

ABSTRAK

Firdanuh Santoso:

Perancangan Mobil Mini

Penganalisaan Aerodinamika Bodi

Dalam tugas akhir ini akan dirancang aerodinamika sebuah mobil mini jenis *coupe*. Langkah kerja yang dilakukan adalah studi literatur yang berkaitan dengan aerodinamika kendaraan darat, merancang kontur bodi mobil, dan kemudian melakukan pengujian terhadap model dengan skala 1 : 16 dalam terowongan angin.

Hasil pengujian dalam terowongan angin didapat $c_D = 0.29$, $c_L = 0.05 \sim 0.17$, $c_S = 0.49$.

Kata kunci:

Aerodinamika Mobil Mini, Langkah kerja, Pengujian Terowongan Angin

ABSTRACT

Firdanuh Santoso:

Small Automobile Design

Body Aerodynamics Analysis

This final project is to design the aerodynamics of a “coupe” small automobile. Procedures used are : literature study on the aerodynamics of ground vehicle, design the body contour of the automobile, and then test the 1 to 16 model in a *wind tunnel*.

The results from this aerodynamics test are : $c_D = 0.29$, $c_L = 0.05 \sim 0.17$, $c_S = 0.49$.

Key words:

Small Automobile Aerodynamics, Procedures, Wind Tunnel Test

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
DATA SKRIPSI	iii
KATA PENGANTAR	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	vi
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
1. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan dan Manfaat	2
1.3 Pembatasan Masalah	2
1.4 Metodologi Penelitian	3
1.5 Sistematika Penulisan	4
2. TEORI DASAR	
2.1 Dasar Mekanika Fluida	6
2.1.1 Viskositas	6
2.1.2 Persamaan Kontinuitas (<i>Continuity Equation</i>)	7
2.1.3 Persamaan Momentum (<i>Momentum Equation</i>)	7
2.1.4 Persamaan Bernoulli (<i>Bernoulli Equation</i>)	8
2.1.5 <i>Boundary Layer</i>	8
2.1.5.1 Pengembangan dari <i>Boundary Layer</i>	9
2.1.5.2 Separasi	11
2.1.5.3 Hubungan Angka Reynold dengan Koefisien <i>Drag</i>	12
2.2 Aerodinamika	14
2.2.1 Aerodinamika Otomotif	16
2.2.2 Pola Aliran Sekitar Kendaraan	18
2.3 Gaya Aerodinamik	19
2.3.1 Gaya Hambat Aerodinamik (<i>Drag Force</i>)	21
2.3.2 Gaya Angkat Aerodinamik (<i>Lift Force</i>)	24
2.3.3 Gaya Samping Aerodinamik (<i>Side Force</i>)	26

2.4 Analisis Dimensional (<i>Buckingham Pi Theorem</i>)	28
2.5 Perancangan Bentuk	31
2.5.1 Pengaruh Bentuk Belakang terhadap Koefisien <i>Drag</i>	37
2.5.1.1 Bentuk Belakang Ditinjau dari Segi Pola Aliran	37
2.5.1.2 Bentuk Belakang Ditinjau dari Tampak Atas	42
2.5.1.3 Bentuk Belakang Ditinjau dari Ukuran Panjang	43
2.5.1.4 Bentuk Belakang Ditinjau dari Difuser	43
2.5.2 Pengaruh Bentuk Depan terhadap Koefisien <i>Drag</i> dan <i>Lift</i>	44
2.5.3 Pengaruh Sudut Kap dan Kaca Depan terhadap Koefisien <i>Drag</i>	48
2.5.4 Pengaruh Pilar-A dan Pilar-C terhadap Koefisien <i>Drag</i>	50
2.5.5 Pengaruh Kecembungan Atap terhadap Koefisien <i>Drag</i>	51
2.5.6 Pengaruh Kecembungan Bagian Samping terhadap Koefisien <i>Drag</i>	52
2.5.7 Pengaruh Kedalaman Celah terhadap Koefisien <i>Drag</i>	53
2.5.8 Pengaruh Kekasaran Permukaan Bawah terhadap Koefisien <i>Drag</i>	53
2.5.9 Dampak Posisi Roda Kendaraan terhadap Koefisien <i>Drag</i> dan <i>Lift</i>	54
2.5.10 Pengaruh <i>Slope</i> Difuser terhadap Koefisien <i>Lift</i>	56
2.5.11 Pengaruh <i>Slope</i> Bagian Belakang terhadap Koefisien <i>Lift</i>	56
2.6 Jenis-jenis <i>Wind Tunnel</i>	57
2.6.1 <i>Wind Tunnel Balance</i>	60
2.6.2 <i>Air Speed Manometer</i>	60
2.6.3 Pitot Tube	61
2.7 Parameter-parameter Pengujian	62
2.7.1 Syarat dan Kondisi Pengujian	63
2.7.2 <i>Blokage Ratio</i>	65
2.8 Dinamika Kendaraan Belok pada Jalan Datar	67
2.8.1 Kinematika Kendaraan Belok	67
2.8.2 Analisa Skid	71
 3. PERANCANGAN KONTUR BODI	
3.1 Posisi Duduk Pengemudi dan Penumpang	74
3.2 Posisi Mesin	76
3.3 Dimensi Kendaraan	77
3.4 Modifikasi Bagian Belakang	78
3.5 Pola Aliran Bagian Belakang	78
3.6 Difuser	79
3.7 Bagian Ujung Depan	80
3.8 Sudut Kap dan Kemiringan Kaca	81
3.9 Konveksitas Atap	82
3.10 Posisi Pintu	83

3.11 Posisi Kaca Samping	83
3.12 Posisi Roda	84
3.13 Kedalaman Posisi Kaca Samping	84
3.14 Pilar-A dan Pilar-C	85
3.15 Konveksitas Bodi Samping	86
3.16 <i>Boat Tailing</i>	86
 4. RANCANGAN PENGUJIAN	
4.1 Model Uji	88
4.2 Penggunaan <i>Wind Tunnel</i> untuk Pengujian	90
4.3 Variabel Pengujian	91
4.4 Prosedur Pengujian	93
 5. PENGOLAHAN DAN ANALISA DATA	
5.1 Pengolahan Data	98
5.1.1 Hasil Pengujian Model	98
5.1.1.1 Perhitungan Koefisien <i>Drag</i>	101
5.1.1.2 Perhitungan Koefisien <i>Lift</i>	102
5.1.1.3 Perhitungan Koefisien <i>Side</i>	104
5.1.2 Perhitungan Gaya Skala Penuh	106
5.1.2.1 <i>Drag Force</i> Skala Penuh	106
5.1.2.2 <i>Lift Force</i> Skala Penuh	107
5.1.2.3 <i>Side Force</i> Skala Penuh	107
5.1.3 Perhitungan Gaya Skid	108
5.2 Analisa Data	113
5.2.1 Hubungan <i>Drag Force</i> dengan Kecepatan Hasil Pengujian	113
5.2.2 Hubungan <i>Lift Force</i> dengan Kecepatan Hasil Pengujian	114
5.2.3 Hubungan <i>Side Force</i> dengan Kecepatan Hasil Pengujian	115
5.2.4 Hubungan Koefisien <i>Drag</i> dengan Kecepatan	116
5.2.5 Hubungan Koefisien <i>Lift</i> dengan Kecepatan	117
5.2.6 Hubungan Koefisien <i>Side</i> dengan Kecepatan	118
5.2.7 Hubungan <i>Drag Force</i> Skala Penuh dengan Kecepatan	119
5.2.8 Hubungan <i>Lift Force</i> Skala Penuh dengan Kecepatan	120
5.2.9 Hubungan <i>Side Force</i> Skala Penuh dengan Kecepatan	121
5.2.10 Hubungan Radius Belok dengan Kecepatan Maksimal Skid	122
 6. KESIMPULAN DAN SARAN	
6.1 Spesifikasi Mobil Mini Secara Umum	124
6.2 Rancangan Performa Aerodinamika Mobil Mini	125
6.3 Saran	129
 DAFTAR REFERENSI	130
LAMPIRAN	131

DAFTAR GAMBAR

2.1 <i>Boundary layer</i>	9
2.2 <i>Boundary layer</i> di sepanjang sebuah plat tipis datar	10
2.3 Aliran turbulen pada <i>boundary layer</i>	11
2.4 Separasi aliran dari <i>boundary layer</i> pada permukaan	11
2.5 Hubungan c_D dan Re pada plat datar, silinder tegak lurus aliran, bola	12
2.6 Hubungan c_D dan Re pada silinder tegak lurus aliran, bola	13
2.7 Efek turbulen pada <i>boundary layer</i>	14
2.8 Aliran udara di sekitar kendaraan	18
2.9 Pola aliran sekitar kendaraan	19
2.10 Vektor gaya pembentuk gaya aerodinamik	20
2.11 Gaya dan momen aerodinamik	21
2.12 <i>Induced drag</i>	23
2.13 Pengaruh <i>yaw angle</i> terhadap koefisien <i>drag</i> dan <i>yawing moment</i>	24
2.14 Perbedaan pola aliran pada profil sayap	24
2.15 Pola aliran dengan besar tekanan, skematik	25
2.16 Daerah frontal	27
2.17 <i>Enveloping box</i>	32
2.18 Aliran melalui permukaan mobil dalam <i>wind tunnel</i> dari bentuk primitif sampai dengan bentuk akhir	32
2.19 Tahap perancangan sebuah bentuk baru	33
2.20 Rute alternatif untuk menyusun mobil rendah <i>drag</i> aerodinamik	33
2.21 Poin-poin pengoptimalan bentuk pada VW Scirocco I	34
2.22 Penurunan nilai <i>drag</i> pada mobil VW Scirocco I	34

2.23 Perbedaan ujung tepi siku dan bulat	35
2.24 Pengaruh besarnya radius pada ujung tepi mobil	36
2.25 Beberapa bagian kendaraan yang dapat menurunkan koefisien <i>drag</i>	36
2.26 Aliran angin melalui permukaan mobil, depan belakang serta detil, skematik	37
2.27 Pola aliran pada bentuk belakang yang berbeda-beda, skematik	37
2.28 Macam bentuk belakang : (a) <i>Squareback</i> ; (b) & (c) <i>Fastback</i> ; (d) <i>Notchback</i>	38
2.29 Macam pola aliran pada bagian belakang mobil	38
2.30 Vektor kecepatan untuk pola aliran <i>notchback</i>	39
2.31 Vektor kecepatan untuk pola aliran <i>fastback</i>	39
2.32 Vektor kecepatan untuk pola aliran <i>squareback</i>	40
2.33 Hubungan antara <i>slope</i> (sudut kemiringan) bagian belakang dengan <i>drag</i>	40
2.34 Hubungan antara <i>slope</i> bagian belakang dengan <i>drag</i> dan <i>lift</i>	41
2.35 Hubungan antara <i>slope</i> dengan panjang pada bagian belakang	41
2.36 Hubungan bentuk bagian belakang dengan <i>drag</i>	42
2.37 Beberapa alternatif dimensi bagian belakang berhubungan dengan <i>drag</i>	43
2.38 Pengaruh panjang terhadap penurunan <i>drag</i>	43
2.39 Pengaruh ukuran difuser dengan koefisien <i>drag</i>	44
2.40 Penurunan <i>drag</i> terhadap bentuk bagian depan	44
2.41 Pengurangan <i>drag</i> dengan perubahan kecil pada detil bagian mobil	45
2.42 Beberapa modifikasi bentuk depan yang ideal	46
2.43 Optimalisasi detil bentuk depan kendaraan Audi 100 II, model tahun 1975	46

2.44 Optimalisasi bentuk depan VW Passat, model tahun 1978	47
2.45 Aliran sekitar bodi depan VW Passat; kiri : model tahun 1977, kanan : model tahun 1978	47
2.46 Optimalisasi bentuk depan dengan mengatur posisi <i>grill</i>	47
2.47 Pengaruh titik stagnasi terhadap <i>drag</i>	48
2.48 Pengaruh sudut kemiringan kap dan kemiringan kaca depan	48
2.49 Dampak kemiringan kaca depan terhadap <i>drag</i>	49
2.50 Audi 100, skematik	50
2.51 Alternatif bentuk rendah <i>drag</i>	50
2.52 Pengaruh radius pada pilar-A dan pilar-C terhadap koefisien <i>drag</i>	51
2.53 Pengaruh konveksitas (kecembungan) atap terhadap koefisien <i>drag</i>	51
2.54 Pengaruh konveksitas sisi samping kendaraan terhadap koefisien <i>drag</i>	52
2.55 Pengaruh kedalaman peletakan kaca samping terhadap koefisien <i>drag</i>	53
2.56 Bagian bawah mobil	53
2.57 Daerah frontal roda, skematik	54
2.58 Alternatif posisi peletakan roda	55
2.59 Pengaruh posisi peletakan roda terhadap koefisien <i>drag</i> dan <i>lift</i>	55
2.60 Pengaruh bentuk difuser terhadap koefisien <i>lift</i>	56
2.61 Pengaruh <i>slope</i> terhadap koefisien <i>lift</i>	56
2.62 <i>Open circuit tunnel</i>	57
2.63 <i>Close circuit tunnel</i>	58
2.64 <i>Wind tunnel balance</i>	59
2.65 Penampang <i>wind tunnel</i> , skematik	60
2.66 Faktor-faktor yang tidak dianalisa	64

2.67 Obyek penelitian aerodinamika kendaraan	64
2.68 <i>Model blokage</i> pada <i>yaw angle</i> 0°	66
2.69 <i>Model blokage</i> pada <i>yaw angle</i> 10°	66
2.70 Kinematika kendaraan belok, skematik	67
2.71 Kondisi nyata kendaraan belok	69
2.72 Kondisi kendaraan belok	70
2.73 Gaya dan momen pada kendaraan belok	70
3.1 Bentuk dasar mobil mini, perbandingan l/h=2.93	74
3.2 Perbedaan posisi duduk pengemudi	74
3.3 Posisi duduk nyaman, skematik	75
3.4 Posisi duduk pengemudi (kanan) dan penumpang (kiri), skematik	76
3.5 Posisi mesin rancangan mobil mini	76
3.6 Dimensi interior mobil mini	77
3.7 Posisi tempat duduk pengemudi, penumpang dan mesin mobil mini	77
3.8 Pemendekan bodi bagian belakang mobil mini (A) bentuk awal, (B) bentuk akhir	78
3.9 Bentuk belakang mobil mini	79
3.10 Ukuran difuser mobil mini	80
3.11 Bentuk depan mobil mini	81
3.12 Posisi kap dan kaca depan	82
3.13 Konveksitas atap	82
3.14 Posisi pintu	83
3.15 Posisi kaca samping dan arah gerak penurunan kaca samping depan	84
3.16 Posisi roda	84
3.17 Kedalaman kaca samping	85

3.18 Modifikasi pilar-A dan pilar-C	86
3.19 Konveksitas bodi samping	86
3.20 <i>Boat tailing</i>	87
4.1 Bentuk akhir mobil mini ukuran sebenarnya	88
4.2 Bentuk akhir mobil mini ukuran model	90
4.3 <i>Subsonic, Open Circuit Wind tunnel</i>	91
4.4 Alat bantu pencari CG (<i>centre of gravity</i>)	95
4.5 Prosedur pencarian CG	95
4.6 Letak benda uji pada <i>subsonic wind tunnel</i> pada pengujian <i>drag force</i> dan <i>side force</i>	96
4.7 Letak benda uji pada <i>subsonic wind tunnel</i> pada pengujian <i>lift force</i>	97
5.1 Posisi titik berat mesin dan transmisi	108
5.2 Titik berat dan <i>wheel base</i> mobil mini skala penuh	109
5.3 Grafik <i>drag force</i> model hasil pengujian	113
5.4 Grafik <i>lift force</i> model hasil pengujian	114
5.5 Grafik <i>side force</i> model hasil pengujian	115
5.6 Grafik koefisien <i>drag</i> hasil perhitungan	116
5.7 Perbedaan kondisi angka Reynold terhadap koefisien <i>drag</i> antara kondisi <i>wind tunnel</i> dan nyata	117
5.8 Grafik koefisien <i>lift</i> hasil perhitungan	117
5.9 Grafik koefisien <i>side</i> hasil perhitungan	119
5.10 Grafik <i>drag force</i> fungsi kecepatan pada skala penuh	120
5.11 Grafik <i>lift force</i> fungsi kecepatan pada skala penuh	121
5.12 Grafik <i>side force</i> fungsi kecepatan pada skala penuh	122
5.13 Grafik kecepatan maksimal saat akan skid terhadap radius belok	123

6.1 Mobil mini	125
6.2 Grafik gaya fungsi kecepatan saat <i>yaw angle</i> 0°	125
6.3 Grafik gaya fungsi kecepatan saat <i>yaw angle</i> 5°	126
6.4 Grafik gaya fungsi kecepatan saat <i>yaw angle</i> 10°	126
6.5 Grafik gaya fungsi kecepatan saat <i>yaw angle</i> 15°	127
6.6 Grafik gaya fungsi kecepatan saat <i>yaw angle</i> 20°	127
6.7 Grafik gaya fungsi kecepatan saat <i>yaw angle</i> 25°	128
6.8 Grafik gaya fungsi kecepatan saat <i>yaw angle</i> 30°	128

DAFTAR TABEL

5.1 Data <i>drag force</i> hasil pengujian model	101
5.2 Koefisien <i>drag</i> hasil perhitungan	102
5.3 Data <i>lift force</i> hasil pengujian model	103
5.4 Koefisien <i>lift</i> hasil perhitungan	103
5.5 Data <i>side force</i> hasil pengujian model	104
5.6 Koefisien <i>side</i> hasil perhitungan	105
5.7 <i>Drag force</i> hasil perhitungan pada skala penuh	107
5.8 <i>Lift force</i> hasil perhitungan pada skala penuh	107
5.9 <i>Side force</i> hasil perhitungan pada skala penuh	108
5.10 Perhitungan titik berat mesin dan transmisi	110
5.11 Perhitungan titik berat mobil mini skala penuh	110
5.12 Data perhitungan kecepatan maksimal saat skid	112

DAFTAR LAMPIRAN

1. Kecepatan aliran udara dalam <i>wind tunnel</i>	131
2. Spesifikasi mobil secara umum	132
3. Viskositas kinematik	133
4. Daftar referensi koefisien <i>drag</i> dan daerah frontal	134
5. Viskositas absolut	135
6. Data mentah hasil pengujian	136
7. Koefisien adhesi ban dengan permukaan	137