drag.

Pada pemotongan $x/l=0.9$ terlihat bahwa intensitas *vortex* yang terbentuk pada bagian *rear end bodi* mulai berkurang. Sampai pada potongan $x/l=1.12$ terlihat bahwa *vortex* pada daerah *rear end* bodi sudah menghilang. Sedangkan untuk *vortex* pada daerah *downstream sidebody*, *vortex* cenderung mengarah ke centerline yang ditunjukkan pada posisi pemotongan $x/l=1.12$. Pada posisi pemotongan $x/l=1.4$ intensitas *vortex* mulai melemah. Hal ini menunjukkan bahwa intensitas *vortex* akan melemah dengan penambahan axis.

Selain terjadi pada arah sumbu x , *vortex* juga terjadi pada arah sumbu y . Visualisasi terjadinya *vortex* ini dapat dilihat pada pemotongan searah sumbu y sebesar $y/t=0.7$ seperti gambar di bawah ini.



Gambar 4.18 Vortex spiral arah sumbu y pada area downstream



Separasi *massive* terjadi disebabkan adanya pengaruh *adverse pressure gradient* pada aliran bagian *lowerside*, *upper side*, aliran melewati *sidepot*, dan *sidebody surface*. Pembentukan *vortex* separasi atau spiral *vortex* di daerah *wake* hampir menyerupai *wake* 3D pada *ahmed model*, di mana komposisi vortisitas ke arah *x* dan *y* dipengaruhi oleh kelengkungan kontur buritan. Intensitas vortisitas dari daerah *wake* akan semakin kuat mendekati buritan dan akan melemah sepanjang penambahan *axis*. Terbentuknya *vortex* separasi pada dekat sumbu *axis* diakibatkan efek *sidebody* yang terbagi ke arah *upper side* dan *lowerside*. Namun intensitasnya lebih besar pada daerah *upper side*. Terdapat daerah di mana aliran *sidebody* kanan kiri bertemu kemudian terdefleksi ke arah atas dan bawah.

Pembahasan mengenai efek *sidebody* dan pengaruh kelakuan aliran serta distribusi vortisitasnya, telah memunculkan paham mengenai *vortex* separasi 3D pada analisa medan aliran 3D yang melewati kontur bodi yang tidak simetris dan kompleks. Pada bodi kendaraan sebenarnya, pengaruh efek *ground clearance* akan memberikan karakteristik unik yang tidak lagi tunggal karena pengaruh efek *sidebody*. Aliran cenderung memiliki hambatan aerodinamik tertinggi tidak pada *sidebody centre* lagi, namun juga pada daerah celah. Selain itu karena adanya *sidepot* menambah hambatan yang diterima aliran lebih besar. Diduga distribusi vortisitasnya tidak lagi kuat ke arah *upper side sidebody surface*, melainkan ke arah *lowerside sidebody surface* di bagian *sidepot*.

4.2 Perhitungan Gaya Aerodinamika di *Midspan*

Analisa mengenai data kuantitatif berupa gaya-gaya aerodinamika diperlukan untuk penunjang sekaligus menyimpulkan dari beberapa fenomena yang disajikan pada data kualitatif di atas. Perhitungan gaya-gaya aerodinamika seperti *drag* dan *lift* akan dibahas lebih lanjut pada daerah *midspan* sebagai berikut.



4.2.2 Perhitungan Gaya Drag

Perhitungan gaya *drag* pada bodi *sapuwingin speed* didasarkan pada penentuan *control volume* pada daerah *midspan*. Gaya *drag* didapat dari hasil perhitungan *ansys fluent 14*. Dari pemodelan bodi didapatkan grafik karakteristik distribusi tekanan pada daerah *midspan* seperti pada gambar 4.3. Efek *sidebody* sangat memberikan kontribusi dalam hal distribusi tekanan sepanjang *midspan*. Distribusi aliran di mulai dari *leading edge* kemudian sebagian aliran terdefleksi sangat kuat ke *sidebody* terutama bagian *sidepot*. Bagian roda depan memberikan pengaruh yang besar terhadap gaya hambat dikarenakan bentuk *leading edge* yang tumpul. Hal ini ditandai dengan besarnya tekanan pada *leading edge* roda yang hampir sama dengan *leading edge* bodi. Bagian *sidepot* juga memberikan pengaruh yang besar. Bagian dalam *sidepot* juga memiliki tekanan yang besar sama seperti bagian *leading edge* bodi maupun roda. Luasan permukaan yang lebih besar pada daerah bertekanan tinggi membuat aliran yang masuk kedalam *sidepot* mengalami hambatan yang besar.

Adanya pengaruh gaya gesek dan perubahan bentuk geometri sepanjang kontur bodi turut menyumbang terbentuknya daerah *wake* di daerah *downstream*. *Wake* yang terbentuk di daerah *downstream* merupakan akumulasi dari *adverse pressure gradient* yang terbentuk dari inklinasi ujung belakang dan bagian bawah belakang kendaraan serta efek *sidebody*.

Dari hasil simulasi yang sudah dilakukan didapat nilai C_d pada analisa baik penambahan porous pada bagian belakang sidepot maupun tidak. Terdapat perbedaan nilai C_d antara kedua metode ini. Pada simulasi yang menggunakan porous nilai C_d sebesar 0.652372 sedangkan simulasi tanpa menggunakan porous nilai C_d sebesar 0.659371. Nilai C_d pada simulasi tanpa menggunakan porous lebih besar, hal ini tidak sesuai dengan dugaan bahwa nilai C_d yang mewakili gaya hambat aerodinamika lebih besar justru terjadi pada simulasi yang tidak menggunakan porous. Hal ini dapat terjadi karena pada simulasi yang



menggunakan *porous*, aliran yang melewati *sidepot* akan dihambat oleh adanya *porous*. Akibatnya, kecepatan aliran yang keluar dari *sidepot* lebih kecil daripada aliran yang tidak terhambat *sidepot*. Kecepatan aliran inilah yang berpengaruh terhadap daerah bertekanan rendah di bagian *rear end* sehingga mempengaruhi nilai Cd.

Fenomena ini dijelaskan lewat visualisasi *vector* kecepatan pada gambar 4.17 di atas, dari gambar terlihat bahwa intensitas *vortex* yang terjadi di daerah *downstream* pada simulasi tanpa menggunakan *porous* lebih besar pada bagian bawah. Hal ini mengakibatkan gaya hambat lebih besar. Sementara pada simulasi dengan menggunakan *porous*, aliran yang melewati *sidepot* akan dihambat sehingga aliran keluar *sidepot* lebih rendah. Akibatnya aliran yang terjadi tidak sebesar simulasi tanpa *porous*.

4.2.3 Perhitungan Gaya Lift

Salah satu hasil post processing dari simulasi pada ansys fluent 14 adalah gaya *lift*. Dari hasil tersebut dapat dikalkulasi untuk mendapatkan koefisien *lift* yang terjadi. Dari pemodelan bodi standar didapatkan grafik karakteristik distribusi tekanan pada daerah *midspan* seperti pada gambar 4,3. Melalui metodologi kalkulasi *lift* dari selisih distribusi koefisien tekanan antara kontur *lowerside* dengan *upperside* pada konfigurasi uji sebesar $Re_L = 3.3541 \times 10^6$, membuat bodi mendapat gaya angkat positif dengan koefisien *lift* sebesar 0,267541 pada simulasi dengan menggunakan *porous* dan 0.259982 tanpa menggunakan *porous*.

Dari simulasi didapatkan bahwa nilai koefisien lift bernilai positif. Hal akan merugikan dari segi desain. Kendaraan *sapu angin speed* dibuat untuk perlombaan yang kategori perlombaan mirip mobil formula. Untuk kategori perlombaan seperti ini, mobil membutuhkan gaya kebawah yang besar agar mobil memiliki kestabilan yang tinggi. Gaya kebawah ini diwakili oleh koefisien lift dari kendaraan. Apabila nilai koefisien lift bernilai negative maka akan timbul gaya kebawah.



4.3 Diskusi

Setelah dilakukan beberapa analisa mengenai karakteristik aliran yang melewati bodi *sapuangin speed*, perlu dilakukan suatu diskusi mengenai hasil yang didapat. Hasil ini diharapkan dapat menjadi salah satu referensi bagi desain model *sapuangin speed* yang baru. Di dalam perlombaan Formula Student, analisa seperti ini sangat berpengaruh terhadap hasil penilaian. Mengacu pada beberapa juara seperti Sophia University, Kyoto University adanya analisa aerodinamika yang dilakukan memberikan nilai yang besar.

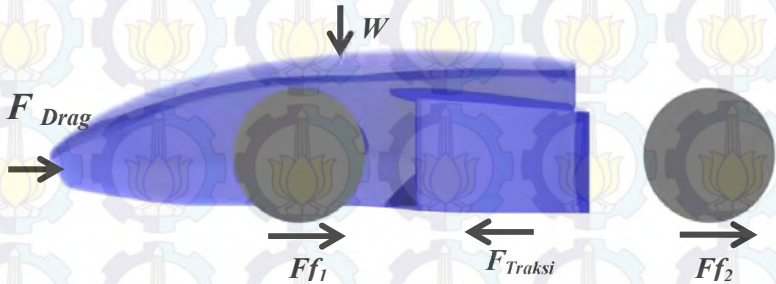
Pada saat ini kendaraan *Sapuangin Speede* memiliki geometri dengan bentuk *leading edge* yang tumpul. Bentuk ini dimungkinkan terjadinya *multi-stagnation point*. *Multi-stagnation point* ini merupakan area bertekanan tinggi pada *leading edge*. Perbedaan tekanan antara *leading edge* dan *rear end* ini akan mengakibatkan *drag force* yang melawan pergerakan bodi. Semakin besar perbedaan tekanan antara *leading edge* dan *rear end* mengakibatkan terbentuknya *drag force* yang semakin besar pula. Dari hasil penganalisan yang sudah dilakukan, didapatkan bahwa adanya modifikasi pada *leading edge* sangat berkontribusi terhadap pengurangan tekanan pada *leading edge*. Berikut ini adalah gambar perubahan di daerah depan bodi.

Selain itu juga, *rear end* yang menyerupai segi-empat akan mempercepat adanya separasi. Adanya separasi akan menghasilkan area bertekanan rendah di belakang bodi yang disebut *wake*. Berdasarkan analisa terjadinya *wake* tidak hanya di daerah belakang bodi saja tetapi di daerah samping sidepot. Bahkan pada daerah ini intensitas vortex yang terjadi lebih besar daripada daerah di belakang bodi. Hal tersebut sangat berkontribusi besar terkait besarnya nilai C_D bodi.

Dari pembahasan didapat bahwa nilai dari C_D sebesar 0.65. pada perlombaan, terdapat beberapa kategori yang diperlombakan diantaranya adalah efisiensi bahan bakar. Bahan bakar ini dibutuhkan untuk menggerakkan kendaraan. Semakin kecil tenaga yang digunakan untuk menggerakkan mesin maka efisiensi



bahan bakar akan semakin baik. Analisa mengenai tenaga yang dibutuhkan untuk menggerakkan kendaraan adalah sebagai berikut.



Gambar 4.19 Free body diagram gaya-gaya pada kendaraan

Dari free body diatas didapatkan perumusan didapatkan perumusan sebagai berikut.

Berdasarkan hokum ke II Newton didapat:

$$\Sigma F = m \cdot a$$

$$F_{Traksi} - F_{Drag} - F_f = m \cdot a$$

$$F_{Traksi} = F_{Drag} + F_f + m \cdot a$$

Karena data yang digunakan untuk menghitung total friksi yang terjadi tidak diketahui maka diasumsikan besarnya gaya friksi = 0. Maka persamaan menjadi:

$$F_{Traksi} = F_{Drag} + m \cdot a$$

Keterangan :

- m = Massa jenis kendaraan (Kg)
- a = Percepatan kendaraan ($m/_{sekon}^2$)
- F_f = Gaya gesek kendaraan (N)



- F_{Drag} = Gaya hambat kendaraan (N)
 α = Sudut kemiringan (kendaraan melaju pada jalan datar
($\alpha = 0$))
 W = Berat kendaraan (Kg)

F_{Traksi} inilah yang berperan dalam konsumsi bahan bakar. Pada prinsipnya, suatu kendaraan akan bisa berjalan jika memiliki gaya traksi lebih besar atau sama dengan gaya hambat yang dialami kendaraan. Gaya traksi dihasilkan dari *engine* kendaraan. Apabila nilai gaya hambat kendaraan besar, maka gaya traksi yang dibutuhkan akan semakin besar. Artinya, bahan bakar yang dibutuhkan *engine* untuk bisa menghasilkan gaya traksi menjadi lebih besar, sebaliknya apabila nilai gaya hambat kendaraan kecil, gaya traksi yang dibutuhkan kecil, sehingga bahan bakar yang dibutuhkan semakin kecil.

Untuk mengetahui besarnya gaya traksi berdasarkan analisa aerodinamik yang telah dilakukan dilakukan perhitungan sebagai berikut.

- Mencari gaya drag

$$F_{\text{Drag}} = \frac{1}{2} \rho_u \cdot V^2 \cdot A \cdot C_D$$

$$F_{\text{Drag}} = \frac{1}{2} 1,225 \text{ kg/m}^3 \cdot (22,22 \text{ m/s})^2 \cdot 0,779 \text{ m}^2 \cdot 0,65$$

$$F_{\text{Drag}} = 153,125 \text{ N}$$

- Mencari percepatan
Pada saat pengujian, mobil sapuangin speed dapat menempuh jarak 100 meter dengan waktu 5.2 sekon. Data ini kemudian dijadikan acuan dalam menghitung percepatan.



$$s = V_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$$

$$100 \text{ meter} = 0.52 \text{ sekon} + \frac{1}{2} \cdot a \cdot (0.52 \text{ sekon})^2$$

$$a = 7.39 \text{ m/sekond}^2$$

Gaya traksi diperoleh sebesar :

$$F_{\text{Traksi}} = F_{\text{Drag}} + m \cdot a$$

$$F_{\text{Traksi}} = 153,125 \text{ N} + 233,53 \text{ Kg} \cdot 7.39 \text{ m/sekond}^2$$

$$F_{\text{Traksi}} = 1878,9 \text{ N}$$

Dari perhitungan diatas didapat nilai gaya traksi sebesar 1878,9 N. Gaya ini merupakan estimasi gaya minimal yang dibutuhkan mesin untuk dapat menjalankan kendaraan. Dalam pengaruhnya terhadap efisiensi kendaraan, upaya yang bisa dilakukan adalah meminimalkan gaya traksi ini. Dengan meminimalkan gaya traksi, maka efisiensi bahan bakar akan semakin bagus.

Dari perhitungan juga dapat diketahui daya minimal yang diperlukan engine untuk bisa mengatasi gaya traksi sebesar :

$$P = F_{\text{Traksi}} \times v$$

$$P = 1878,9 \text{ N} \times 22,22 \text{ m/s}$$

$$P = 41749,158 \text{ N} \cdot \text{m/s}$$

$$P = 41749,158 \text{ watt}$$

Jadi agar bisa mengimbangi gaya traksi maka mesin minimal membutuhkan daya sebesar 41749,158 watt.



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Hasil analisa yang didapat dari simulasi numerik karakteristik aliran 3D dengan konfigurasi uji $Re_L=3.3541 \times 10^6$ melalui segmentasi pemodelan dengan *ground clearance* ($c/l=0,014$) pada simulasi mobil *sapuan angin speed* dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Efek *sidebody* sangat memberikan pengaruh terhadap karakteristik aliran di sekitar *midspan*. Sebagian aliran yg mengalir ke arah *upper side surface* memilih ke arah *sidebody* dari pada ke arah *midspan*. Fenomena ini menyebabkan terjadinya *vortex* separasi 3D yang bermula saat aliran di bawah kendaraan mengalir ke *sidebody* kemudian berinteraksi dengan aliran di *sidebody* yang memiliki perubahan bentuk kontur yang cukup kompleks.
2. *Drag force* yang ditimbulkan pada simulasi tanpa penambahan *porous* lebih besar 1.073 % daripada simulasi dengan penambahan *porous*.
3. Terjadi gaya angkat positif yang diwakili dengan koefisien lift sebesar 0,267541 pada simulasi dengan menggunakan *porous* dan 0.259982 tanpa menggunakan *porous*.
4. Intensitas *vortex* pada daerah *sidebody* lebih besar daripada bagian belakang mobil pada simulasi menggunakan *porous* dan tanpa menggunakan *porous*.
5. Dari perhitungan pada diskusi diperoleh gaya traksi minimal yang dibutuhkan mobil untuk bisa berjalan sebesar 1878,9 N. Untuk mengatasi gaya traksi tersebut engine harus memiliki daya minimal sebesar 41749,158 watt.



5.2 Saran

Beberapa saran yang dapat diberikan setelah melakukan penelitian dan diharapkan berguna untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut :

1. Untuk mendapatkan keakuratan data kuantitatif dan kualitatif dari pemodelan 3D, sangat perlu kerapatan *mesh* yang sangat berkorelasi terhadap *hardware* komputer. Sehingga diperlukan komputer berkualitas baik yang dapat mengakomodasi kepentingan penelitian selanjutnya.
2. Pembuatan model uji harus dibuat sangat presisi dengan sebenarnya agar hasil *post processing*nya sangat akurat.
3. Sebaiknya dilakukan analisa terhadap putaran roda untuk lebih mendekati kondisi nyata.
4. Perlu dilakukan perubahan desain pada *sidepot* karena mengakibatkan adanya *vortex* dengan intensitas yang besar.
5. Ground clearance yang terlalu pendek dan juga tidak streamline mempengaruhi karakteristik aliran pada daerah *lowerside* sehingga terjadi gaya angkat positif. Karena itu perlu dilakukan perubahan desain.
6. Penelitian ini dapat dijadikan acuan untuk penelitian lanjutan dengan metode eksperimental di *wind tunnel*.



DAFTAR PUSTAKA

Institution of Mechanical Engineers. “*Formula Student*. 2013”. Inggris

Society Automotive Engineers. “*Formula Student 2013 Rules*”. 2013. Inggris

Dyke, van. “*An Album of Fluid Motion, 4th edition*”. 1988. California

Barnard, R.H. “*Road Vehicle Aerodynamic Design : An Introduction*”. 1996. UK.

S., McBeath, “*Competition Car Aerodynamics: A Practical Handbook, 2nd ed*”. 2011. Australia

Katz, Joseph. “*Rece Car Aerodynamics : Designing For Speed*”. 1995. Massachusetts.

Hucho, W.H., Janssen, L.J., and Emmelmann, H.J. “*The Optimization of Body Details-A method for Reducting the Aerodynamic Drag of Road Vehicle, SAE Journal, 760185*”. 1975. Germany.

Fukuda, Hitoshi, Yanagimoto, Kazuo, China, Hiroshi, and Nakagawa, Kunio. “*Improvement of Vehicle Aerodynamics by Wake Control, JSAE Review 1,p.p. 151-155*”. 1994. Japan.

Grummy. “*Studi Karakteristik Aliran Pada Kendaraan Jenis Van yang Menggunakan Side Airdams, Tesis Teknik Mesin ITS*”. 2005. Indonesia.



Fox, Robert W, McDonald and Alan T. *“Introduction to Fluid Mechanics 6th edition”*. 2003. USA.

Bao, F. and Dallmann, U.Ch. *“Some phisycal aspects of separation bubble on a rounded backward facing step”*, Science Direct.2003.

Miliken, W. K. and Miliken, D. L. *“Forces on Bodies in The Presence of The Ground”*. 1995.

Choi & Lee. *“Ground Effect of Flow Around An Elliptic Cylinder In A Turbulent Boundary Layer, Journal of Fluid and Structures 14, 697-709”*. 2000. Korea.

Buchheim, R, Deutenbach, K.R., Luckoff, H.J., and Leile, B. *“The Control of Aerodynamic Parameters Infuencing Vehicle Dynamics, SAE Journal, 850279.1986”*. Germany.

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

Nashruddin, Ahmad Haidar. *“Studi Numerik Karakteristik Aliran 3 Dimensi Di Sekitar Bodi Modifikasi Sapuangin Urban Concept Dengan Rasio Ground Clearance Terhadap Panjang Model (C/L) 0.048”*. 2012. ITS Surabaya, Indonesia.

Kurniawan, Andri. *“Studi Numerik Pengaruh Efek Grill Terhadap Karakteristik Aliran 3 Dimensi di Sekitar Model Mobil Listrik EC ITS Dengan Rasio Ground*



Clearance Terhadap Panjang Model (C/L = 0.03)".
2013. ITS Surabaya, Indonesia.

Cañada, Eduardo. "*Aerodynamic Analysis and Optimisation of The Rear Wing of a WRC Car*". 2012. Oxford Brooks University". UK

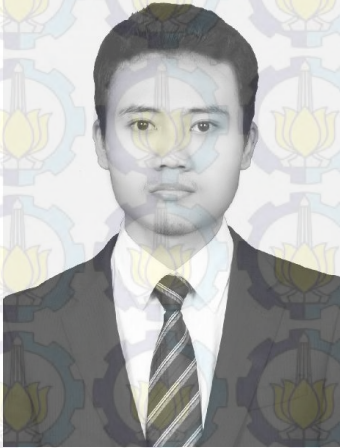
Damjanović, Darko, Kozak, Dražan, Ivandić, Željko, and Kokanović, Mato. "*Car Design As A New Conceptual And CFD Analysis In Purpose Of Improving Aerodynamics*". 2010. Croatia.

Idel'chik, I. E. "*Handbook of Hydraulic Resistance*". 1966. S.Monson. Jerusalem.

Sutantra, I Nyoman. "*Teknologi Otomotif Edisi Kedua*". 2013. ITS Surabaya, Indonesia.



BIOGRAFI PENULIS



Diaul Vikri Yuliyu dilahirkan di Kota Blitar Jawa Timur pada 27 Juli 1991 dan merupakan anak bungsu dari 2 bersaudara. Penulis menempuh pendidikan dari bangku TK sampai SMA di kota Blitar. Setelah lulus dari SMA, penulis kemudian melanjutkan pendidikan di Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS dan terdaftar dengan NRP. 2109100081.

Selama menempuh pendidikan di Teknik Mesin ITS, penulis aktif dalam organisasi Lembaga Bengkel Mahasiswa Mesin dan pernah menjabat sebagai Kepala Divisi Organisasi. Selain itu penulis juga tergabung dalam Tim Sapuaring yang mengikuti kompetisi *Formula Student Japan* pada tahun 2013 yang berhasil memperoleh kategori juara pendatang baru terbaik. Penulis juga tergabung dalam tim Futsal Mesin dan berhasil menjuarai kompetisi Rektor Cup pada tahun 2013 untuk pertama kalinya sepanjang sejarah keikutsertan jurusan.