

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
NASKAH SOAL TUGAS AKHIR	iv
ABSTACT	v
INTISARI	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
DAFTAR NOTASI	xvi
DAFTAR SINGKATAN	xviii
 BAB I. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Asumsi dan Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian	3
 BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	4
 BAB III. LANDASAN TEORI	
3.1. Dasar dan Klasifikasi Aerodinamika	14
3.2. Gaya dan Momen Aerodinamika	15
3.3. Jenis - jenis Aliran Fluida	20
3.3.1. Aliran <i>Inviscid</i> dan <i>Viscous</i>	20
3.3.2. Aliran Tak Mampu Tekan dan Mampu Tekan	26
3.4. Aerodinamika Kendaraan Darat	27
3.5. <i>Computational Fluid Dynamics (CFD)</i>	30
 BAB IV. METODOLOGI PENELITIAN	
4.1. Alat dan Bahan Penelitian	33
4.2. Langkah Penelitian	35



4.2.1.	Tahap Perancangan Rancangan Tiga Dimensi Domain Komputasi	35
4.2.2.	Tahap Diskritisasi (<i>Meshing</i>) Domain Komputasi	46
4.2.3.	Tahap Komputasi Numerik Aliran Eksternal Domain Komputasi	48
 BAB V. HASIL DAN PEMBAHASAN PENELITIAN		
5.1.	Kontur Tekanan Aliran Udara di Sekitar Kendaraan	54
5.2.	Kontur Tekanan Aliran Udara di Permukaan Kendaraan	58
5.3.	Kontur Kecepatan Aliran Udara di Sekitar Kendaraan	62
5.4.	Vektor Kecepatan Aliran Udara di Sekitar Kendaraan	67
5.5.	Koefisien <i>Drag</i> Kendaraan	93
5.6.	Koefisien <i>Lift</i> Kendaraan	96
 BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN		
6.1.	Kesimpulan	100
6.2.	Saran	101
 DAFTAR PUSTAKA		102
 LAMPIRAN		103

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Domain komputasi silinder pendek pada permukaan datar	5
Gambar 2.2.	<i>Particle traces</i> pada silinder jenis 1 dan 2	6
Gambar 2.3.	Vektor kecepatan aliran pada silinder jenis 1 dan 2	7
Gambar 2.4.	Domain komputasi simulasi numerik aliran udara transien dengan menggunakan persamaan <i>Reynold</i>	8
Gambar 2.5.	Vektor kecepatan aliran udara yang menunjukkan karakteristik perubahan pemisahan aliran terhadap waktu yang terjadi diantara dua roda belakang dan bentuk <i>difuser</i> bagian belakang sisi bawah kendaraan <i>Volvo</i>	9
Gambar 2.6.	<i>Pathline</i> aliran udara pada keseluruhan permukaan bodi bus	10
Gambar 2.7.	Detail posisi dari terbentuknya <i>PBL</i>	10
Gambar 2.8.	Detail posisi dari terbentuknya <i>NBL</i>	11
Gambar 2.9.	Olakan aliran udara pada bagian belakang bus	11
Gambar 2.10.	Model kendaraan Ahmed; (a) gambar dua dimensi dan tiga dimensi model, dan (b) <i>display grid generation</i> domain komputasi model kendaraan	12
Gambar 2.11.	Salah satu hasil simulasi numerik; (a) kontur tekanan di sekitar kendaraan Ahmed pada bidang dua dimensi, (b) Vektor anak panah olakan aliran udara dari empat tipe kemiringan bagian belakang kendaraan dan (c) <i>Pathline</i> olakan aliran udara di daerah belakang kendaraan	13
Gambar 3.1.	Ilustrasi arah kecepatan aliran dan <i>streamline</i>	15
Gambar 3.2.	Ilustrasi dari tekanan dan tegangan geser pada permukaan <i>airfoil</i>	16
Gambar 3.3.	Gaya resultan dan momen aerodinamika pada bodi <i>airfoil</i>	16
Gambar 3.4.	Komponen – komponen gaya aerodinamika	16
Gambar 3.5.	Distribusi tekanan dan tegangan geser yang terjadi pada permukaan dua dimensi suatu <i>airfoil</i>	18
Gambar 3.6.	Gaya aerodinamika pada sebuah elemen permukaan <i>airfoil</i>	18
Gambar 3.7.	Ilustrasi dari arah momen aerodinamika pada suatu <i>airfoil</i>	20
Gambar 3.8.	Pembagian wilayah aliran fluida	21
Gambar 3.9.	Efek dari viskositas fluida bergerak pada suatu bodi; tegangan geser dan pemisahan aliran	21
Gambar 3.10.	Pemisahan aliran yang disebabkan oleh <i>adverse pressure gradient</i>	24
Gambar 3.11.	<i>Pathline</i> aliran laminar dan turbulen	25
Gambar 3.12.	Distribusi profil aliran pada suatu plat datar	25
Gambar 3.13.	Pola aliran pada bagian luar roda yang berputar di suatu	30

	permukaan	
Gambar 3.14.	Contoh dari <i>grid generation</i> suatu permukaan luar bodi kendaraan pada langkah <i>preprocessing</i>	31
Gambar 4.1.	Komputer unit pertama <i>notebook</i> untuk perancangan tiga dimensi	34
Gambar 4.2.	Komputer unit kedua personal komputer untuk simulasi numerik	34
Gambar 4.3.	Perangkat lunak perancangan tiga dimensi <i>Autodesk Inventor Professional 2011</i>	34
Gambar 4.4.	Perangkat lunak <i>meshing</i> geometri domain komputasi <i>Gambit</i> versi 2.2.30	35
Gambar 4.5.	Perangkat lunak simulasi numerik <i>Fluent</i> versi 6.3.26	35
Gambar 4.6.	Sketsa ilustrasi rancangan domain komputasi	36
Gambar 4.7.	Ukuran tinggi, lebar, dan panjang kendaraan	37
Gambar 4.8.	Rancangan tiga dimensi terowongan angin virtual	39
Gambar 4.9.	Rancangan tiga dimensi kondisi roda kendaraan <i>prototype</i> tipe I dan II	40
Gambar 4.10.	Rancangan tiga dimensi bentuk sistem kaki kendaraan <i>prototype</i> tipe I dan II	41
Gambar 4.11.	Rancangan tiga dimensi kondisi sistem pengereman kendaraan <i>prototype</i> tipe I dan II	42
Gambar 4.12.	Rancangan tiga dimensi bentuk bagian depan bodi kendaraan <i>prototype</i> tipe I dan II	43
Gambar 4.13.	Rancangan tiga dimensi kendaraan <i>prototype</i> tipe I dan II	44
Gambar 4.14.	Rancangan domain komputasi kendaraan <i>prototype</i> tipe I dan II	45
Gambar 4.15.	Geometri volume domain komputasi yang telah saling terhubung	46
Gambar 4.16.	Geometri volume domain komputasi yang telah <i>dimesh</i>	47
Gambar 4.17.	<i>Display Grid</i> domain komputasi	49
Gambar 4.18.	<i>Display grid</i> model kendaraan <i>prototype</i>	49
Gambar 4.19.	<i>Display grid</i> model kendaraan <i>prototype</i> dalam terowongan angin virtual	49
Gambar 5.1.	Kontur tekanan statik di sekitar kendaraan <i>prototype</i> pada bidang y-z dengan kecepatan 20 km/jam; (a) tipe I dan (b) tipe II	55
Gambar 5.2.	Kontur tekanan statik di sekitar kendaraan <i>prototype</i> pada bidang y-z dengan kecepatan 50 km/jam; (a) tipe I dan (b) tipe II	56
Gambar 5.3.	Kontur tekanan statik di sekitar kendaraan <i>prototype</i> pada bidang y-z dengan kecepatan 80 km/jam; (a) tipe I dan (b) tipe II	57
Gambar 5.4.	Kontur tekanan statik di permukaan depan kendaraan <i>prototype</i> pada kecepatan 20 km/jam; (a) Tipe I, dan (b) Tipe II	60

Gambar 5.5.	Kontur tekanan statik di permukaan depan kendaraan <i>prototype</i> pada kecepatan 50 km/jam; (a) Tipe I, dan (b) Tipe II	61
Gambar 5.6.	Kontur tekanan statik di permukaan depan kendaraan <i>prototype</i> pada kecepatan 80 km/jam; (a) Tipe I, dan (b) Tipe II	62
Gambar 5.7.	Kontur kecepatan di sekitar kendaraan <i>prototype</i> pada bidang y-z dengan kecepatan 20 km/jam; (a) Tipe I, dan (b) Tipe II	64
Gambar 5.8.	Kontur kecepatan di sekitar kendaraan <i>prototype</i> pada bidang y-z dengan kecepatan 50 km/jam; (a) Tipe I, dan (b) Tipe II	65
Gambar 5.9.	Kontur kecepatan di sekitar kendaraan <i>prototype</i> pada bidang y-z dengan kecepatan 80 km/jam; (a) Tipe I, dan (b) Tipe II	66
Gambar 5.10.	Vektor kecepatan di sekitar kendaraan <i>prototype</i> pada bidang y-z dengan kecepatan 20 km/jam; (a) Tipe I, dan (b) Tipe II	68
Gambar 5.11.	Vektor kecepatan di sekitar kendaraan <i>prototype</i> pada bidang y-z dengan kecepatan 50 km/jam; (a) Tipe I, dan (b) Tipe II	69
Gambar 5.12.	Vektor kecepatan di sekitar kendaraan <i>prototype</i> pada bidang y-z dengan kecepatan 80 km/jam; (a) Tipe I, dan (b) Tipe II	70
Gambar 5.13.	Vektor kecepatan di sekitar bagian depan kendaraan <i>prototype</i> pada bidang y-z dengan kecepatan 20 km/jam; (a) Tipe I, dan (b) Tipe II	72
Gambar 5.14.	Vektor kecepatan di sekitar bagian depan kendaraan <i>prototype</i> pada bidang y-z dengan kecepatan 50 km/jam; (a) Tipe I, dan (b) Tipe II	73
Gambar 5.15.	Vektor kecepatan di sekitar bagian depan kendaraan <i>prototype</i> pada bidang y-z dengan kecepatan 80 km/jam; (a) Tipe I, dan (b) Tipe II	74
Gambar 5.16.	Vektor kecepatan di sekitar bagian belakang kendaraan <i>prototype</i> pada bidang y-z dengan kecepatan 20 km/jam; (a) Tipe I, dan (b) Tipe II	76
Gambar 5.17.	Vektor kecepatan di sekitar bagian belakang kendaraan <i>prototype</i> pada bidang y-z dengan kecepatan 50 km/jam; (a) Tipe I, dan (b) Tipe II	77
Gambar 5.18.	Vektor kecepatan di sekitar bagian belakang kendaraan <i>prototype</i> pada bidang y-z dengan kecepatan 80 km/jam; (a) Tipe I, dan (b) Tipe II	78
Gambar 5.19.	Vektor kecepatan di sekitar ban depan bagian kiri kendaraan <i>prototype</i> pada bidang y-z dengan kecepatan 20 km/jam; (a) Tipe I, dan (b) Tipe II	80



Gambar 5.20.	Vektor kecepatan di sekitar ban depan bagian kiri kendaraan <i>prototype</i> pada bidang y-z dengan kecepatan 50 km/jam; (a) Tipe I, dan (b) Tipe II	81
Gambar 5.21.	Vektor kecepatan di sekitar ban depan bagian kiri kendaraan <i>prototype</i> pada bidang y-z dengan kecepatan 80 km/jam; (a) Tipe I, dan (b) Tipe II	82
Gambar 5.22.	Vektor kecepatan di permukaan ban depan bagian kiri kendaraan <i>prototype</i> pada kecepatan 20 km/jam; (a) Tipe I, dan (b) Tipe II	83
Gambar 5.23.	Vektor kecepatan di permukaan ban depan bagian kiri kendaraan <i>prototype</i> pada kecepatan 50 km/jam; (a) Tipe I, dan (b) Tipe II	84
Gambar 5.24.	Vektor kecepatan di permukaan ban depan bagian kiri kendaraan <i>prototype</i> pada kecepatan 80 km/jam; (a) Tipe I, dan (b) Tipe II	85
Gambar 5.25.	Vektor kecepatan di sekitar ban depan bagian kiri kendaraan <i>prototype</i> pada bidang x-z dengan kecepatan 20 km/jam; (a) Tipe I, (b) Tipe II	87
Gambar 5.26.	Vektor kecepatan di sekitar ban depan bagian kiri kendaraan <i>prototype</i> pada bidang x-z dengan kecepatan 50 km/jam; (a) Tipe I, (b) Tipe II	88
Gambar 5.27.	Vektor kecepatan di sekitar ban depan bagian kiri kendaraan <i>prototype</i> pada bidang x-z dengan kecepatan 80 km/jam; (a) Tipe I, (b) Tipe II	89
Gambar 5.28.	Vektor kecepatan di sekitar sistem kaki bagian kiri kendaraan <i>prototype</i> pada bidang x-z dengan kecepatan 20 km/jam; (a) Tipe I, dan (b) Tipe II	90
Gambar 5.29.	Vektor kecepatan di sekitar sistem kaki bagian kiri kendaraan <i>prototype</i> pada bidang x-z dengan kecepatan 50 km/jam; (a) Tipe I, dan (b) Tipe II	91
Gambar 5.30.	Vektor kecepatan di sekitar sistem kaki bagian kiri kendaraan <i>prototype</i> pada bidang x-z dengan kecepatan 80 km/jam; (a) Tipe I, dan (b) Tipe II	92
Gambar 5.31.	Grafik hubungan antara koefisien <i>drag</i> dengan kecepatan	96
Gambar 5.32.	Grafik hubungan antara koefisien <i>lift</i> dengan kecepatan	99

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Data variasi koefisien <i>drag</i> dari model kendaraan Volvo pada beberapa percobaan	8
Tabel 2.2.	Data koefisien <i>drag</i> dari kendaraan Ahmed pada beberapa penelitian yang berbeda	12
Tabel 3.1.	Kenaikan koefisien drag dan lift yang disebabkan oleh penambahan roda pada suatu kendaraan	29
Tabel 3.2.	Koefisien <i>drag</i> dan <i>lift</i> pada roda berputar dan tidak berputar di suatu permukaan	30
Tabel 3.3.	Tiga langkah dasar simulasi numerik dengan menggunakan metode <i>CFD</i>	31
Tabel 4.1.	Perbedaan spesifikasi rancangan tiga dari dua kendaraan <i>prototype</i>	39
Tabel 5.1.	Rincian data koefisien <i>drag</i> kendaraan <i>prototype</i> pada kecepatan 20 km/jam; (a) Tipe I, dan (b) Tipe II	94
Tabel 5.2.	Rincian data koefisien <i>drag</i> kendaraan <i>prototype</i> pada kecepatan 50 km/jam; (a) Tipe I, dan (b) Tipe II	94
Tabel 5.3.	Rincian data koefisien <i>drag</i> kendaraan <i>prototype</i> pada kecepatan 80 km/jam; (a) Tipe I, dan (b) Tipe II	95
Tabel 5.4.	Koefisien <i>drag</i> kendaraan <i>prototype</i> pada kecepatan aliran udara yang berbeda	95
Tabel 5.5.	Rincian data koefisien <i>lift</i> kendaraan <i>prototype</i> pada kecepatan 20 km/jam; (a) Tipe I, dan (b) Tipe II	97
Tabel 5.6.	Rincian data koefisien <i>lift</i> kendaraan <i>prototype</i> pada kecepatan 50 km/jam; (a) Tipe I, dan (b) Tipe II	97
Tabel 5.7.	Rincian data koefisien <i>lift</i> kendaraan <i>prototype</i> pada kecepatan 80 km/jam; (a) Tipe I, dan (b) Tipe II	98
Tabel 5.8.	Koefisien <i>lift</i> kendaraan <i>prototype</i> pada kecepatan aliran udara yang berbeda	98



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Diagram alir proses simulasi numerik dengan menggunakan metode <i>CFD</i>	103
Lampiran 2	Detail rancangan tiga dimensi kendaraan <i>prototype Semar 2011</i> (isometris)	104
Lampiran 3	Detail rancangan tiga dimensi kendaraan <i>prototype Semar 2011</i> (pandangan depan)	104
Lampiran 4	Detail rancangan tiga dimensi kendaraan <i>prototype Semar 2011</i> (pandangan samping kiri)	105
Lampiran 5	Detail rancangan tiga dimensi kendaraan <i>prototype Semar 2011</i> (pandangan atas)	105
Lampiran 6	Foto proses manufaktur bodi kendaraan <i>prototype Semar 2011</i>	106
Lampiran 7	Foto kendaraan <i>prototype Semar 2011</i>	106

DAFTAR NOTASI

A_s	=	Luas Permukaan
A	=	Gaya aksial
a	=	Kecepatan suara
A_p	=	Proyeksi luas permukaan bagian depan
c	=	Garis tengah
C	=	Konstanta karakteristik <i>reflecting loss</i> dan elastisitas bahan roda
C_d	=	Koefisien <i>Drag</i>
C_l	=	Koefisien <i>Lift</i>
C_R	=	Koefisien gaya resultan
D	=	Gaya <i>Drag</i>
D_f	=	<i>Frictional drag</i>
d_o	=	Diameter luar roda
D_p	=	<i>Pressure drag</i>
F	=	Gaya
f_r	=	Koefisien hambatan putaran roda
h	=	Tinggi roda
k	=	Konduktifitas fluida
KE	=	Energi kinetik
L	=	Gaya <i>lift</i>
m	=	Massa
M	=	Bilangan <i>Mach</i>
N	=	Gaya normal
p	=	Tekanan
p_1	=	Tekanan pada titik 1
p_2	=	Tekanan pada titik 2
p_3	=	Tekanan pada titik 3
p_l	=	Tekanan bagian bawah
p_o	=	Tekanan stagnasi/total
P_{RL}	=	<i>road load power</i>
p_u	=	Tekanan bagian atas
q	=	Tekanan dinamik
R	=	Gaya resultan



R	=	Konstanta gas
r	=	Jari - jari
Re	=	Bilangan <i>Reynolds</i>
RL	=	<i>road load</i>
R_t	=	Hambatan putaran roda
s	=	Panjang permukaan dua dimensi
s_1	=	Titik pertama pada permukaan s
s_2	=	Titik kedua pada permukaan s
s_3	=	Titik ketiga pada permukaan s
s_l	=	Panjang permukaan bagian bawah
s_u	=	Panjang permukaan bagian atas
T	=	Suhu
v	=	Volume spesifik
V_1	=	Kecepatan rata - rata pada titik 1
V_2	=	Kecepatan rata - rata pada titik 2
V_3	=	Kecepatan rata - rata pada titik 3
V_∞	=	Kecepatan <i>Freestream</i>
W	=	Berat
B	=	Lebar roda
x_{cr}	=	Jarak titik transisi dari <i>leading edge</i>
α	=	Sudut serang
ρ	=	Kerapatan fluida
τ	=	Tegangan geser
τ_l	=	Tegangan geser bagian bawah
τ_u	=	Tegangan geser bagian atas
ω	=	Kecepatan sudut



DAFTAR SINGKATAN

ASMO	=	<i>Aerodynamishes Studien Modell</i>
BFL	=	<i>Positive Bifurcation Lines</i>
CAD	=	<i>Computer Aided Design</i>
CFD	=	<i>Computational Fluid Dynamic</i>
DDR	=	<i>Double Data Rate</i>
LE	=	<i>Leading edge</i>
LES	=	<i>Large Eddy Simulation</i>
NBL	=	<i>Negative Bifurcation Lines</i>
RAM	=	<i>Random Access Memory</i>
SAE	=	<i>Society of Automotive Engineers</i>
TE	=	<i>Trailing Edge</i>
UGM	=	Universitas Gadjah Mada