

## 5. ANALISA DRAG, SIDE DAN LIFT FORCE

### 5.1 Pengolahan Data

#### 5.1.1 Hasil Pengujian Model

Data mentah hasil pengujian *drag*, *lift* dan *side force* model dapat dilihat pada lampiran 6.

Untuk mencari nilai koefisien *drag* digunakan rumus 2.18.

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

$$F_{D_{FS}} = c_D \cdot \frac{\rho_{FS}}{2} \cdot A_{f_{FS}} \cdot V_{FS}^2$$

substitusikan ke dalam rumus 2.29, maka

$$\left( \frac{F}{A_f \cdot V^2 \cdot \rho} \right)_{MODEL} = \left( \frac{F}{A_f \cdot V^2 \cdot \rho} \right)_{FULL-SCALE}$$

$$\frac{F_{D_M}}{A_{f_M} \cdot V_M^2 \cdot \rho_M} = \frac{F_{D_{FS}}}{A_{f_{FS}} \cdot V_{FS}^2 \cdot \rho_{FS}}$$

$$\frac{F_{D_M}}{A_{f_M} \cdot V_M^2 \cdot \rho_M} = \frac{c_D \cdot \rho_{FS} \cdot A_{f_{FS}} \cdot V_{FS}^2}{2 \cdot A_{f_{FS}} \cdot V_{FS}^2 \cdot \rho_{FS}}$$

$$c_D = \frac{2 \cdot F_{D_M}}{A_{f_M} \cdot V_M^2 \cdot \rho_M} \tag{5.1}$$

Untuk mencari nilai koefisien *lift* digunakan rumus 2.20.

$$F_L = c_L \cdot \frac{\rho}{2} \cdot A_f \cdot V^2$$

$$F_{L_{FS}} = c_L \cdot \frac{\rho_{FS}}{2} \cdot A_{f_{FS}} \cdot V_{FS}^2$$

substitusikan ke dalam rumus 2.29, maka

$$\left( \frac{F}{A_f \cdot V^2 \cdot \rho} \right)_{MODEL} = \left( \frac{F}{A_f \cdot V^2 \cdot \rho} \right)_{FULL-SCALE}$$

$$\frac{F_{L_M}}{A_{f_M} \cdot V_M^2 \cdot \rho_M} = \frac{F_{L_{FS}}}{A_{f_{FS}} \cdot V_{FS}^2 \cdot \rho_{FS}}$$

$$\frac{F_{L_M}}{A_{f_M} \cdot V_M^2 \cdot \rho_M} = \frac{c_L \cdot \rho_{FS} \cdot A_{f_{FS}} \cdot V_{FS}^2}{2 \cdot A_{f_{FS}} \cdot V_{FS}^2 \cdot \rho_{FS}}$$

$$c_L = \frac{2 \cdot F_{L_M}}{A_{f_M} \cdot V_M^2 \cdot \rho_M} \quad (5.2)$$

Untuk mencari nilai koefisien *side* digunakan rumus 2.21.

$$F_S = c_S \cdot \frac{\rho}{2} \cdot A_f \cdot V^2$$

$$F_{S_{FS}} = c_S \cdot \frac{\rho_{FS}}{2} \cdot A_{f_{FS}} \cdot V_{FS}^2$$

substitusikan ke dalam rumus 2.29, maka

$$\left( \frac{F}{A_f \cdot V^2 \cdot \rho} \right)_{MODEL} = \left( \frac{F}{A_f \cdot V^2 \cdot \rho} \right)_{FULL-SCALE}$$

$$\frac{F_{S_M}}{A_{f_M} \cdot V_M^2 \cdot \rho_M} = \frac{F_{S_{FS}}}{A_{f_{FS}} \cdot V_{FS}^2 \cdot \rho_{FS}}$$

$$\frac{F_{S_M}}{A_{f_M} \cdot V_M^2 \cdot \rho_M} = \frac{c_S \cdot \rho_{FS} \cdot A_{f_{FS}} \cdot V_{FS}^2}{2 \cdot A_{f_{FS}} \cdot V_{FS}^2 \cdot \rho_{FS}}$$

$$c_S = \frac{2 \cdot F_{S_M}}{A_{f_M} \cdot V_M^2 \cdot \rho_M} \quad (5.3)$$

Temperatur dalam lingkungan pengujian berkisar antara 29°C~32°C, diasumsikan temperatur rata-rata pada 30°C, maka dari lampiran 3 didapat

$$(\mu)_{30^\circ} = 1.85 \times 10^{-5} \text{ N} \cdot \frac{\text{sec}}{\text{m}^2}$$

dari lampiran 5 didapat

$$(\nu)_{30^\circ} = 1.7 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{sec}}$$

dengan menggunakan rumus 2.2, didapat

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

$$\rho_M = \left( \frac{\mu}{\nu} \right)_{30^\circ}$$

$$\rho_M = \frac{1.85 \times 10^{-5} \text{ N} \cdot \frac{\text{sec}}{\text{m}^2}}{1.7 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{sec}}} = 1.0882 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Luas penampang frontal model ( $A_{f_M}$ ) didapat dari gambar 4.2

$$l = 87 \text{ mm} = 0.087 \text{ m}$$

$$h = 9 \text{ mm} + 76 \text{ mm} = 85 \text{ mm} = 0.085 \text{ m}$$

disubstitusikan ke dalam rumus 2.22.

$$A_f \approx 0.81 l h$$

$$A_{f_M} = 0.81 \times 0.087 \text{ m} \times 0.085 \text{ m} = 0.00599 \text{ m}^2$$

### 5.1.1.1 Perhitungan Koefisien Drag

Data yang diambil dari pengujian *drag force* model ( $F_{D_M}$ ) diperlihatkan dalam tabel 5.1.

Tabel 5.1 Data *drag force* hasil pengujian model

KECEPATAN ALIRAN UDARA (m/s)	PENGAMBILAN DATA	YAW ANGLE						
		0	5	10	15	20	25	30
8	I	0.065	0.042	0.040	0.075	0.040	0.085	0.105
	II	0.075	0.045	0.038	0.080	0.038	0.080	0.105
	III	0.070	0.050	0.045	0.070	0.040	0.090	0.100
	RATA-RATA	0.070	0.046	0.041	0.075	0.039	0.085	0.103
9	I	0.078	0.070	0.055	0.100	0.060	0.100	0.160
	II	0.090	0.060	0.060	0.095	0.065	0.095	0.175
	III	0.080	0.065	0.058	0.090	0.070	0.105	0.155
	RATA-RATA	0.083	0.065	0.058	0.095	0.065	0.100	0.163
10	I	0.095	0.090	0.082	0.125	0.098	0.165	0.210
	II	0.105	0.085	0.085	0.120	0.095	0.165	0.208
	III	0.090	0.082	0.080	0.110	0.090	0.170	0.195
	RATA-RATA	0.097	0.086	0.082	0.118	0.094	0.167	0.204
11	I	0.100	0.105	0.105	0.125	0.120	0.198	0.220
	II	0.125	0.110	0.110	0.140	0.125	0.180	0.235
	III	0.120	0.102	0.120	0.145	0.128	0.170	0.240
	RATA-RATA	0.115	0.106	0.112	0.137	0.124	0.183	0.232
12	I	0.130	0.150	0.145	0.205	0.175	0.235	0.310
	II	0.135	0.140	0.135	0.180	0.160	0.230	0.305
	III	0.130	0.145	0.130	0.195	0.155	0.230	0.300
	RATA-RATA	0.132	0.145	0.137	0.193	0.163	0.232	0.305
13	I	0.150	0.158	0.225	0.250	0.240	0.280	0.350
	II	0.155	0.150	0.210	0.245	0.238	0.270	0.355
	III	0.145	0.148	0.210	0.260	0.235	0.260	0.365
	RATA-RATA	0.150	0.152	0.215	0.252	0.238	0.270	0.357
14	I	0.180	0.170	0.238	0.285	0.280	0.325	0.420
	II	0.175	0.175	0.250	0.270	0.275	0.330	0.420
	III	0.180	0.172	0.225	0.265	0.700	0.315	0.425
	RATA-RATA	0.178	0.172	0.238	0.273	0.418	0.323	0.422
15	I	0.200	0.195	0.258	0.300	0.275	0.375	0.495
	II	0.185	0.190	0.275	0.275	0.280	0.365	0.480
	III	0.205	0.180	0.260	0.280	0.290	0.370	0.470
	RATA-RATA	0.197	0.188	0.264	0.285	0.282	0.370	0.482
16	I	0.230	0.270	0.265	0.270	0.340	0.420	0.540
	II	0.210	0.275	0.280	0.285	0.325	0.415	0.545
	III	0.215	0.278	0.270	0.260	0.320	0.400	0.500
	RATA-RATA	0.218	0.274	0.272	0.272	0.328	0.412	0.528
17	I	0.260	0.282	0.335	0.345	0.390	0.490	0.570
	II	0.250	0.280	0.320	0.330	0.388	0.480	0.560
	III	0.270	0.285	0.310	0.330	0.375	0.465	0.565
	RATA-RATA	0.260	0.282	0.322	0.335	0.384	0.478	0.565
18	I	0.290	0.325	0.375	0.450	0.490	0.510	0.660
	II	0.305	0.330	0.380	0.450	0.478	0.495	0.645
	III	0.300	0.340	0.370	0.435	0.480	0.535	0.630
	RATA-RATA	0.298	0.332	0.375	0.445	0.483	0.513	0.645
19	I	0.350	0.340	0.410	0.450	0.500	0.610	0.730
	II	0.340	0.375	0.405	0.452	0.485	0.595	0.745
	III	0.330	0.360	0.400	0.450	0.470	0.620	0.750
	RATA-RATA	0.340	0.358	0.405	0.451	0.485	0.608	0.742

Dengan memasukkan data dari tabel 5.1 ke dalam rumus 5.1 didapat koefisien *drag* pada masing-masing *yaw angle* dan kecepatan yang disusun dalam bentuk tabel 5.2.

Tabel 5.2 Koefisien *drag* hasil perhitungan

Kecepatan (m/s)	Yaw Angle						
	0	5	10	15	20	25	30
	Drag Force Rata-rata Model (N)						
8	0.070	0.046	0.041	0.075	0.039	0.085	0.103
9	0.083	0.065	0.058	0.095	0.065	0.100	0.163
10	0.097	0.086	0.082	0.118	0.094	0.167	0.204
11	0.115	0.106	0.112	0.137	0.124	0.183	0.232
12	0.132	0.145	0.137	0.193	0.163	0.232	0.305
13	0.150	0.152	0.215	0.252	0.238	0.270	0.357
14	0.178	0.172	0.238	0.273	0.275	0.323	0.422
15	0.197	0.188	0.264	0.285	0.282	0.370	0.482
16	0.218	0.274	0.272	0.272	0.328	0.412	0.528
17	0.260	0.282	0.322	0.335	0.384	0.478	0.565
18	0.298	0.332	0.375	0.445	0.483	0.513	0.645
19	0.340	0.358	0.405	0.451	0.485	0.608	0.742
	Koefisien Drag						
8	0.3356	0.2189	0.1966	0.3596	0.1886	0.4075	0.4954
9	0.3131	0.2462	0.2184	0.3599	0.2462	0.3788	0.6187
10	0.2966	0.2628	0.2526	0.3631	0.2894	0.5114	0.6270
11	0.2916	0.2679	0.2832	0.3466	0.3153	0.4632	0.5875
12	0.2805	0.3090	0.2912	0.4119	0.3480	0.4936	0.6499
13	0.2723	0.2760	0.3903	0.4569	0.4315	0.4902	0.6475
14	0.2792	0.2698	0.3721	0.4279	0.4305	0.5062	0.6601
15	0.2682	0.2568	0.3605	0.3886	0.3841	0.5046	0.6568
16	0.2617	0.3288	0.3256	0.3256	0.3935	0.4934	0.6332
17	0.2760	0.2997	0.3415	0.3557	0.4080	0.5078	0.5999
18	0.2825	0.3141	0.3551	0.4214	0.4571	0.4861	0.6108
19	0.2890	0.3046	0.3442	0.3830	0.4122	0.5170	0.6304
Koefisien Drag Rata-rata	0.2872	0.2796	0.3109	0.3833	0.3587	0.4800	0.6181

### 5.1.1.2 Perhitungan Koefisien *Lift*

Data yang diambil dari pengujian *lift force* model ( $F_{L_M}$ ) diperlihatkan dalam tabel 5.3.

Tabel 5.3 Data *lift force* hasil pengujian model

KECEPATAN ALIRAN UDARA (m/s)	PENGAMBILAN DATA	Fl (N)	KECEPATAN ALIRAN UDARA (m/s)	PENGAMBILAN DATA	Fl (N)
8	I	0.008	14	I	0.085
	II	0.009		II	0.090
	III	0.012		III	0.095
	RATA-RATA	0.010		RATA-RATA	0.090
9	I	0.012	15	I	0.105
	II	0.011		II	0.100
	III	0.012		III	0.110
	RATA-RATA	0.012		RATA-RATA	0.105
10	I	0.017	16	I	0.125
	II	0.018		II	0.125
	III	0.016		III	0.135
	RATA-RATA	0.017		RATA-RATA	0.128
11	I	0.030	17	I	0.155
	II	0.025		II	0.148
	III	0.030		III	0.150
	RATA-RATA	0.028		RATA-RATA	0.151
12	I	0.048	18	I	0.178
	II	0.050		II	0.180
	III	0.048		III	0.160
	RATA-RATA	0.049		RATA-RATA	0.173
13	I	0.068	19	I	0.195
	II	0.070		II	0.210
	III	0.080		III	0.190
	RATA-RATA	0.073		RATA-RATA	0.198

Dengan memasukkan data dari tabel 5.3 ke dalam rumus 5.2 didapat koefisien *lift* pada kecepatan yang berbeda-beda dan disusun dalam bentuk tabel 5.4.

Tabel 5.4 Koefisien *lift* hasil perhitungan

Kecepatan Aliran Udara (m/s)	Lift Force Model (N)	Koefisien Lift
8	0.010	0.0463
9	0.012	0.0442
10	0.017	0.0522
11	0.028	0.0718
12	0.049	0.1037
13	0.073	0.1319
14	0.090	0.1409
15	0.105	0.1432
16	0.128	0.1538
17	0.151	0.1603
18	0.173	0.1635
19	0.198	0.1686
Koefisien Lift Rata-rata		0.1150

### 5.1.1.3 Perhitungan Koefisien *Side*

Data yang diambil dari pengujian *side force* model ( $F_{S_M}$ ) diperlihatkan dalam tabel 5.5.

Tabel 5.5 Data *side force* hasil pengujian model

KECEPATAN ALIRAN UDARA (m/s)	PENGAMBILAN DATA	YAW ANGLE					
		5	10	15	20	25	30
8	I	0.082	0.110	0.280	0.300	0.295	0.480
	II	0.075	0.115	0.285	0.290	0.290	0.470
	III	0.080	0.102	0.278	0.285	0.298	0.465
	RATA-RATA	0.079	0.109	0.281	0.292	0.294	0.472
9	I	0.110	0.150	0.355	0.375	0.305	0.605
	II	0.100	0.140	0.360	0.370	0.310	0.600
	III	0.105	0.145	0.365	0.380	0.320	0.615
	RATA-RATA	0.105	0.145	0.360	0.375	0.312	0.607
10	I	0.135	0.200	0.420	0.470	0.428	0.690
	II	0.130	0.180	0.430	0.480	0.430	0.700
	III	0.140	0.190	0.435	0.485	0.430	0.698
	RATA-RATA	0.135	0.190	0.428	0.478	0.429	0.696
11	I	0.172	0.220	0.520	0.580	0.510	0.855
	II	0.170	0.230	0.510	0.560	0.450	0.850
	III	0.175	0.235	0.530	0.565	0.550	0.800
	RATA-RATA	0.172	0.228	0.520	0.568	0.503	0.835
12	I	0.245	0.375	0.630	0.625	0.630	0.965
	II	0.240	0.350	0.610	0.640	0.615	0.970
	III	0.242	0.360	0.625	0.630	0.620	0.980
	RATA-RATA	0.242	0.362	0.622	0.632	0.622	0.972
13	I	0.295	0.500	0.700	0.790	0.655	0.990
	II	0.300	0.490	0.690	0.785	0.650	1.000
	III	0.290	0.495	0.680	0.790	0.645	1.020
	RATA-RATA	0.295	0.495	0.690	0.788	0.650	1.003
14	I	0.300	0.560	0.795	0.855	0.860	1.178
	II	0.365	0.570	0.780	0.850	0.850	1.160
	III	0.362	0.570	0.775	0.830	0.855	1.165
	RATA-RATA	0.342	0.567	0.783	0.845	0.855	1.168
15	I	0.405	0.675	0.860	1.000	1.015	1.388
	II	0.400	0.660	0.840	0.990	1.020	1.390
	III	0.395	0.655	0.845	0.980	1.025	1.400
	RATA-RATA	0.400	0.663	0.848	0.990	1.020	1.393
16	I	0.410	0.775	0.990	1.068	1.850	1.605
	II	0.420	0.760	0.970	1.070	1.090	1.600
	III	0.435	0.750	0.988	1.075	1.095	1.610
	RATA-RATA	0.422	0.762	0.983	1.071	1.345	1.605
17	I	0.400	0.850	1.085	1.215	1.480	1.790
	II	0.450	0.835	1.080	1.300	1.400	1.795
	III	0.450	0.820	1.078	1.400	1.500	1.805
	RATA-RATA	0.433	0.835	1.081	1.305	1.460	1.797
18	I	0.575	0.940	1.185	1.340	1.500	1.940
	II	0.580	0.950	1.180	1.325	1.550	1.950
	III	0.560	0.950	1.190	1.330	1.450	1.965
	RATA-RATA	0.572	0.947	1.185	1.332	1.500	1.952
19	I	0.595	0.980	1.200	1.640	1.900	2.170
	II	0.600	0.950	1.250	1.630	1.850	2.200
	III	0.600	1.000	1.300	1.628	2.000	2.150
	RATA-RATA	0.598	0.977	1.250	1.633	1.917	2.173

Dengan memasukkan data dari tabel 5.5 ke dalam rumus 5.3 didapat koefisien *side* pada masing-masing *yaw angle* dan kecepatan yang disusun dalam bentuk tabel 5.6.

Tabel 5.6 Koefisien *side* hasil perhitungan

Kecepatan (m/s)	Yaw Angle					
	5	10	15	20	25	30
	Side Force Rata-rata (N)					
8	0.079	0.109	0.281	0.292	0.294	0.472
9	0.105	0.145	0.360	0.375	0.312	0.607
10	0.135	0.190	0.428	0.478	0.429	0.696
11	0.172	0.228	0.520	0.568	0.503	0.835
12	0.242	0.362	0.622	0.632	0.622	0.972
13	0.295	0.495	0.690	0.788	0.650	1.003
14	0.342	0.567	0.783	0.845	0.855	1.168
15	0.400	0.663	0.848	0.990	1.020	1.393
16	0.422	0.762	0.983	1.071	1.345	1.605
17	0.433	0.835	1.081	1.305	1.460	1.797
18	0.572	0.947	1.185	1.332	1.500	1.952
19	0.598	0.977	1.250	1.633	1.917	2.173
	Koefisien Side					
8	0.3787	0.5226	1.3472	1.3983	1.4111	2.2613
9	0.3977	0.5493	1.3637	1.4205	1.1806	2.2981
10	0.4142	0.5830	1.3142	1.4677	1.3173	2.1355
11	0.4370	0.5790	1.3186	1.4412	1.2763	2.1174
12	0.5164	0.7706	1.3246	1.3459	1.3246	2.0704
13	0.5356	0.8987	1.2527	1.4313	1.1801	1.8216
14	0.5359	0.8871	1.2263	1.3228	1.3385	1.8284
15	0.5455	0.9046	1.1569	1.3500	1.3910	1.8991
16	0.5054	0.9129	1.1778	1.2836	1.6120	1.9237
17	0.4601	0.8865	1.1477	1.3855	1.5501	1.9075
18	0.5414	0.8965	1.1222	1.2611	1.4205	1.8482
19	0.5085	0.8301	1.0624	1.3877	1.6290	1.8472
Koefisien Side Rata- Rata	0.4814	0.7684	1.2345	1.3746	1.3859	1.9965

### 5.1.2 Perhitungan Gaya Skala Penuh

Temperatur operasional di jalan raya berkisar antara  $39^{\circ}\text{C}\sim 42^{\circ}\text{C}$ , diasumsikan temperatur rata-rata pada  $40^{\circ}\text{C}$ , maka dari lampiran 3 didapat

$$(\mu)_{40^{\circ}} = 1.9 \times 10^{-5} \frac{\text{N} \cdot \text{sec}}{\text{m}^2}$$

Dari lampiran 5 didapat

$$(\nu)_{40^{\circ}} = 1.8 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{sec}}$$

dengan menggunakan rumus 2.2, didapat

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

$$\rho_{FS} = \left( \frac{\mu}{\nu} \right)_{40^{\circ}}$$

$$\rho_{FS} = \frac{1.95 \times 10^{-5} \frac{\text{N} \cdot \text{sec}}{\text{m}^2}}{1.8 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{sec}}} = 1.0833 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Luas penampang frontal prototipe ( $A_{f_{FS}}$ ) didapat dari gambar 4.1

$$l = 1390 \text{mm} = 1.39 \text{m}$$

$$h = 150 \text{mm} + 1223 \text{mm} = 1373 \text{mm} = 1.373 \text{m}$$

disubstitusikan ke dalam rumus 2.22.

$$A_f \approx 0.81 l \cdot h$$

$$A_{f_{FS}} = 0.81 \times 1.39 \text{m} \times 1.373 \text{m} = 1.546 \text{m}^2$$

#### 5.1.2.1 Drag Force Skala Penuh ( $F_{D_{FS}}$ )

Jika angka rata-rata hasil perhitungan koefisien *drag* pada tabel 5.2 disubstitusikan ke dalam rumus 2.18 didapat *drag force* masing-masing kecepatan dan *yaw angle* pada skala penuh yang diperlihatkan dalam bentuk tabel 5.7.

Tabel 5.7 *Drag force* hasil perhitungan pada skala penuh

Yaw Angle		0	5	10	15	20	25	30
Koefisien Drag		0.2872	0.2796	0.3109	0.3833	0.3587	0.4800	0.6181
Kecepatan (km/h)	Kecepatan (m/s)	Drag Force (N)						
10	2.7778	1.8557	1.8063	2.0091	2.4769	2.3177	3.1014	3.9937
20	5.5556	7.4228	7.2252	8.0364	9.9078	9.2710	12.4054	15.9749
30	8.3333	16.7013	16.2568	18.0820	22.2925	20.8597	27.9123	35.9435
40	11.1111	29.6913	28.9010	32.1458	39.6311	37.0838	49.6218	63.8996
50	13.8889	46.3926	45.1578	50.2277	61.9236	57.9435	77.5341	99.8431
60	16.6667	66.8054	65.0272	72.3280	89.1700	83.4386	111.6490	143.7741
70	19.4444	90.9295	88.5092	98.4464	121.3703	113.5692	151.9667	195.6926
80	22.2222	118.7651	115.6039	128.5830	158.5245	148.3353	198.4872	255.5985

### 5.1.2.2 *Lift Force* Skala Penuh ( $F_{LFS}$ )

Jika angka rata-rata hasil perhitungan koefisien *lift* pada tabel 5.4 disubstitusikan ke dalam rumus 2.19 didapat *lift force* masing-masing kecepatan pada skala penuh yang diperlihatkan dalam bentuk tabel 5.8.

Tabel 5.8 *Lift force* hasil perhitungan pada skala penuh

Koefisien Lift		0.1150
Kecepatan (km/h)	Kecepatan (m/s)	Lift Force (N)
10	2.7778	0.7433
20	5.5556	2.9732
30	8.3333	6.6897
40	11.1111	11.8929
50	13.8889	18.5826
60	16.6667	26.7589
70	19.4444	36.4219
80	22.2222	47.5714

### 5.1.2.3 *Side Force* Skala Penuh ( $F_{SFS}$ )

Jika angka rata-rata hasil perhitungan koefisien *side* pada tabel 5.6 disubstitusikan ke dalam rumus 2.20 didapat *side force* masing-masing kecepatan dan *yaw angle* pada skala penuh yang diperlihatkan dalam bentuk tabel 5.9.

Tabel 5.9 *Side force* hasil perhitungan pada skala penuh

Yaw Angle		5	10	15	20	25	30
Koefisien Side		0.4814	0.7684	1.2345	1.3746	1.3859	1.9965
Kecepatan (km/h)	Kecepatan (m/s)	Side Force (N)					
10	2.7778	3.1103	4.9649	7.9767	8.8820	8.9550	12.9003
20	5.5556	12.4411	19.8595	31.9066	35.5278	35.8198	51.6011
30	8.3333	27.9924	44.6840	71.7899	79.9376	80.5946	116.1024
40	11.1111	49.7642	79.4382	127.6265	142.1113	143.2792	206.4043
50	13.8889	77.7566	124.1222	199.4164	222.0488	223.8738	322.5068
60	16.6667	111.9695	178.7359	287.1596	319.7503	322.3783	464.4097
70	19.4444	152.4029	243.2794	390.8561	435.2157	438.7926	632.1133
80	22.2222	199.0569	317.7527	510.5059	568.4451	573.1169	825.6173

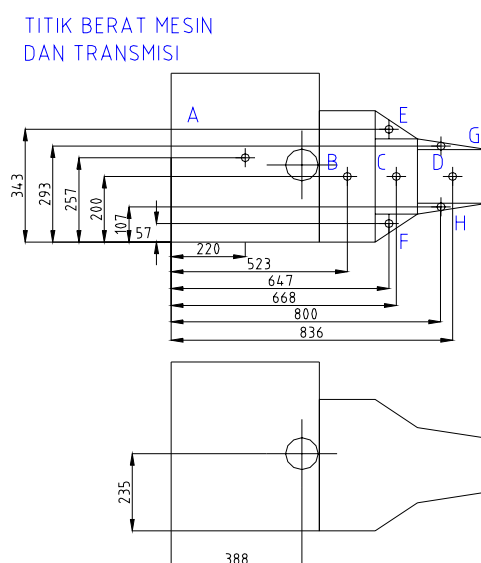
### 5.1.3 Perhitungan Gaya Skid

Asumsi bobot total kendaraan adalah 930 kg dengan rincian,

- Berat mesin dan transmisi 250 kg
- Gardan dan differensial 50 kg
- Penumpang depan dan pengemudi 190 kg
- Penumpang belakang (2 orang) 190 kg
- Bodi, rangka dan interior (dashboard, kursi, panel) 250 kg

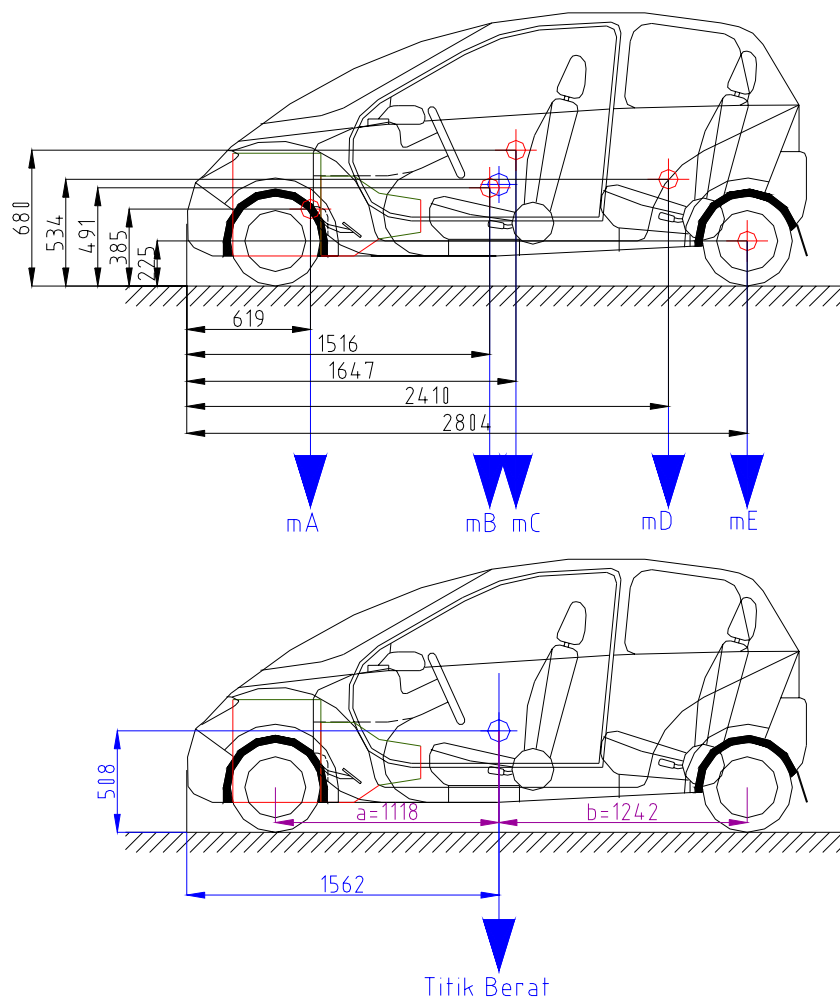
Posisi dari titik berat masing-masing komponen diperlihatkan pada gambar

5.1 dan 5.2



Gambar 5.1 Posisi titik berat mesin dan transmisi

## TITIK BERAT MOBIL

Gambar 5.2 Titik berat dan *wheel base* mobil mini skala penuh

Dasar perhitungan titik berat total diperlihatkan dalam tabel 5.10 dan 5.11, dimana rumus untuk titik berat adalah

$$\bar{X} = \frac{\sum X.A}{\sum A} \quad \text{dan} \quad \bar{Y} = \frac{\sum Y.A}{\sum A} \quad (5.4)$$

Tabel 5.10 Perhitungan titik berat mesin dan transmisi

BIDANG	X(mm)	Y(mm)	A(mm <sup>2</sup> )	X.A(mm <sup>3</sup> )	Y.A(mm <sup>3</sup> )	TB X(mm)	TB Y(mm)
A	220	257	226160	49755200	58123120	387.64205	234.5764
B	523	200	66278	34663394	13255600		
C	668	200	28719	19184292	5743800		
D	836	200	34087	28496732	6817400		
E	647	343	5372	3475684	1842596		
F	647	57	5372	3475684	306204		
G	800	293	3421	2736800	1002353		
H	800	107	3421	2736800	366047		
TOTAL			372830	144524586	87457120		

Tabel 5.11 Perhitungan titik berat mobil mini skala penuh

NOTASI	KOMPONEN	X(mm)	Y(mm)	m (kg)	X.m(mm.kg)	Y.m(mm.kg)	TB X(mm)	TB Y(mm)
mA	Mesin & Transmisi	619	385	250	154750	96250	1561.98	507.80
mB	Penumpang Depan	1516	491	190	288040	93290		
mC	Bodi	1647	680	250	411750	170000		
mD	Penumpang Belakang	2410	534	190	457900	101460		
mE	Gardan & Diferensial	2804	225	50	140200	11250		
TOTAL				930	1452640	472250		

Dari gambar 5.2 dan hasil perhitungan pada tabel 5.11 didapat

$$h = 508\text{mm} = 0.508\text{m}$$

$$a = 1118\text{mm} = 1.118\text{m}$$

$$b = 1242\text{mm} = 1.242\text{m}$$

Koefisien gesek ban pada beberapa jenis permukaan diperlihatkan pada lampiran 7. Pada umumnya kendaraan beroperasi pada permukaan aspal baik pada

saat kering maupun hujan dan koefisien gesek ban lebih kecil pada aspal basah daripada aspal kering maka untuk mendapatkan kondisi yang aman maka diambil koefisien gesek pada kondisi aspal basah. Untuk koefisien gesek ban pada aspal basah didapat

$$\mu_s = 0.45$$

Untuk menghindari kompleksitas yang tidak signifikan maka angka  $F_D$ ,  $F_L$  dan  $F_S$  diambil pada angka maksimal hasil perhitungan mobil mini skala penuh, dimana data  $F_D$  skala penuh diambil pada saat kecepatan 80 km/h dengan sudut serang angin  $30^\circ$ , didapat

$$F_D = 255.6 \text{ N}$$

sedangkan data  $F_S$  skala penuh diambil pada saat kecepatan 80 km/h dengan sudut serang angin  $30^\circ$ , didapat

$$F_S = 825.62 \text{ N}$$

dan data  $F_L$  skala penuh diambil pada saat kecepatan 80 km/h, diasumsikan konstan terhadap sudut serang angin (*yaw angle*) karena keterbatasan alat pengujian hanya pada  $0^\circ$ , didapat

$$F_L = 47.57 \text{ N}$$

dengan mensubstitusikan data  $h$ ,  $a$ ,  $b$ ,  $\mu_s$ ,  $F_D$ ,  $F_L$ ,  $F_S$ , berat total kendaraan (kg) ke dalam rumus 2.63 dan 2.65 didapat kecepatan maksimal batas roda depan akan skid ( $V_{fs}$ ) dan kecepatan maksimal batas roda belakang akan skid ( $V_{rs}$ ) yang diperlihatkan dalam bentuk tabel 5.12.

Tabel 5.12 Data perhitungan kecepatan maksimal saat skid

h (m)	0.5080	g (m/s <sup>2</sup> )	9.8100									(m.g)-FL	9075.73	FD.h.Cges	58.43
FL (N)	47.5700	m (kg)	930.0000									((m.g)-FL).Cges.a	4566.00	((m.g)-FL).Cges.b	5072.43
FS (N)	825.6173	m.g (N)	9123.3000									a.FS	923.04	b.FS	1025.42
FD (N)	255.6000	Cgesek	0.4500									(m.g-FL).Cges.a- FD.h.Cges-a.FS	3584.53	(m.g-FL).Cges.b- FD.h.Cges-b.FS	3988.58
a (m)	1.1180	b (m)	1.2420												
Rn	side slip	cos (side slip)	sin (side slip)	Rn/m	b.cos (side slip)	a.cos (side slip)	h.Cges. (side slip)	sin	b.cos (side slip)- h.Cges. (side slip)	a.cos (side slip)- h.Cges. (side slip)	VfS (km/h)	VrS (km/h)			
4.0	33.6869	0.83	0.17	0.0043	1.03086	0.92794	0.038862		0.991998	0.889078	4.17	4.17			
5.4	25.2651	0.9	0.1	0.0058	1.1178	1.0062	0.02286		1.09494	0.98334	4.58	4.58			
7.1	18.9489	0.96	0.04	0.0077	1.19232	1.07328	0.009144		1.183176	1.064136	5.09	5.08			
9.5	14.2116	0.97	0.03	0.0102	1.20474	1.08446	0.006858		1.197882	1.077602	5.84	5.83			
12.7	10.6587	0.98	0.02	0.0136	1.21716	1.09564	0.004572		1.212588	1.091068	6.70	6.69			
16.9	7.9940	0.99	0.01	0.0182	1.22958	1.10682	0.002286		1.227294	1.104534	7.69	7.68			
22.6	5.9955	0.99	0.01	0.0242	1.22958	1.10682	0.002286		1.227294	1.104534	8.88	8.87			
30.1	4.4967	0.99	0.01	0.0323	1.22958	1.10682	0.002286		1.227294	1.104534	10.25	10.24			
40.1	3.3725	0.99	0.01	0.0431	1.22958	1.10682	0.002286		1.227294	1.104534	11.84	11.83			
53.5	2.5294	0.99	0.01	0.0575	1.22958	1.10682	0.002286		1.227294	1.104534	13.67	13.66			
71.3	1.8970	0.99	0.01	0.0766	1.22958	1.10682	0.002286		1.227294	1.104534	15.78	15.77			
95.0	1.4228	0.99	0.01	0.1022	1.22958	1.10682	0.002286		1.227294	1.104534	18.22	18.21			
126.7	1.0671	0.99	0.01	0.1362	1.22958	1.10682	0.002286		1.227294	1.104534	21.04	21.03			
168.9	0.8003	0.99	0.01	0.1817	1.22958	1.10682	0.002286		1.227294	1.104534	24.30	24.28			
225.3	0.6002	0.99	0.01	0.2422	1.22958	1.10682	0.002286		1.227294	1.104534	28.06	28.04			
300.3	0.4502	0.99	0.01	0.3229	1.22958	1.10682	0.002286		1.227294	1.104534	32.40	32.37			
400.5	0.3376	0.99	0.01	0.4306	1.22958	1.10682	0.002286		1.227294	1.104534	37.41	37.38			
533.9	0.2532	0.99	0.01	0.5741	1.22958	1.10682	0.002286		1.227294	1.104534	43.20	43.16			
711.9	0.1899	0.99	0.01	0.7655	1.22958	1.10682	0.002286		1.227294	1.104534	49.88	49.84			
949.2	0.1424	0.99	0.01	1.0207	1.22958	1.10682	0.002286		1.227294	1.104534	57.59	57.55			
1265.6	0.1068	0.99	0.01	1.3609	1.22958	1.10682	0.002286		1.227294	1.104534	66.50	66.46			
1687.5	0.0801	0.99	0.01	1.8145	1.22958	1.10682	0.002286		1.227294	1.104534	76.79	76.74			
2250.0	0.0601	0.99	0.01	2.4194	1.22958	1.10682	0.002286		1.227294	1.104534	88.67	88.61			
3000.0	0.0451	0.99	0.01	3.2258	1.22958	1.10682	0.002286		1.227294	1.104534	102.39	102.32			
4000.0	0.0338	0.99	0.01	4.3011	1.22958	1.10682	0.002286		1.227294	1.104534	118.23	118.14			

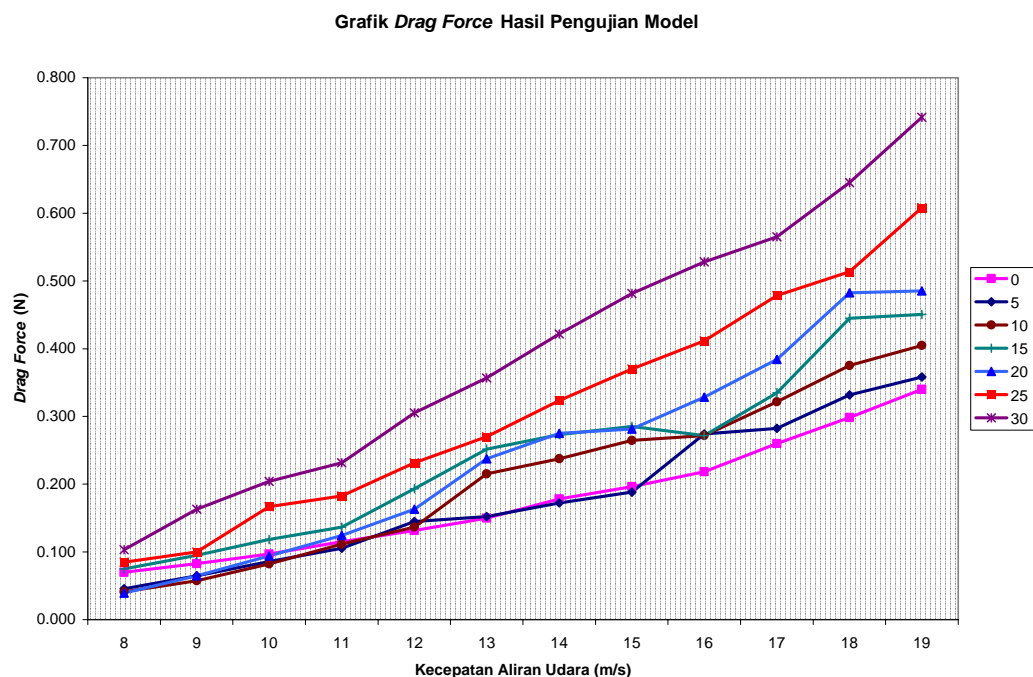
## 5.2 Analisa Data

Dari data hasil pengujian kontur bodi mobil mini terhadap *drag*, *lift* dan *side force* pada tabel 5.1, 5.3 dan 5.5 dapat diperlihatkan dalam bentuk grafik untuk mempermudah penganalisaan data.

Dari data hasil perhitungan pada tabel 5.2, 5.4, 5.6, 5.7, 5.8, 5.9 dan 5.12 akan dianalisa dengan menggunakan grafik. Masing-masing grafik memperlihatkan performa aerodinamik dari mobil mini.

### 5.2.1 Hubungan *Drag Force* dengan Kecepatan Hasil Pengujian

Dari data hasil pengujian pada tabel 5.1 diperlihatkan dalam bentuk grafik pada gambar 5.3.



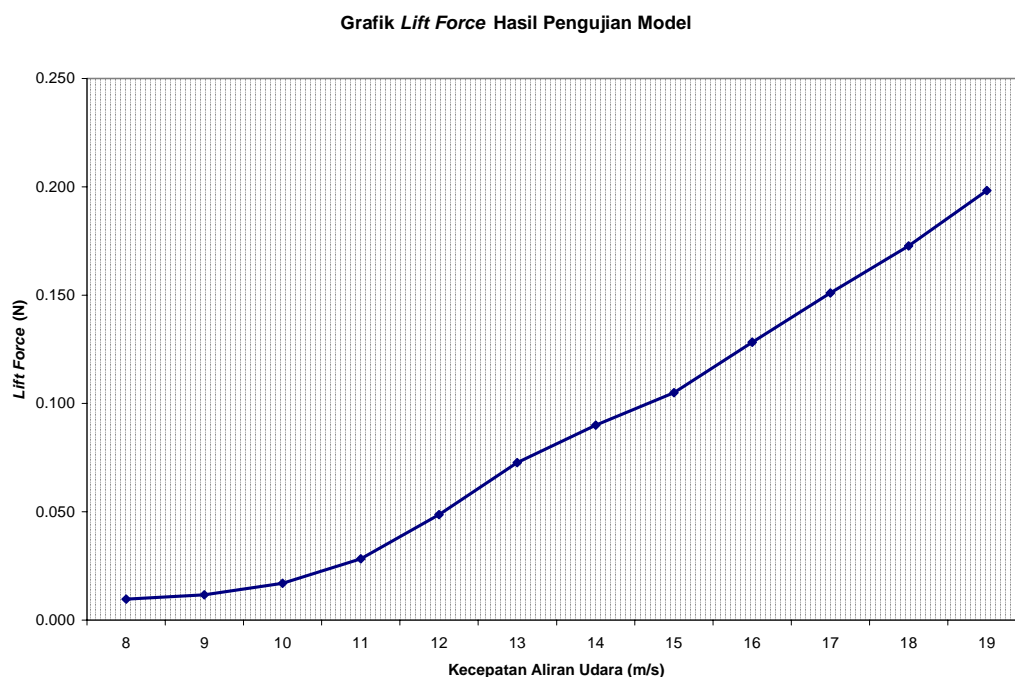
Gambar 5.3 Grafik *drag force* model hasil pengujian

Grafik pada gambar 5.3 pertambahan *drag force* pada *yaw angle*  $>10^\circ$  disebabkan oleh separasi aliran yang dini. Fenomena separasi aliran ini diperlihatkan oleh gambar 2.13. Untuk *yaw angle*  $0^\circ \sim 10^\circ$  kurva yang dibentuk lebih landai dibandingkan dengan kurva yang lain. Hal ini disebabkan oleh karena pada *yaw angle* tersebut aliran masih cenderung stabil, gaya yang terbentuk

berupa *drag* dan *lift* sepenuhnya, tanpa adanya defleksi ke samping. Penyimpangan kurva pada kecepatan aliran kurang dari 11 m/s, dimana fluktuasi beban aerodinamika yang disebabkan oleh momentum aliran masih relatif kecil, disebabkan oleh karena ketelitian alat ukur pada *wind tunnel balance* dimana ketelitian yang dapat dicapai oleh alat ukur adalah  $0.1 \pm 0.01$  N, sedangkan untuk pengujian aerodinamika kendaraan ini dibutuhkan ketelitian yang lebih tinggi.

### 5.2.2 Hubungan *Lift Force* dengan Kecepatan Hasil Pengujian

Dari data hasil pengujian pada tabel 5.3 diperlihatkan dalam bentuk grafik pada gambar 5.4.



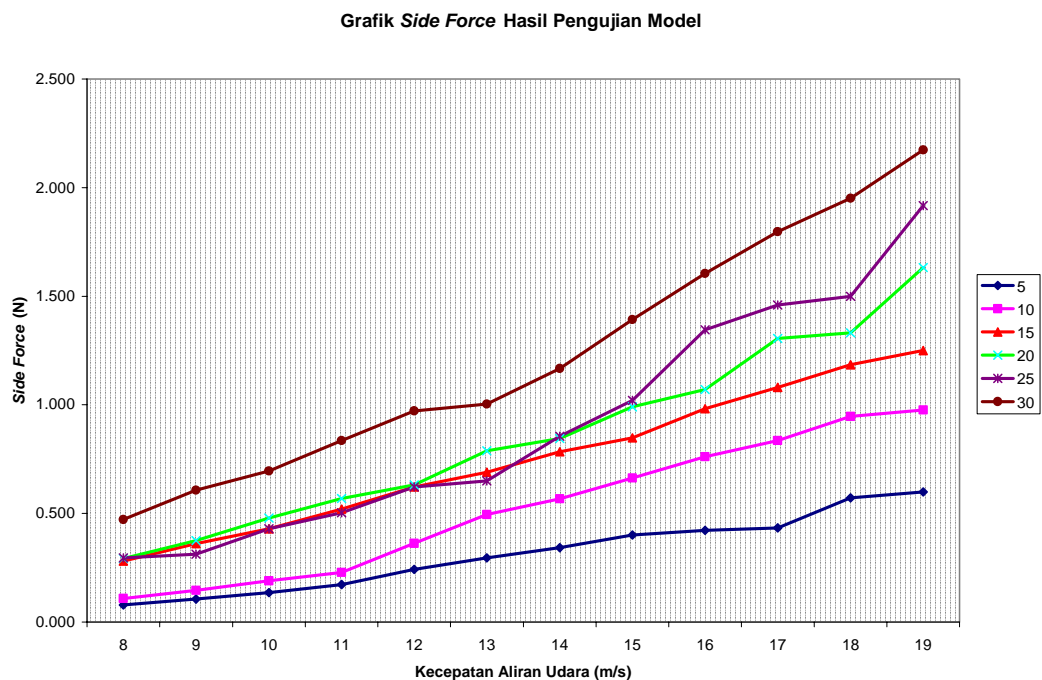
Gambar 5.4 Grafik *lift force* model hasil pengujian

Kurva grafik pada gambar 5.4 menunjukkan peningkatan *lift force* terhadap kecepatan. Peningkatan ini disebabkan oleh karena bentuk mobil mini itu sendiri dimana kecepatan aliran pada atas kendaraan cenderung lebih tinggi daripada di bawah kendaraan, karena lintasan aliran bagian atas mobil mini lebih jauh daripada bawah kendaraan. Perbedaan kecepatan aliran ini menyebabkan tekanan pada bagian atas kendaraan selalu lebih rendah daripada tekanan pada

bagian bawah kendaraan. Dengan meningkatnya kecepatan aliran udara, perbedaan tekanan ini menjadi semakin besar, sesuai dengan persamaan *lift force* dimana besarnya *lift force* ini sebanding dengan pertambahan kecepatan secara kuadratik. Hal inilah yang menyebabkan semakin meningkatnya *lift force* terhadap kecepatan aliran udara. Untuk memperkecil *lift force* dapat ditambahkan peralatan tambahan (*add-in*) pada bagian bawah kendaraan mobil mini berupa *front air dam*, *side air dam* ataupun *rear spoiler* yang dapat mengurangi banyaknya aliran udara yang masuk di bagian bawah mobil.

### 5.2.3 Hubungan *Side Force* dengan Kecepatan Hasil Pengujian

Dari data hasil pengujian pada tabel 5.5 diperlihatkan dalam bentuk grafik pada gambar 5.5.



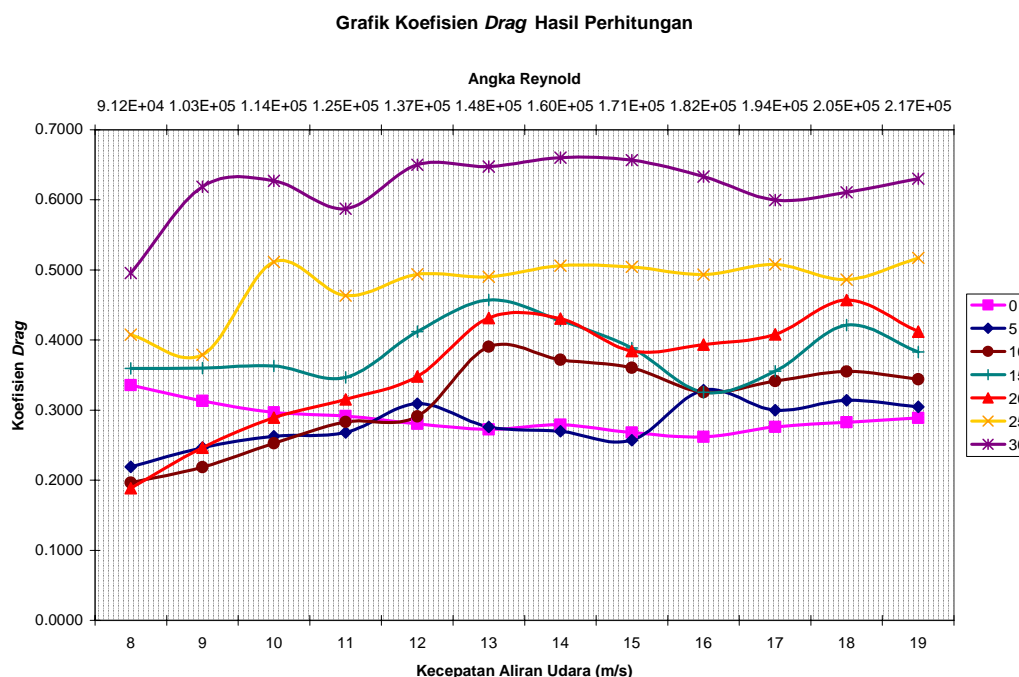
Gambar 5.5 Grafik *side force* model hasil pengujian

Penumpukan kurva gaya saat *yaw angle* 15°, 20° dan 25° pada gambar 5.6 disebabkan oleh ketelitian alat ukur. Peningkatan *side force* ini disebabkan karena luasan kendaraan yang semakin besar dengan adanya *yaw angle* sehingga menyebabkan *wake* yang terjadi semakin besar. Pada *yaw angle* lebih dari 10°

terjadi perbedaan tekanan antara sisi kanan dan sisi kiri kendaraan yang disebabkan oleh *wake*. Fenomena tersebut dapat diperlihatkan pada gambar 2.13.

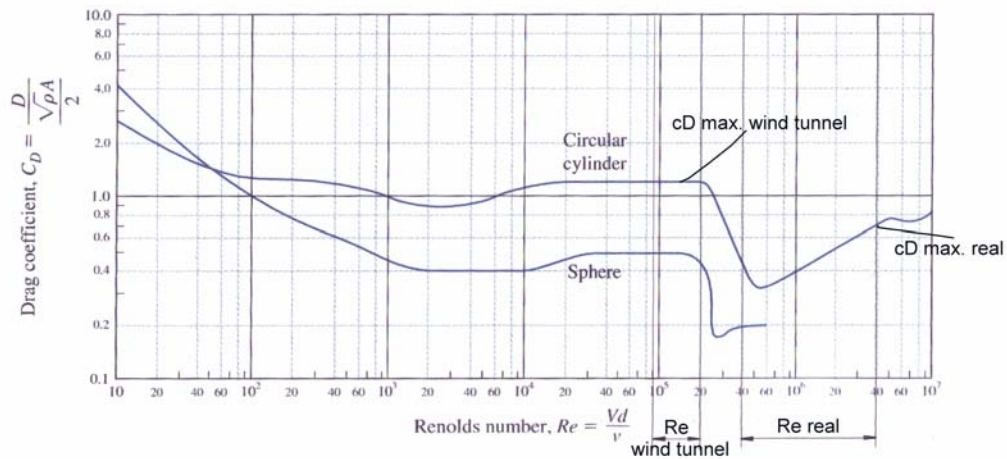
#### 5.2.4 Hubungan Koefisien *Drag* dengan Kecepatan

Dari data hasil perhitungan koefisien *drag* pada tabel 5.2 diperlihatkan dalam bentuk grafik pada gambar 5.6.



Gambar 5.6 Grafik koefisien *drag* hasil perhitungan

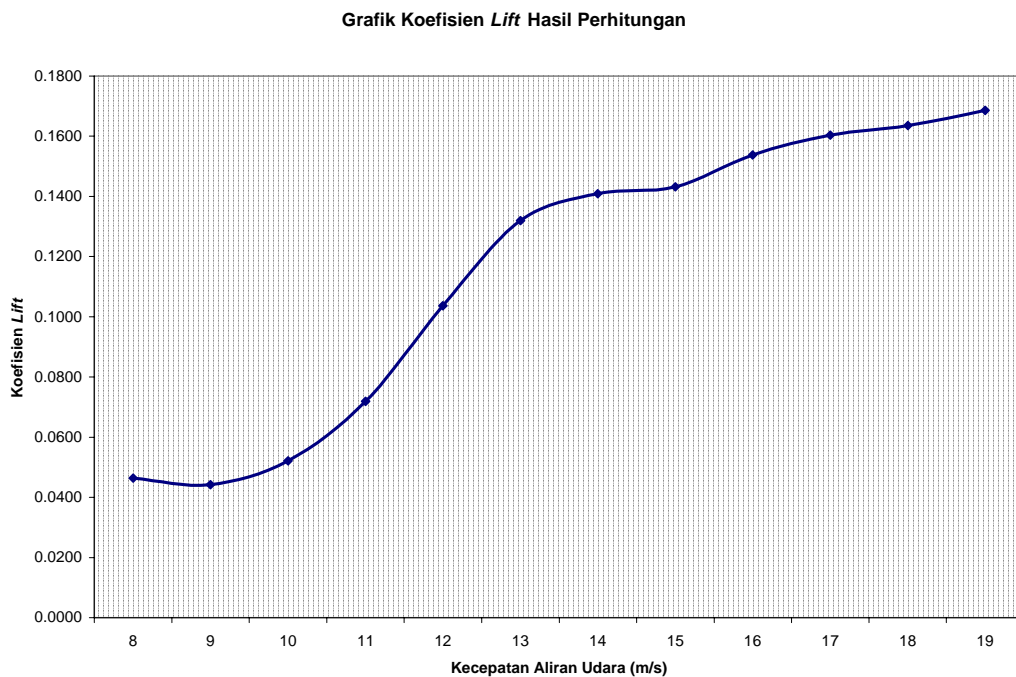
Kurva pada *yaw angle*  $0^\circ$  menunjukkan penurunan pada kecepatan aliran 9 m/s sampai dengan 16 m/s. Hal ini disebabkan oleh karena pada kecepatan rendah koefisien *drag* banyak dipengaruhi oleh gaya geser permukaan. Dengan penambahan kecepatan, maka gaya geser dapat diatasi oleh momentum aliran. Hal ini menyebabkan *wake* di belakang kendaraan menjadi lebih kecil sehingga perbedaan tekanan antara depan dan belakang menurun (Mengacu pada gambar 2.7). Angka koefisien *drag* rata-rata pada *yaw angle*  $0^\circ$  dalam kurva ini berkisar 0.29, saat angka Reynold-nya berkisar antara  $9 \cdot 10^4 \sim 2 \cdot 10^5$ . Sedangkan pada saat kondisi nyata skala penuh angka Reynold berkisar antara  $4 \cdot 10^5 \sim 4 \cdot 10^6$ . Mengacu pada gambar 5.7, koefisien *drag* menurun dengan peningkatan angka Re.



Gambar 5.7 Perbedaan kondisi angka Reynold terhadap koefisien *drag* antara kondisi *wind tunnel* dan nyata

### 5.2.5 Hubungan Koefisien *Lift* dengan Kecepatan

Dari data hasil perhitungan koefisien *lift* pada tabel 5.4 diperlihatkan dalam bentuk grafik pada gambar 5.8.



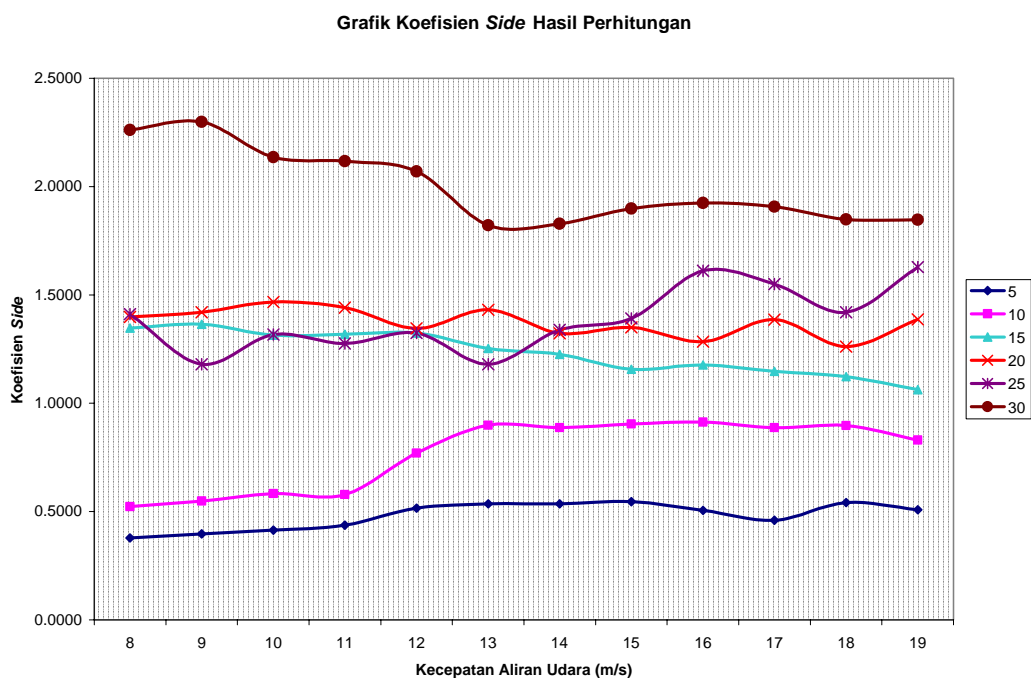
Gambar 5.8 Grafik koefisien *lift* hasil perhitungan

Kurva grafik pada gambar 5.8 menunjukkan angka peningkatan koefisien *lift* yang cukup tajam pada kecepatan aliran udara 9 m/s sampai dengan 16 m/s. Hal ini sebanding dengan penurunan koefisien *drag*, dengan menurunnya koefisien *drag* yang disebabkan oleh adanya penurunan tekanan pada bagian atas kendaraan oleh karena peningkatan kecepatan aliran pada bagian atas kendaraan yang tidak sebanding dengan peningkatan kecepatan aliran pada bagian bawah kendaraan mengakibatkan peningkatan koefisien *lift*. Peningkatan kecepatan aliran yang tidak sebanding diakibatkan oleh

- Kekasaran permukaan dimana pada bagian atas cenderung lebih halus daripada pada bagian bawah kendaraan, dan bagian atas kendaraan langsung berhubungan dengan kecepatan aliran bebas (*free stream velocity*).
- Bagian bawah kendaraan terpengaruh dengan adanya efek viskositas aliran terhadap permukaan jalan (*boundary layer*) dan dari kekasaran bagian bawah kendaraan itu sendiri.

### **5.2.6 Hubungan Koefisien *Side* dengan Kecepatan**

Dari data hasil perhitungan koefisien *side* pada tabel 5.6 diperlihatkan dalam bentuk grafik pada gambar 5.9.

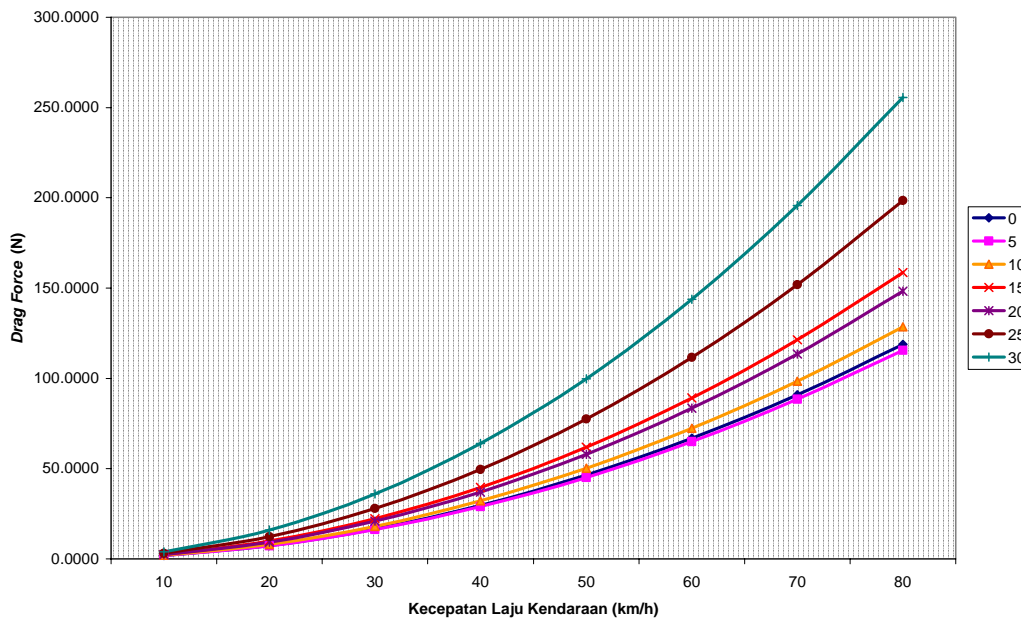


Gambar 5.9 Grafik koefisien *side* hasil perhitungan

Koefisien *side* pada *yaw angle*  $15^\circ$  dan  $30^\circ$  menunjukkan adanya *trend* yang menurun dengan pertambahan kecepatan aliran udara. Hal ini disebabkan karena pertambahan kecepatan aliran menyebabkan momentum aliran bertambah yang mengakibatkan pergeseran titik separasi lebih jauh ke belakang. Dengan pergeseran ini menyebabkan lebar *wake* menjadi lebih kecil dan perbedaan tekanan antara sisi kanan dan kiri kendaraan menjadi lebih kecil pula yang mengakibatkan koefisien *side* menurun. Koefisien *side* pada *yaw angle*  $20^\circ$  dan  $25^\circ$  tidak mengalami penurunan. Hal ini diakibatkan oleh ketidak stabilan *wake* yang terbentuk, dengan pertambahan kecepatan aliran titik separasi yang terjadi dapat maju dan mundur tergantung dari frekwensi aliran. Sedangkan pada  $5^\circ$  dan  $10^\circ$ , aliran belum terseparasi. Koefisien *side* timbul hanya karena gaya *drag* yang mengalami defleksi ke arah samping.

### 5.2.7 Hubungan *Drag Force* Skala Penuh dengan Kecepatan

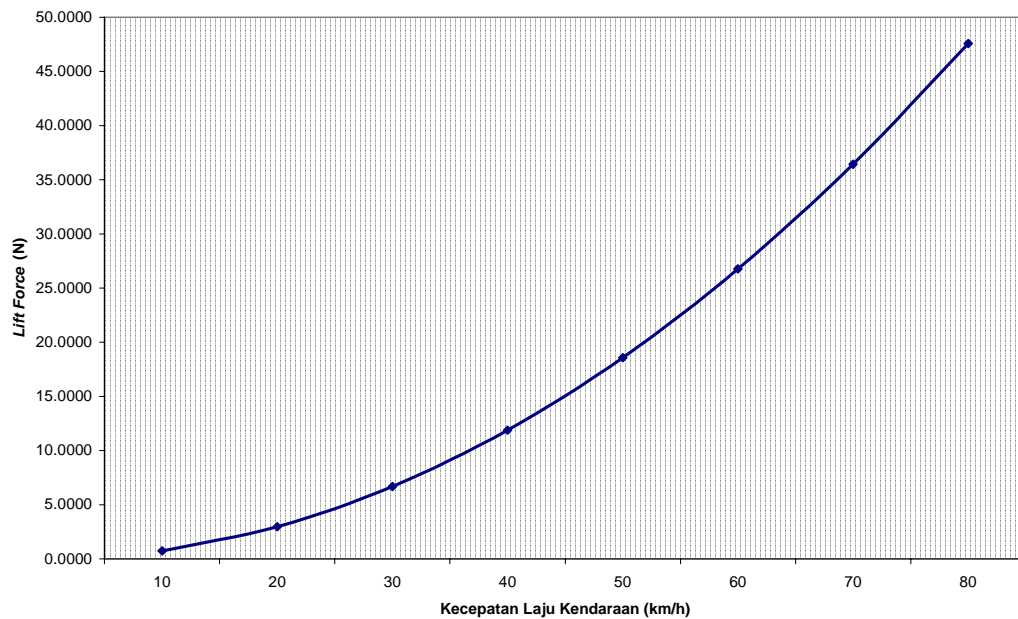
Dari data hasil perhitungan *drag force* skala penuh pada tabel 5.7 diperlihatkan dalam bentuk grafik pada gambar 5.10.

Grafik *Drag Force* Fungsi Kecepatan Skala PenuhGambar 5.10 Grafik *drag force* fungsi kecepatan pada skala penuh

Kurva grafik hasil perhitungan pada gambar 5.10 menunjukkan *trend* yang sama dengan kurva grafik *drag force* hasil pengujian pada gambar 5.3 dimana masing-masing grafik menuju pada peningkatan *drag force*. Peningkatan *drag force* ini sebanding dengan kecepatan secara kuadratik.

### 5.2.8 Hubungan *Lift Force* Skala Penuh dengan Kecepatan

Dari data hasil perhitungan *lift force* skala penuh pada tabel 5.8 diperlihatkan dalam bentuk grafik pada gambar 5.11.

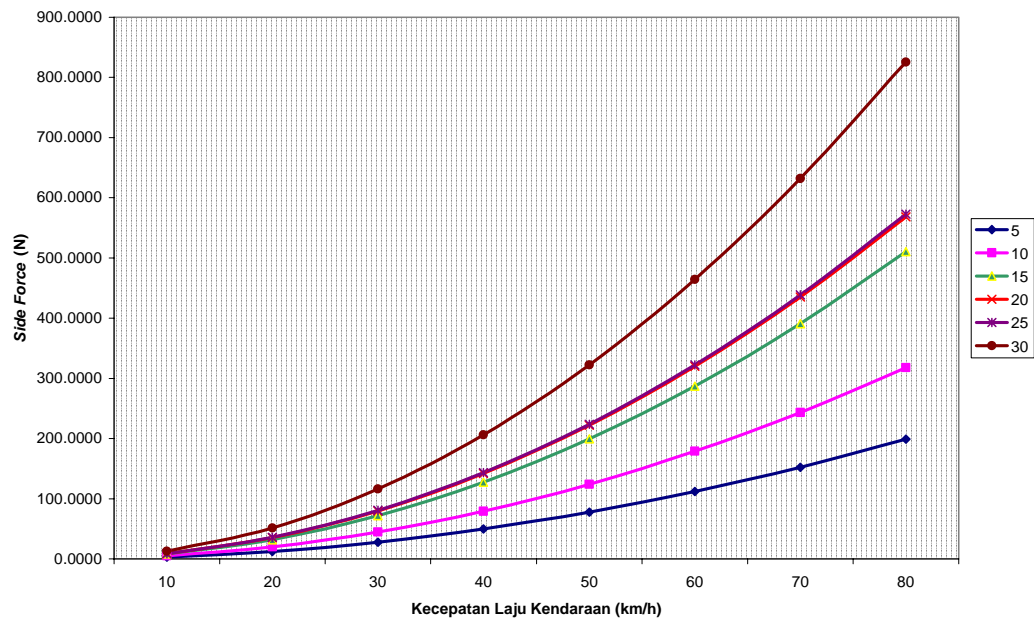
Grafik *Lift Force* Fungsi Kecepatan Skala PenuhGambar 5.11 Grafik *lift force* fungsi kecepatan pada skala penuh

Kurva grafik hasil perhitungan pada gambar 5.11 menunjukkan *trend* yang sama dengan kurva grafik *lift force* hasil pengujian pada gambar 5.4 dimana masing-masing grafik menuju pada peningkatan *lift force*. Peningkatan *lift force* ini sebanding dengan kecepatan secara kuadratik.

### 5.2.9 Hubungan *Side Force* Skala Penuh dengan Kecepatan

Dari data hasil perhitungan *side force* skala penuh pada tabel 5.9 diperlihatkan dalam bentuk grafik pada gambar 5.12.

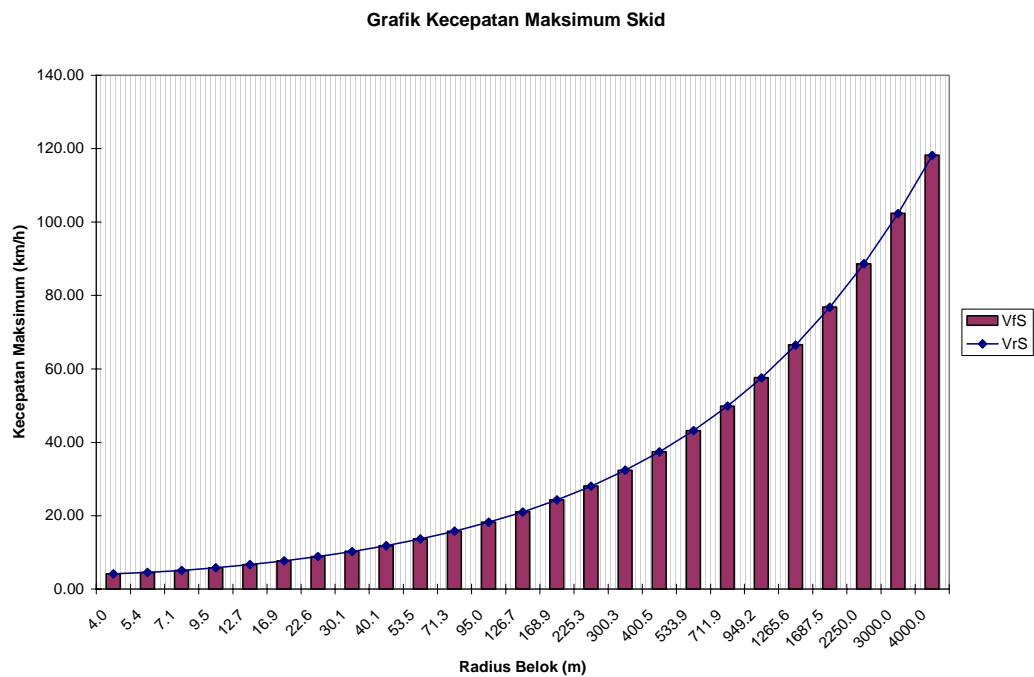
Grafik Side Force Fungsi Kecepatan Skala Penuh

Gambar 5.12 Grafik *side force* fungsi kecepatan pada skala penuh

Kurva grafik hasil perhitungan pada gambar 5.12 menunjukkan *trend* yang sama dengan kurva grafik *side force* hasil pengujian pada gambar 5.5 dimana masing-masing grafik menuju pada peningkatan *side force*. Peningkatan *side force* ini sebanding dengan kecepatan secara kuadratik.

### 5.2.10 Hubungan Radius Belok dengan Kecepatan Maksimal Skid

Dari data hasil perhitungan kecepatan maksimal batas roda depan ( $V_{fs}$ ) dan belakang ( $V_{rs}$ ) sesaat akan skid pada tabel 5.12 diperlihatkan dalam bentuk grafik kecepatan maksimal terhadap radius belok pada gambar 5.13.



Gambar 5.13 Grafik kecepatan maksimal saat akan skid terhadap radius belok

Kurva kecepatan maksimum terhadap radius belok yang dibentuk oleh kecepatan maksimum skid hampir berhimpit antara pada roda depan dan pada roda belakang. Hal ini diakibatkan oleh titik berat mobil mini yang hampir terletak di tengah *wheel base*. Idealnya titik berat mobil terletak di tengah di antara *wheel base* dimana dapat menimbulkan kestabilan manuver kendaraan yang optimal.

Kurva grafik pada gambar 5.13 merupakan batas kecepatan roda depan dan belakang dimana jika kendaraan belok dengan radius tertentu maka kecepatan maksimal mobil mini dapat ditentukan, jika melebihi kecepatan pada kurva tersebut maka mobil mini dipastikan skid baik roda depan maupun roda belakang.