

Tinjauan Beban Aerodinamis Terhadap Kinerja Stabilitas Arah Kendaraan

I Ketut Adi Atmika, I Putu Lokantara

Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Badung

Kampus Bukit Jimbaran Bali 80362

email : tutadi@me.unud.ac.id, tutadi2001@yahoo.com

Abstrak

Beban aerodinamis atau gaya dan momen angin pada kendaraan dapat mempengaruhi kinerja kestabilan arah kendaraan. Seberapa besar pengaruhnya tentunya tergantung dari kondisi beban angin itu sendiri dan kondisi operasi kendaraan.

Penelitian ini dititik beratkan pada bagaimana memformulasikan beban dan momen aerodinamis dalam suatu plant kinerja stabilitas arah kendaraan. Analisa gerak kendaraan menggunakan metode Quasi Dinamik dan disimulasikan pada kondisi jalan datar dan jalan miring.

Besarnya pengaruh beban aerodinamis terhadap perilaku arah kendaraan pada kondisi jalan datar dan jalan miring berkisar antara 0 sampai dengan 0,00399 ditunjukkan oleh nilai yaw. Sedangkan sifat belok kendaraan awalnya understeer, kemudian dengan bertambahnya sudut steer tahap tertentu mengalami oversteer.

Kata kunci : aerodinamis, perilaku arah kendaraan, metode Quasi Dinamik, yaw, understeer, oversteer

1. PENDAHULUAN

Mobil yang bergerak dalam udara atmosfer dipengaruhi oleh adanya interaksi antara mobil dengan jalan, akan mengalami gaya-gaya aerodinamika yang besar serta arahnya tergantung pada kecepatan relatif antara udara dengan benda itu sendiri. Didalam pendekatan terhadap aerodinamika kendaraan, diasumsikan tidak ada angin yang berhembus (atmosfer sebagai kesatuan dengan tanah) dan kecepatan kendaraan dapat dianggap konstan.

Pada dasarnya semua fenomena aerodinamis yang terjadi pada kendaraan disebabkan adanya gerakan relatif dari udara di sepanjang bentuk bodi kendaraan. *Streamline* adalah garis-garis yang dibuat sedemikian rupa di dalam medan kecepatan, sehingga setiap saat garis-garis tersebut akan searah dengan aliran di setiap titik di dalam medan aliran tersebut. Dengan demikian *streamline-streamline* itu akan membentuk pola aliran udara di sekeliling bodi kendaraan. *Streamline* pada tempat yang jauh dari kendaraan akan sejajar dan tidak terganggu. Sedangkan *streamline* disekitar kendaraan akan mempunyai pola aliran yang sangat kompleks dikarenakan bentuk kendaraan itu sendiri yang kompleks sehingga di sekeliling kendaraan akan terdapat daerah gangguan aliran udara. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa gerakan dari partikel yang terletak jauh dari kendaraan akan memiliki kecepatan relatif yang sama dengan kecepatan kendaraan. Sedangkan pada daerah gangguan di sekeliling kendaraan, maka kecepatan relatif dari partikel sangat bervariasi, lebih besar atau lebih kecil dari kecepatan aktual kendaraan.

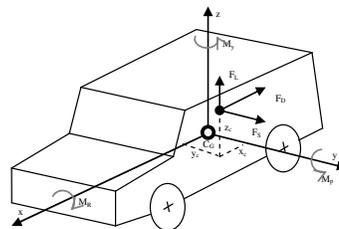
Permasalahan beban aerodinamis atau beban angin pada kendaraan akan disederhanakan dengan

melihat posisi *Centre of Pressure (CP)* pada kendaraan, kemudian analisa gerak kendaraan difokuskan pada *Center of Gravity (CG)*. Dengan demikian kita akan memformulasikan semua beban angin tersebut ke dalam analisa gerak kendaraan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Gambaran CP terhadap CG

Analisa gerak kendaraan difokuskan pada *Centre of Gravity (CG)*, sedangkan beban aerodinamis bekerja pada *Centre of Pressure (CP)*, dengan demikian dibuat formulasi beban aerodinamis tersebut ketika kita menganalisa gerak kendaraan. Gambaran posisi CP terhadap CG ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Posisi CP terhadap CG

2.2. Gaya dan Momen Aerodinamis

Resultan dari gaya aerodinamik diuraikan dalam tiga komponen gaya sebagai berikut :

- Gaya hambat aerodinamik F_D (*Aerodynamic drag force*), dengan garis kerja horizontal, dan berlawanan arah dengan arah gerak kendaraan.

- Gaya angkat aerodinamik F_L (*Aerodynamic lift force*), yang bekerja dengan arah vertikal ke atas.
- Jika aliran udara tidak sejajar dengan bidang simetri bodi kendaraan, pola aliran udara akan tidak simetris. Hal ini akan menyebabkan timbulnya komponen gaya aerodinamik yang bekerja dalam bidang horizontal tapi dengan arah kanan terhadap gaya hambat dan gaya angkat. Gaya ini disebut dengan gaya samping aerodinamik F_S (*Aerodynamic side force*).

Komponen dari gaya aerodinamik ini dapat dituliskan sebagai berikut :

Untuk gaya hambat (*DragForce*) :

$$F_D = \frac{\rho V_a^2}{2} A_{fd} C_D$$

Untuk gaya angkat (*Lift force*) :

$$F_L = \frac{\rho V_a^2}{2} A_{fb} C_L$$

Untuk gaya samping (*Side Force*) :

$$F_S = \frac{\rho V_a^2}{2} A_{fs} C_S$$

dimana

V_a = kecepatan relatif angin terhadap kendaraan

A_f = luasan bagian depan pada kendaraan.

A_{fb} = luasan bagian bawah (*base*) pada kendaraan.

A_{fs} = luasan bagian samping pada kendaraan.

Kemudian karena analisa dinamika kendaraan yang difokuskan pada CG, maka akan melibatkan momen yang disebut momen aerodinamik. Momen ini dapat diuraikan juga menjadi tiga komponen, yaitu :

- Momen Rolling Aerodinamik (M_R)
Momen rolling M_R , disebabkan oleh gaya samping F_S (*side force*) yang bekerja pada jarak Z_c dan gaya angkat F_L (*lift force*) yang bekerja pada jarak y_c dari *Centre of Gravity*.
$$M_R = F_L y_c - F_S Z_c \quad (1)$$
- Momen Pitching Aerodinamik (M_P)
Momen pitching M_P , disebabkan oleh adanya gaya hambat F_D (*drag force*) yang bekerja pada jarak Z_c dan gaya angkat F_L (*lift force*) yang bekerja pada jarak x_c dari *Centre of Gravity*.
$$M_P = -F_L x_c - F_D Z_c \quad (2)$$

Momen Yawing Aerodinamik (M_Y)

Momen yawing M_Y , disebabkan oleh adanya gaya hambat F_D (*drag force*) yang bekerja pada jarak y_c dan gaya samping F_S (*side force*) pada jarak x_c dari *Centre of Gravity* kendaraan.

$$M_Y = F_D y_c + F_S x_c \quad (3)$$

2.2. Sudut Slip

Analisa gerak kendaraan difokuskan pada kondisi jalan belok, karena pada kondisi ini adalah keadaan paling kritis untuk gerak kendaraan. Seperti diketahui bahwa pada kondisi belok, akan timbul gaya centrifugal yang akan menyebabkan terjadinya sudut slip pada ban. Sudut slip inilah yang mempengaruhi perilaku arah kendaraan. Dengan demikian fokus perhitungan disini bermula dari bagaimana kita mendapatkan besarnya sudut slip pada masing-masing ban.

Sudut slip dipengaruhi oleh banyak faktor diantaranya, keausan ban (A), konstruksi ban (K), gaya normal (F_z), gaya lateral (F_y), dan gaya longitudinal (F_x). Dari gambaran diatas fokus kita adalah mencari besarnya gaya normal, gaya lateral, dan gaya longitudinal yang bekerja pada masing-masing ban dengan memasukkan beban aerodinamis, kemudian pengaruhnya terhadap sudut slip. Besarnya sudut slip untuk ban bias baru ditunjukkan pada persamaan 4.

$$\alpha_i = \frac{C_{rp}}{C_{rs}} \cdot \frac{C_{rx_i}}{C_{roi}} [0,087935(F_{y_i})^{0,79008} - 0,005277(F_{z_i})] \quad (4)$$

dimana :

$$C_{rp} = 33,5 + 5,30 (P) - 0,0916 (P)^2$$

$$C_{rs} = 33,5 + 5,30 (P_s) - 0,0916 (P_s)^2$$

P = tekanan ban pada kondisi operasi (psi)

P_s = tekanan ban standar (25 psi)

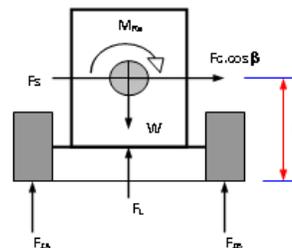
$$C_{rx_i} = \left[\frac{F_y \alpha_i + 0,107927(F_{x_i})}{161,1398} \right]^{0,474998}$$

$$C_{roi} = \left[\frac{F_y \alpha_i}{161,1398} \right]^{0,474998}$$

i = 1,2,3 dan 4

2.3. Gaya Normal Pada Roda

Gaya Normal Pada Jalan datar



Gambar 2. Gaya dan Momen pada kendaraan belok pada jalan datar

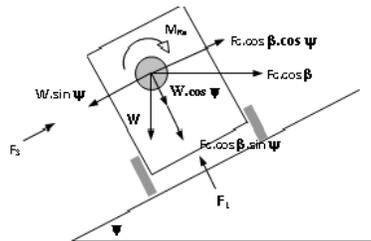
Dengan mengacu pada gambar 2 dan menerapkan rumus standar statika, besar gaya normal pada masing-masing roda dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 F_{z1} &= \frac{L_1(W - F_L)}{2.L} - \frac{L_1}{L} \left(\frac{F_c \cos \beta h + M_{Ra} + F_s h}{t_r} \right) - \frac{\left(\frac{W}{g} \alpha + F_c \sin \beta - F_d \right) h - M_{Pa}}{2.L} \\
 F_{z2} &= \frac{L_2(W - F_L)}{2.L} - \frac{L_2}{L} \left(\frac{F_c \cos \beta h + M_{Ra} + F_s h}{t_f} \right) + \frac{\left(\frac{W}{g} \alpha + F_c \sin \beta - F_d \right) h - M_{Pa}}{2.L} \\
 F_{z3} &= \frac{L_2(W - F_L)}{2.L} + \frac{L_2}{L} \left(\frac{F_c \cos \beta h + M_{Ra} + F_s h}{t_f} \right) + \frac{\left(\frac{W}{g} \alpha + F_c \sin \beta - F_d \right) h - M_{Pa}}{2.L} \\
 F_{z4} &= \frac{L_1(W - F_L)}{2.L} + \frac{L_1}{L} \left(\frac{F_c \cos \beta h + M_{Ra} + F_s h}{t_r} \right) - \frac{\left(\frac{W}{g} \alpha + F_c \sin \beta - F_d \right) h - M_{Pa}}{2.L} \quad (5)
 \end{aligned}$$

dimana :

- W = berat kendaraan (N)
- F_L = gaya angkat aerodinamis (N)
- F_c = gaya centrifugal akibat belok (N)
- F_s = gaya samping aerodinamis (N)
- F_d = gaya hambat aerodinamis (N)
- M_{Ra} = Momen Rolling aerodinamis (Nm)
- M_{Pa} = Momen Pitching aerodinamis (Nm)
- β = sudut side slip (°)
- L = panjang Wheelbase (m)
- L₁ = jarak poros depan terhadap CG (m)
- L₂ = jarak poros belakang terhadap CG (m)
- t_f = jarak antar ban kiri dan kanan roda depan (m)
- t_r = jarak antar ban kiri dan kanan roda belakang (m)

Gaya Normal Pada Jalan miring



Gambar 3. Gaya dan Momen pada kendaraan belok pada jalan miring

Dengan mengacu pada gambar 2 dan gambar 3 serta menerapkan rumus standar statika, besar gaya normal pada masing-masing roda dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 F_{z1} &= \frac{L_1(W \cos \psi + F_c \cos \beta \sin \psi - F_L)}{2.L} - \frac{L_1}{L} \left(\frac{F_c \cos \beta \sin \psi h + W \sin \psi h + M_{Ra} + F_s h}{t_r} \right) - \frac{\left(\frac{W}{g} \alpha + F_c \sin \beta - F_d \right) h - M_{Pa}}{2.L} \\
 F_{z2} &= \frac{L_2(W \cos \psi + F_c \cos \beta \sin \psi - F_L)}{2.L} - \frac{L_2}{L} \left(\frac{F_c \cos \beta \sin \psi h + W \sin \psi h + M_{Ra} + F_s h}{t_f} \right) + \frac{\left(\frac{W}{g} \alpha + F_c \sin \beta - F_d \right) h - M_{Pa}}{2.L} \\
 F_{z3} &= \frac{L_2(W \cos \psi + F_c \cos \beta \sin \psi - F_L)}{2.L} + \frac{L_2}{L} \left(\frac{F_c \cos \beta \sin \psi h + W \sin \psi h + M_{Ra} + F_s h}{t_f} \right) + \frac{\left(\frac{W}{g} \alpha + F_c \sin \beta - F_d \right) h - M_{Pa}}{2.L}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{z4} &= \frac{L_1(W \cos \psi + F_c \cos \beta \sin \psi - F_L)}{2.L} + \frac{L_1}{L} \left(\frac{F_c \cos \beta \sin \psi h + W \sin \psi h + M_{Ra} + F_s h}{t_r} \right) - \frac{\left(\frac{W}{g} \alpha + F_c \sin \beta - F_d \right) h - M_{Pa}}{2.L} \quad (6)
 \end{aligned}$$

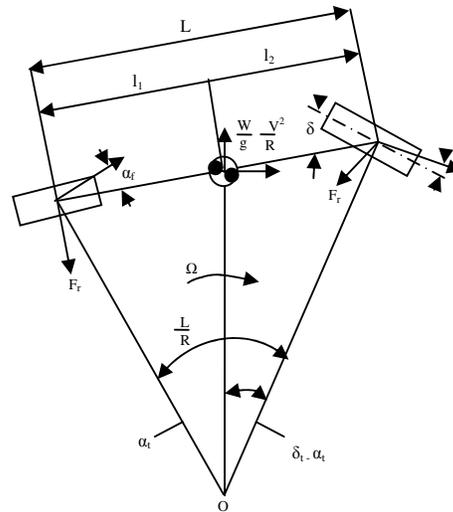
dimana :

ψ = sudut kemiringan jalan

2.4. Understeer dan Oversteer

Salah satu terminologi dalam menentukan sifat pengendalian kendaraan adalah *understeer* dan *oversteer*. Pengertian ini telah menjadi sumber dalam menggali lebih lanjut sifat-sifat pengendalian kendaraan. Pengertian ini berkembang mulai tahun 1930.

Konsep ini dapat dijelaskan dengan memperhatikan gambar 4, dengan menyederhanakan pasangan ban pada poros kendaraan.



Gambar 4. Pasangan roda yang disederhanakan.

Karakteristik pengendalian dari kendaraan tergantung kepada hubungan antara sudut slip yang terjadi pada ban depan dan ban belakang kendaraan.

Dari standar geometri, hubungan antara sudut steer pada ban depan (δ_f), radius putar (R), wheel base (L), dan sudut slip pada ban depan dan ban belakang α_f dan α_r adalah :

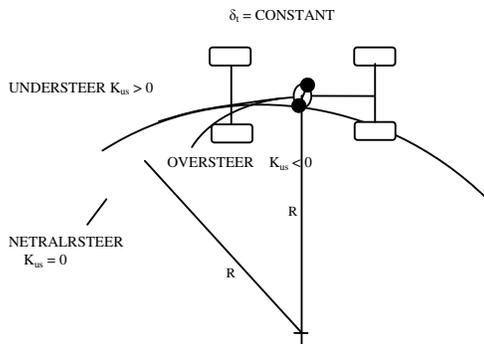
$$\begin{aligned}
 \delta_f &= \alpha_f - \alpha_r + \frac{L}{R} \\
 \delta_f &= \frac{L}{R} + \left[\frac{W_f}{C\alpha_f} - \frac{W_r}{C\alpha_r} \right] \frac{V^2}{g R} \\
 &= \frac{L}{R} + K_{us} \frac{V^2}{g R}
 \end{aligned}$$

dimana K_{us} adalah konstanta *understeer* yang harganya dinyatakan dalam radian.

Apabila harga K_{us} adalah positif, yang berarti bahwa sudut slip ban depan lebih besar dari sudut slip pada ban belakang, sudut steer δ_f yang

dibutuhkan untuk menjalani lintasan yang telah ditentukan bertambah dengan akurat dari kecepatan kendaraan. Kendaraan dengan sifat seperti ini disebut *understeer*.

Untuk kendaraan *understeer*, ketika dipercepat dengan radius belok yang konstan, pengemudi harus menambah sudut steer. Dengan kata lain, ketika kendaraan dipercepat dengan roda kemudi yang tetap, radius belok akan bertambah besar seperti digambarkan pada gambar 5. Ketika gaya samping bekerja pada titik pusat massa kendaraan *understeer* yang berjalan lurus, ban depan akan menghasilkan sudut slip yang lebih besar dari pada ban belakang ($\alpha_f > \alpha_r$). Sebagai akibatnya, terjadi gerakan yaw dan kendaraan akan berbelok searah dengan gaya samping.



Gambar 5. Respon lintasan dari kendaraan neutralsteer understeer, oversteer pada sudut steer konstan.

Jika harga K_{us} adalah negatif, artinya sudut slip pada roda depan α_f lebih kecil dari sudut slip pada roda belakang α_r ($\alpha_f < \alpha_r$), sudut steer yang dibutuhkan untuk menjalani lintasan yang diberikan berkurang dengan pertambahan kecepatan kendaraan. Kendaraan dengan sifat pengendalian seperti ini disebut dengan *oversteer*.

Untuk kendaraan *oversteer*, ketika dipercepat pada radius putar yang dijaga konstan, pengemudi harus mengurangi sudut steer. Dengan kata lain, ketika dipercepat dengan sudut steer yang tetap, radius putar akan berkurang. Jika gaya samping bekerja pada titik massa kendaraan *oversteer* yang pada awalnya pada lintasan yang lurus, ban depan akan menghasilkan sudut slip yang lebih kecil dari yang dihasilkan oleh ban belakang, dan kendaraan akan berbelok menuju arah datangnya gaya samping.

Dengan demikian dapat diberikan suatu pengertian yaitu *understeer* adalah perilaku kendaraan yang amat sulit untuk dibelokkan, sedangkan *oversteer* adalah perilaku kendaraan yang amat susah dikendalikan.

Apabila harga $K_{us} = 0$, yang artinya sudut slip pada roda depan dan belakang berharga sama ($\alpha_f = \alpha_r$), sudut steer (δ_f) yang dibutuhkan untuk

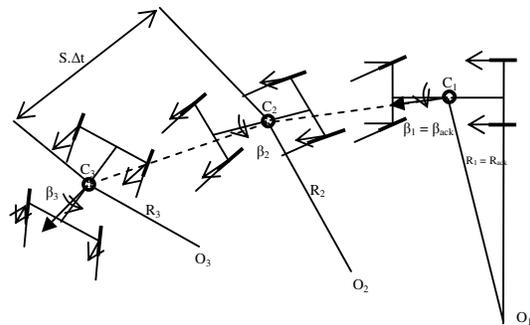
menjalani lintasan yang ditentukan tidak tergantung kepada kecepatan kendaraan dan dirumuskan :

$$\delta_f = \frac{L}{R}$$

Kendaraan dengan sifat pengendalian seperti ini disebut dengan *netral steer*.

Untuk kendaraan *netral steer*, jika dipercepat pada radius belok yang konstan, pengemudi harus menjaga agar posisi roda kemudi tetap konstan. Atau dengan kata lain, ketika kendaraan dipercepat dengan roda kemudi dijaga konstan, radius belok akan dijaga konstan. Ketika kendaraan *netral steer* yang melewati lintasan lurus dikenai gaya samping pada pusat massa kendaraan, sudut slip yang sama akan terjadi pada ban depan dan ban belakang ($\alpha_f = \alpha_r$). Sebagai akibatnya kendaraan akan mengikuti lintasan yang lurus yang membentuk sudut terhadap lintasan awalnya.

Gerakan dari kendaraan dengan menunjukkan *increment* waktu adalah diberikan pada gambar 6.



Gambar 6. Gerakan kendaraan dengan increment waktu.

Increment waktu t yang sesuai untuk konsep ini adalah ditentukan oleh kecepatan kendaraan V dan radius putar kendaraan R . Waktu t bisa didapat dari jarak travel kendaraan dari satu titik ke titik berikutnya, dimana jalan ini harus sesuai demi tercapainya akurasi. Dengan demikian t adalah fungsi dari jarak travel titik ke titik (S), kecepatan putar (V), dan radius putar (R). Dapat dibuat model matematisnya sebagai berikut :

$$\Delta t = f (S, V, R)$$

Umumnya perbandingan antara S dan R harus cukup kecil untuk supaya kurva gerakan kendaraan menjadi lebih halus. Jika perbandingan tersebut diberi nama r maka t bisa didapat dengan rumus sebagai berikut :

$$\Delta t = \frac{r R}{V}$$

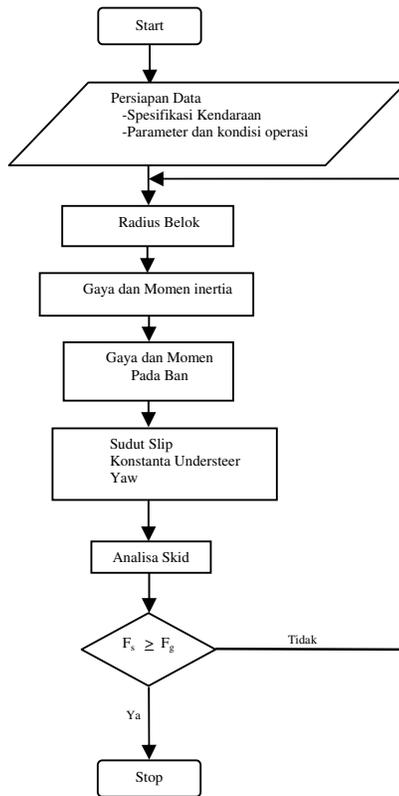
Untuk kendaraan belok, gerakan berputar atau yawing (Y_r) adalah parameter penting untuk ditinjau.

$$Y_r = \frac{V \cdot \delta_f}{(a+b)57,29} = \frac{V}{R}$$

dimana : δ_f = dalam derajat

3. METODE PENELITIAN

Analisa perilaku arah kendaraan memanfaatkan konsep atau metode Kalkulasi Quasi Dinamik, dimana dalam proses kalkulasi ini, kendaraan dalam gerakan dinamis dianalisa seolah-olah sebagian dalam keadaan statis, dengan demikian ini disebut sebagai *quasi dinamik atau quasi static* serta dalam analisa perhitungan akan dibantu dengan menggunakan program komputer. Langkah-langkah perhitungan ditunjukkan pada gambar 7.



Gambar 7. Flowchart perhitungan

4. HASIL DAN DISKUSI

4.1. Data Model Kendaraan Uji

Kendaraan yang dipakai sebagai model uji adalah kendaraan Daihatsu Taruna CX.

- Berat Total (W_t) = 10878 N
- Panjang Wheel Base (L) = 2.15 m
- Tinggi titik berat (h_t) = 0.6 m
- Jarak CG dari poros depan (a) = 1,375 m
- Lebar track Depan (T_f) = 1.3 m
- Lebar track Belakang (T_r) = 1.3 m
- Berat Sprung (W_s) = 6389,6 N

Unsprung

- Berat depan (W_{uf}) = 1514,1 N
- Berat belakang (W_{ur}) = 23058,16 N
- Tinggi titik berat depan (h_{uf}) = 0.325 m
- Tinggi titik berat belakang (h_{ur}) = 0.325 m

Sumbu rolling :

- Tinggi bagian depan (h_f) = 0.19 m
- Tinggi bagian belakang (h_r) = 0.21 m

Roda (ban radial Baru)

- Kekakuan ban depan (R_{uf}) = 4000 N/m
- Kekakuan ban belakang (R_{ur}) = 6000 N/m
- Berat ban (W_1, W_2, W_3, W_4) = 250 N

Suspensi

- Konstanta pegas depan (R_{sf}) = 46700,46 N/m
- Konstanta pegas belakang (R_{sr}) = 64003,14 N/m

Muatan (W_1) = 2744 N

4.2. Hasil dan Analisa

Gambaran pengaruh beban aerodinamik terhadap perilaku kendaraan (R, K_{us} dan Yaw) yaitu dapat dilihat pada tabel 1 dan tabel 2 .

Tabel 1. Nilai R, Kus, dan Yaw pada kondisi jalan datar

δ_f	JALAN DATAR					
	TANPA BEBAN AERODINAMIK			DENGAN BEBAN AERODINAMIK		
	R	K_{us}	Yaw	R	K_{us}	Yaw
3	41.0578	0.029532	0.24356	41.0578	0.029452	0.24356
3.5	35.3699	0.011252	0.28273	35.3737	0.011243	0.2827
4	31.1881	0.011849	0.32064	31.191	0.011817	0.32061
4.5	27.831	0.0089198	0.35931	27.8332	0.0088799	0.35928
5	25.1142	0.0065004	0.39818	25.1159	0.0064556	0.39815
5.5	22.8711	0.0040777	0.43723	22.8724	0.0040328	0.43721
6	20.9917	0.0019343	0.47638	20.9928	0.0018905	0.47635
6.5	19.3954	3.99E-05	0.51559	19.3962	-2.23E-06	0.51556
7	18.0231	-0.001624	0.55484	18.0239	-0.001665	0.55482
7.5	16.8312	-0.003092	0.59413	16.8319	-0.00313	0.59411
8	15.7865	-0.00439	0.63345	15.7871	-0.004427	0.63343
8.5	14.8634	-0.005544	0.67279	14.8639	-0.005579	0.67277
9	14.0419	-0.006575	0.71215	14.0424	-0.006608	0.71213
9.5	13.3062	-0.007498	0.75153	13.3066	-0.00753	0.75151
10	12.6435	-0.008329	0.79092	12.6439	-0.008359	0.7909
10.5	12.0436	-0.009078	0.83032	12.0439	-0.009107	0.8303
11	11.4978	-0.009755	0.86973	11.4981	-0.009783	0.86971
11.5	10.9993	-0.010369	0.90915	10.9995	-0.010396	0.90913
12	10.5421	-0.010926	0.94858	10.5423	-0.010952	0.94856
12.5	10.1213	-0.011432	0.98801	10.1215	-0.011457	0.98799
13	9.73279	-0.011893	1.0275	9.73299	-0.011916	1.0274
13.5	9.37294	-0.012311	1.0669	9.37313	-0.012334	1.0669
14	9.03871	-0.012692	1.1064	9.03888	-0.012714	1.1063
14.5	8.72746	-0.013038	1.1458	8.72762	-0.013059	1.1458
15	8.4369	-0.013353	1.1853	8.43705	-0.013373	1.1852
15.5	8.16504	-0.013638	1.2247	8.16518	-0.013657	1.2247
16	7.91013	-0.013896	1.2642	7.91026	-0.013915	1.2642
16.5	7.67063	-0.014129	1.3037	7.67075	-0.014147	1.3037
17	7.44519	-0.014339	1.3431	7.44531	-0.014356	1.3431
17.5	7.23261	-0.014527	1.3826	7.23272	-0.014544	1.3826
18	7.03182	-0.014695	1.4221	7.03192	-0.014711	1.4221

Pada tabel 1., besarnya nilai R tanpa beban pada jalan datar lebih kecil dibandingkan dengan R yang berbeban sedangkan K_{us} tanpa beban lebih besar dibandingkan dengan yang berbeban di tiap tahap demi tahapnya begitu juga untuk besarnya nilai Yaw tanpa beban lebih besar daripada Yaw berbeban aerodinamik.

Tiap tahapan sudut steer yang diberikan mempunyai selisih nilai yang relatif kecil diantara keduanya. Sudut steer yang diberikan tahap demi tahap pada jalan datar diatas menunjukkan besarnya radius belok (R) dan K_{us} semakin mengecil sedangkan besarnya Yaw semakin membesar. Nilai K_{us} yang semakin mengecil tiap tahapnya dimana nilai tiap sudut steer yang diberikan nilai K_{us} adalah positif ini berarti kendaraan mengalami understeer(susah dibelokkan) sedangkan jika nilainya negatif kendaraan mengalami susah dikendalikan (oversteer).

Tabel 2. Nilai R, K_{us} , dan Yaw pada kondisi jalan miring

δ_f	PADA JALAN MIRING					
	TANPA BEBAN AERODINAMIK			DENGAN BEBAN AERODINAMIK		
	R	K_{us}	Yaw	R	K_{us}	Yaw
3	41.0578	0.036684	0.24356	41.0578	0.036595	0.24356
3.5	35.4402	0.020103	0.28217	35.444	0.020076	0.28214
4	31.2416	0.020321	0.32009	31.2445	0.020274	0.32006
4.5	27.8693	0.017159	0.35882	27.8715	0.017111	0.35879
5	25.1414	0.014685	0.39775	25.143	0.014635	0.39773
5.5	22.8908	0.012324	0.43686	22.892	0.012276	0.43683
6	21.0061	0.010282	0.47605	21.0072	0.010236	0.47603
6.5	19.4058	0.0084999	0.51531	19.4067	0.0084572	0.51529
7	18.0305	0.0069471	0.55462	18.0312	0.0069068	0.55459
7.5	16.8362	0.0055855	0.59396	16.8368	0.0055477	0.59394
8	15.7895	0.0043851	0.63333	15.79	0.0043495	0.63331
8.5	14.8647	0.0033205	0.67273	14.8652	0.0032871	0.67271
9	14.0418	0.0023716	0.71216	14.0422	0.0023401	0.71214
9.5	13.3049	0.0015216	0.7516	13.3053	0.0014919	0.75158
10	12.6412	0.0007568	0.79106	12.6415	0.0007288	0.79104
10.5	12.0403	6.60E-05	0.83054	12.0406	3.96E-05	0.83052
11	11.4937	-0.00056	0.87004	11.494	-0.000585	0.87002
11.5	10.9945	-0.00113	0.90955	10.9947	-0.001153	0.90953
12	10.5366	-0.001649	0.94907	10.5368	-0.001671	0.94905
12.5	10.1153	-0.002124	0.9886	10.1155	-0.002145	0.98859
13	9.7262	-0.002559	1.0282	9.72637	-0.002579	1.0281
13.5	9.36585	-0.002959	1.0677	9.36601	-0.002978	1.0677
14	9.03117	-0.003327	1.1073	9.03131	-0.003345	1.1073
14.5	8.7195	-0.003666	1.1469	8.71963	-0.003683	1.1468
15	8.42856	-0.003979	1.1864	8.42868	-0.003995	1.1864
15.5	8.15634	-0.004269	1.226	8.15645	-0.004284	1.226
16	7.9011	-0.004537	1.2656	7.90121	-0.004551	1.2656
16.5	7.6613	-0.004786	1.3053	7.6614	-0.004799	1.3052
17	7.43558	-0.005017	1.3449	7.43567	-0.005029	1.3449
17.5	7.22274	-0.005231	1.3845	7.22282	-0.005243	1.3845
18	7.0217	-0.00543	1.4242	7.02178	-0.005441	1.4241

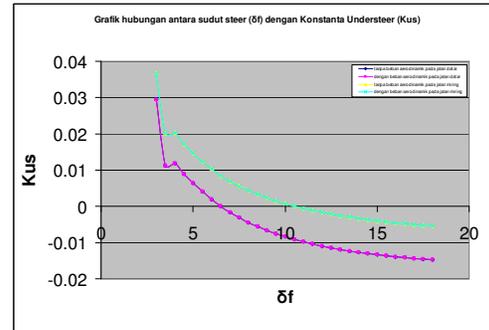
Pada tabel 2., sama halnya pada perbandingan pada jalan datar, besarnya nilai R tanpa beban pada jalan miring lebih kecil dibandingkan dengan R yang berbeban sedangkan K_{us} dan Yaw tanpa beban lebih besar dibandingkan dengan yang berbeban di tiap tahap penambahan sudut steernya namun selisih yang ditunjukkan pada tabel menunjukkan selisih nilainya yang tidak terlalu besar.

Pada sudut steer yang diberikan tahap demi tahap menunjukkan besarnya radius belok (R) dan K_{us} semakin mengecil sedangkan besarnya Yaw semakin membesar. Nilai K_{us} yang semakin mengecil tiap tahapnya dimana nilai tiap sudut steer yang diberikan pada kendaraan adalah positif, ini berarti kendaraan mengalami sifat understeer sedangkan jika nilainya negatif kendaraan mengalami oversteer.

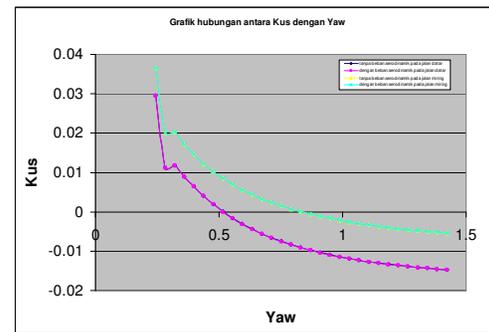
Dari selisih nilai tersebut di atas, semakin kecil K_{us} mengakibatkan kendaraan akan susah dikendalikan maka dari hasil diatas kendaraan yang

diberi beban aerodinamik akan lebih cepat mengalami oversteer dibandingkan tanpa beban aerodinamik.

Dalam bentuk grafik hubungan antara sudut steer dan K_{us} ditunjukkan pada gambar 8, sedangkan grafik hubungan antara Yaw dan K_{us} ditunjukkan pada gambar 9.



Gambar 8. Grafik hubungan δ_f dengan K_{us} untuk keseluruhan kondisi



Gambar 9. Grafik hubungan K_{us} dengan Yaw untuk keseluruhan kondisi

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan analisa, maka ada beberapa hal dapat disimpulkan:

1. Besarnya pengaruh beban aerodinamik terhadap perilaku arah kendaraan pada semua kondisi adalah sebesar 0 sampai dengan 0,00399 .
2. Semakin besar sudut steer yang diberikan maka nilai R dan K_{us} semakin mengecil dimana nilai R adalah 0,020079 sampai dengan 5,6879, nilai K_{us} antara 0,000167 sampai dengan 0,01828 sedangkan nilai yaw yang terjadi pada kendaraan semakin besar yaitu 0,0394 sampai dengan 0,0399.
3. Besarnya nilai K_{us} dan Yaw tanpa beban aerodinamik (pada jalan datar dan jalan miring) lebih besar dibandingkan dengan yang berbeban aerodinamik yaitu nilai $K_{us} = 9 \cdot 10^{-6}$ sampai dengan $4,49 \cdot 10^{-5}$ dan nilai Yaw antara 0 sampai dengan $3 \cdot 10^{-5}$. Sedangkan nilai R tanpa beban

aerodinamik lebih kecil dibandingkan nilai R yang berbeban aerodinamik. Sifat belok kendaraan pada awalnya mengalami *understeer* (susah dibelokkan) yang kemudian pada penambahan sudut steer tahap tertentu mengalami *oversteer* (susah dikendalikan)

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Katsunori Fujihashi, Kenji Okumura (2000), *Analysis of Vehicle Stability in Crosswinds*, Jepang.
- [2] Kou Sasaki, Yoshiaki Utsugi, Koichi Uchikawa, Tetsuo Fujinuki, Hiroshi Nagasawa (2000), *Vehicle Dynamics Simulation Using Flexible Body*, Jepang.
- [3] *Seoul 2000 FISITA World Automotive Congress June 12-15, 2000*, Seoul, Korea.
- [4] Sutantra, I Nyoman (2001), *Teknologi Otomotif Teori dan Aplikasinya*, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya.
- [5] Wolf-Heinrich, Hucho (1987), *Aerodynamics of Road Vehicles*, London, Butterworth.