

Analisis Gaya-gaya Hambatan Dinamis Pada Kendaraan

Ady Rukma

Teknik Mesin Universitas Negeri Makassar
Kampus Parangtambung Jl. Daeng. Tata Raya Makassar
adyrukma@rocketmail.com

Abstrak

Pada penelitian ini akan dibuktikan dengan cara menganalisis gaya-gaya hambatan pada kendaraan pada berbagai tingkat kecepatan, kondisi jalan (material jalan, dan belokan) dan beban dari kendaraan. Berat kendaraan divariasikan pada tiga tingkat yaitu berat kosong, menengah dan penuh, sedangkan kecepatan divariasikan pada 5 kecepatan, 35 km/h, 50 km/h, 65 km/h, 80 km/h, dan 95 km/h, diperoleh gaya hambatan pada kendaraan yang paling tinggi terjadi pada hambatan belokan yaitu pada kecepatan 95 km/h dan berat kendaraan 1375 kg yaitu sebesar 66678,6988 kgf.

Kata Kunci: Gaya, Hambatan dinamis, Kendaraan

I. PENDAHULUAN

Perkembangan kebutuhan manusia akan transportasi menyebabkan meningkatnya produksi kendaraan, baik secara kualitas maupun kuantitasnya. Peningkatan kualitas ditunjukkan dengan perubahan ataupun perbaikan bentuk disain dan penggunaan teknologi tinggi, sedangkan kuantitas diperoleh dengan produksi massal menggunakan teknologi robotik.

Penggunaan sistem pengapian dan injeksi bahan bakar serta sistem transmisi daya yang dahulunya masih secara manual, kini telah diganti oleh sistem kontrol otomatis menggunakan rangkaian elektrik. Demikian halnya dengan disain body yang semakin mengalami penyempurnaan ke disain yang lebih aerodinamis, peningkatan-peningkatan itu menyebabkan gaya-gaya tak seimbang pada kendaraan mobil semakin kecil dan memudahkan pengoperasian.

Berdasarkan uraian di atas akan dibuktikan dengan cara menganalisis gaya-gaya hambatan pada kendaraan pada berbagai tingkat kecepatan, kondisi jalan

(belokan, tanjakan dan turunan) dan beban dari kendaraan tersebut.

II. TINJAUAN PUSTAKA

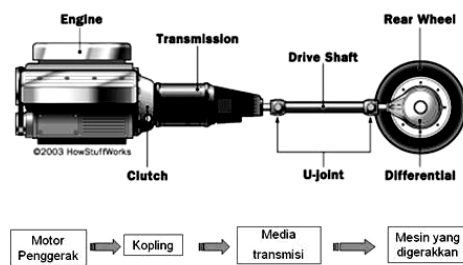
A. Klasifikasi Sistem Penggerak Roda

Kendaraan ditinjau dari sistem penggerak roda dikelompokkan menjadi beberapa tipe/ jenis, yaitu:

1. Front Engine Rear Drive (FR), Kendaraan dengan mesin di depan dan menggerakkan roda belakang dinamakan tipe Front Engine Rear Drive (FR). Komponen sistem pemindah tenaga meliputi: kopling (clutch), transmisi (transmission), drive shaft/propeller shaft, differential, rear axle dan roda(wheel).
2. Front Engine Front Drive (FF), Kendaraan dengan mesin di depan dan menggerakkan roda depan dinamakan tipe Front Engine Front Drive (FF). Komponen-komponen sistem pemindah tenaga meliputi: kopling (clutch), transmisi(transmission), differential, front axle dan roda (wheel).
3. Rear Engine Rear Drive (RR), Kendaraan dengan mesin di belakang dan menggerakkan roda belakang

dinamakan tipe Rear Engine Rear Drive (RR). Pemindah tenaga kendaraan tipe ini sama dengan tipe Front Engine Front Drive (FF).

4. Four Wheel Drive (FWD), Kendaraan dengan mesin menggerakkan roda depan dan roda belakang dinamakan tipe Four Wheel Drive atau All Wheel Drive (FWD atau 4WD atau AWD). Komponen-komponen sistem pemindah tenaga meliputi: kopling (clutch), transmisi (transmission), transfer, dan terbagi menjadi dua. Pertama ke front drive shaft (frontpropeller shaft), front differential, front axle dan roda depan (front wheel), sedangkan yang kedua ke reardrive shaft, rear differential, rear axle dan roda belakang(rear wheel).



Gambar 1 Tipe Four Wheel Drive atau All Wheel Drive

Axle shaft atau poros penggerak roda adalah merupakan poros pemutar roda-roda penggerak yang berfungsi meneruskan tenaga gerak dari differential ke roda-roda. Axle shaft pada kendaraan dibedakan menjadi dua yakni:

1. frontaxle shaft (poros penggerak roda depan) dan rear axle shaft (poros penggerak roda belakang). Pada kendaraan FF, frontaxle shaft sebagai driving axle shaft, sedangkan pada kendaraan tipe FR, rear axle shaft sebagai driving axle shaft. Pada kendaraan 4WD atau AWD, front axle shaft maupun rear axle shaft sebagai driving axle shaft.
2. Rear Axle Shaft Roda belakang umumnya menumpu beban lebih berat

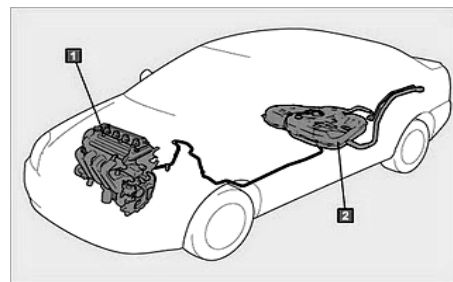
dari pada roda depan, sehingga konstruksi poros penggerak rodanya juga relatif lebih kuat.

Pada suspensi rigid pada umumnya menggunakan tipe poros memikul dimana axle shaft diletakkan di dalam axle housing yang dipasangkan berkaitan melalui bantalan. Poros memikul terdiri dari 3 tipe, yaitu:

1. full floating, three quarter floating dan semi-floating. Nama tipe poros tersebut mencerminkan kebebasan poros untuk tidak menyangga beban kendaraan. Full floating berarti sepenuhnya poros tidak menyangga beban,
2. three-quarter floating berarti $\frac{3}{4}$ beban kendaraan tidak ditumpu oleh poros (porosmenyangga $\frac{1}{4}$ beban)
3. semi floating berarti poroshanya menumpu $\frac{1}{2}$ beban. Pada tipe ini bantalan-bantalan dipasangkan diantara housing dan wheel hub, sedangkan roda dipasangkan pada hub. Beban kendaraan sepenuhnya ditumpu oleh axlehousing, sedangkan poros roda tidak memikul beban, hanya berfungsi menggerakkan roda. Model ini sangat bagus untuk kendaraan berbeban berat.

B. Klasifikasi Kendaraan Roda Empat

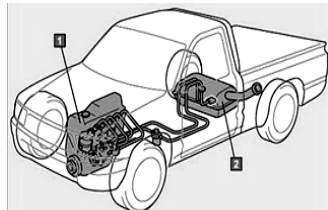
Berdasarkan tenaga penggeraknya, kendaraan roda empat dapat diklasifikasikan menjadi kendaraan mesin bensin, kendaraan mesin diesel, kendaraan hybrid, kendaraan listrik dan kendaraan berbahan bakar cell hybrid.



Gambar 2. Kendaraan Empat Roda (1) mesin (2) tangki bahan bakar

1. Kendaraan Mesin Bensin

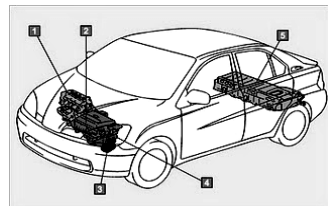
Kendaraan tipe ini menggunakan bahan bakar bensin. Karena mesin bensin menghasilkan tenaga yang tinggi dan hadir dalam bentuk kendaraan penumpang kecil, maka kendaraan tersebut banyak digunakan sebagai kendaraan penumpang.



Gambar 3. Kendaraan Mesin Bensin
(1) mesin (2) tangki BBM

2. Kendaraan Mesin Diesel

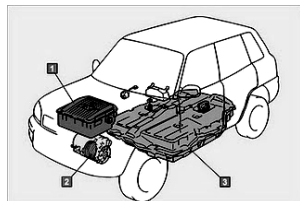
Kendaraan tipe ini menggunakan mesin berbahan bakar diesel. Karena mesin diesel menghasilkan momen yang besar dan menawarkan ke ekonomisan bahan bakar, maka mesin tersebut banyak digunakan pada truk dan kendaraan SUV.



Gambar 3. Kendaraan Mesin Diesel
(1) mesin (2) inverter (3) transaxle (4) converter (5) baterai

3. Kendaraan Hybrid

Kendaraan tipe ini dilengkapi dengan tenaga penggerak yang memiliki tipe yang berbeda, seperti mesin bensin dan motor listrik.

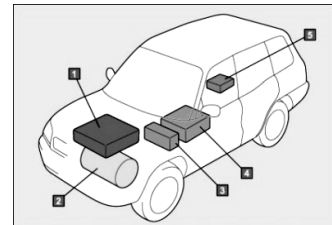


Gambar 4. Kendaraan Mesin Hybrid
(1) unit kontrol tenaga (2) motor listrik (3) baterai

Karena mesin bensin membangkitkan listrik, kendaraan tipe ini tidak memerlukan sumber luar untuk mengisi ulang baterai. Sistem penggerak roda menggunakan tegangan 270V, dan arus listrik 12V.

4. Kendaraan Listrik (KL)

Kendaraan ini menggunakan tenaga baterai untuk mengoperasikan motor listrik. Tidak seperti bahan bakar, baterai memerlukan pengisian ulang. Kendaraan tersebut menawarkan banyak manfaat, termasuk tidak adanya gas buang dan suara yang rendah selama pengoperasian. Sistem penggerak rodanya menggunakan tegangan 290V, sedangkan arus listriknya 12V.



Gambar 5. Kendaraan Listrik (1) unit kontrol tenaga (2) motor listrik (3) kumpulan sel bahan bakar (4) sistem penyimpanan hidrogen (5) baterai cadangan

5. Fuel Cell Hybrid Vehicle (FCHV)

Kendaraan listrik ini menggunakan energi listrik yang diciptakan saat bahan bakar hidrogen bereaksi dengan oksigen di udara untuk membentuk air. Karena hanya mengeluarkan air, maka kendaraan ini dianggap sebagai kendaraan dengan tingkat polusi yang paling rendah, dan diperkirakan akan menjadi tenaga penggerak bagi generasi di masa datang.

C. Dasar-dasar Perhitungan Pada Performance Kendaraan

Performance kendaraan beroda empat dapat dipengaruhi oleh:

1. Gaya dorong akibat momen torsi poros penggerak roda

2. Kecepatan maksimum pada setiap tingkat kecepatan (speed gear).

3. Letak titik berat kendaraan.

Menurut Suganda (1981) hambatan terhadap kendaraan adalah:

1. Hambatan rolling (R_r)
2. Hambatan aerodinamis (R_a)
3. Hambatan tanjakan (R_g)
4. Hambatan Inersia (R_i)
5. Hambatan belokan (R_c)

Pengaruh aerodinamis baru dinilai penting jika diatas kecepatan 30 km/jam. Nilai Koefisien hambatan rolling (Suganda, 1981):

1. Aspal licin $f = 0,01$
2. Beton $f = 0,011$
3. Jalan tanah yang baik $f = 0,045$
4. Jalan tanah yang buruk $f = 0,16$
5. Tanah lepas (pasir) $f = 0,15 - 0,3$

Beberapa nilai kemiringan jalan (Suganda, 1981):

1. Untuk jalan rata pada pegunungan
 $\theta = 12\% = 7^\circ$
2. Pendakian tertinggi
 $\theta = 32\% = 18^\circ$
3. Jalan datar
 $\theta = 1^\circ$

D. Analisis dan Perhitungan Gaya Pada Kendaraan

Dalam analisis ini digunakan 3 kondisi pembebanan (berat) kendaraan yaitu berat kendaraan kosong adalah 1045 kg, berat kendaraan dengan isi menengah adalah 1210 kg, berat kendaraan dengan isi penuh adalah 1375 kg dan rata-rata berat badan manusia adalah 55 kg. Dengan kondisi jalan rata $\pm 1^\circ$ dan jalan mendaki/menurun 18° .

1. Perhitungan Letak Titik Berat Kendaraan (Isi Kosong)

Diketahui dari data spesifikasi kendaraan:

Overall Panjang / Length	4.120
Overall Lebar / Width	1.630
Overall Tinggi / Height	1.695
Berat pada sumbu depan	545

Berat pada sumbu belakang	500
Jarak Poros Roda / Wheelbase	2.655
Jarak Pijak / Tread (Depan/Front)	1.405
Jarak Pijak / Tread (Belakang / Rear	1.415
Ukuran Ban / Tires Size	185/70 R14

Menentukan letak titik berat kendaraan antara roda kiri dan kanan, dapat ditentukan jarak titik berat pada roda depan kendaraan

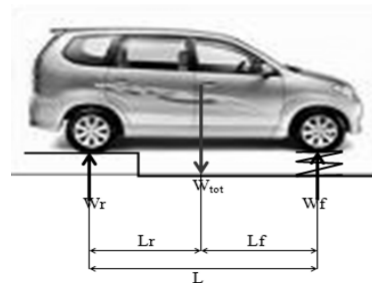
$$L_{dk} = L_{dn} = 0,5 \times L_d$$

$$L_{dn} = 0,5 \times 1405 = 702,5 \text{ mm}$$

$$L_{dk} = 702,5 \text{ mm}$$

L_{dk} = Jarak titik berat dari roda kiri depan

L_{dn} = Jarak titik berat dari roda kanan kanan depan



Gambar 6. Gaya-gaya pada kendaraan

Menentukan letak titik berat kendaraan antara sumbu roda depan dan sumbu roda belakang

$$\Sigma M_b = 0$$

$$W_f \times L - W_{tot} \times L_f = 0$$

$$W_f \times L = W_{tot} \times L_r$$

$$L_r = \frac{W_f \times L}{W_{tot}} = \frac{W_f \times L}{W_{tot}}$$

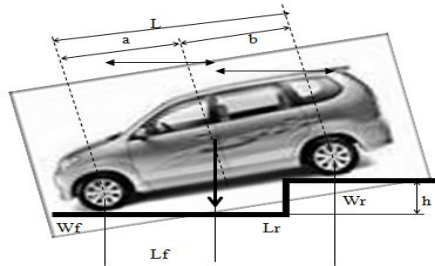
$$= 1389,88 \text{ mm}$$

$$L = L_f + L_r$$

Maka:

$$L_f = L - L_r$$

$$= 2655 - 1389,88 = 1275,12 \text{ mm}$$



Gambar 7. Titik Berat

Menentukan letak titik berat kendaraan pada posisi kemiringan, seperti pada gambar kendaraan berada pada posisi miring sebesar α . Dari persamaan keseimbangan gaya-gaya diperoleh:

$$\Sigma M_A = 0$$

$$W_r (L_f + L_r) - W \times L_f = 0$$

maka:

$$W_r \cdot L \cos \alpha = W \cdot a \cdot \cos \alpha - W (H - r) \cdot \sin \alpha$$

$$(H - r) = \frac{W \cdot a \cdot \cos \alpha - W_r \cdot L \cos \alpha}{W \sin \alpha}$$

$$= \frac{\cos \alpha (W \cdot a - W_r \cdot L)}{W \sin \alpha}$$

$$= \frac{(W \cdot a - W_r \cdot L)}{W} \times \cot \alpha$$

dimana: $a = L_f$

$$(H - r) = \frac{(W \cdot L_f - W_r \cdot L)}{W} \times \cot \alpha = 0 \text{ mm}$$

Sehingga $H = r$

$$\begin{aligned} \text{Jari jari roda} &= \text{tebal tapak ban (70 mm)} \\ &+ \text{jari-jari pelek (7 inci)} \\ &= 70 + (7 \times 25,4) \\ &= 247,8 \text{ mm} \end{aligned}$$

2. Perhitungan Hambatan terhadap Kendaraan

a. Hambatan Rolling (R_r)

Hambatan pertama yang dialami kendaraan sewaktu berjalan adalah permukaan jalan. Hal ini disebabkan karena:

- 1) Kerja yang dilakukan karena melendutnya atau terjadinya deformasi pada roda.
- 2) Masuknya roda kedalam tanah, meledutnya tanah atau deformasi tanah.
- 3) Karena adanya slip.

- 4) Gesekan karena udara yang dikompresikan kedalam ban (efek termodinamis) dan efek dari ban itu sendiri.

Menurut Kluge dan Hans (1939) dalam Suganda, 1981 berdasarkan eksperimen koefisien hambatan rolling (f_r) adalah:

$$f_r = f_{r1} + f_{r2} + f_{r3}$$

dimana:

f_{r1} = Faktor kekerasan jalan

f_{r2} = Flexing static of tyre

f_{r3} = Hysterisis dan gesekan udara dan efek fan

Untuk nilai dari f_{r1} (faktor kekerasan jalan) yang biasanya digunakan dalam praktek berupa nilai-nilai konstan yaitu (suganda, 1981):

- a. Aspal licin $f_{r1} = 0,01$
- b. Beton $f_{r1} = 0,011$
- c. Jalan tanah yang baik $f_{r1} = 0,045$
- d. Jalan tanah yang buruk $f_{r1} = 0,16$
- e. Tanah lepas (pasir) $f_{r1} = 0,15 + 0,3$

Untuk analisis ini diambil hambatan rolling untuk jalan aspal keras licin $f_{r1} = 0,01$, sedangkan nilai f_{r2} dan f_{r3} dapat diabaikan karena kondisi jalan yang baik dan licin maka:

$$\begin{aligned} R_r &= f \cdot W_{tot} \\ &= 0,01 \cdot 1045 \\ &= 10,45 \text{ kgf} \end{aligned}$$

b. Hambatan Aerodinamis

Adanya hambatan aerodinamis disebabkan oleh: (1) Pressure drag dari bentuk kendaraan, (2) Gesekan pada permukaan kendaraan dan (3) Gesekan akibat udara yang masuk dan keluar pada pendinginan interior kendaraan (Suganda, 1981).

Besarnya hambatan aerodinamis dapat dihitung dengan rumus:

$$R_a = \frac{C_a \cdot A \cdot v^2}{207,36}$$

dimana:

C_a = Koefisien hambatan aerodinamis

- sesuai bentuk kendaraan = 0,55
 A = Luas frontal kendaraan (m^2)
 = Lebar x tinggi
 L = Overall width = 1630 mm
 T = Overall height = 1695 mm
 V = Kecepatan relatif kendaraan
 terhadap udara (km/h) = 35 km/h

Maka besarnya perlawanan aerodinamis terhadap kendaraan pada kecepatan 35 km/h adalah:

$$R_a = \frac{C_a \cdot A \cdot V^2}{207,36}$$

$$= 8,9769 \text{ kgf}$$

c. Hambatan Tanjakan (R_g)

Besarnya hambatan tersebut ditentukan oleh kemiringan jalan dan juga berat kendaraan.

$$R_g = W \sin \alpha$$

Untuk α yang sangat kecil, maka $\sin \alpha = \tan \alpha$ sehingga:

$$R_g = W \tan \alpha$$

Apabila $\tan \alpha$ itu dianggap 100% maka derajat kemiringan jalan (θ) dinyatakan sebagai hambatan tanjakan maka terjadi:

$$R_g = \frac{W \cdot \theta}{100}$$

dimana:

$$W = \text{berat kendaraan} = 1045 \text{ kg}$$

$$\theta = \text{kemiringan jalan} = 18^\circ$$

Sehingga besarnya hambatan akibat tanjakan adalah

$$R_g = \frac{1045 \cdot 18}{100}$$

$$R_g = 188,1 \text{ kgf}$$

d. Hambatan Inersia (R_i)

Hambatan inersia dibagi menjadi 2 yaitu akibat translasi dan akibat rotasi.

$$\text{Energi Kinetik} = 0,5 \cdot m \cdot V^2 + 0,5 \times \frac{I_B}{R^2} \times V^2$$

$$= 0,5 \left(m + \frac{I_B}{R^2} \right) \times V^2$$

$$= 0,5 \left(m + \frac{I_G}{R^2} \right) \times V^2$$

Ekivalen dengan benda-benda translasi yaitu:

$$\text{Energi Kinetik} = 0,5 \times m_{\text{red}} \times V^2$$

dimana:

$$m_{\text{red}} = \text{massa reduksi}$$

$$= \phi_{\text{massa}} \times M$$

$$\phi_{\text{massa}} = \text{faktor massa dipilih } 1,11$$

$$M = \text{massa total kendaraan}$$

$$= 1045 \text{ kg}$$

$$V = \text{Kecepatan relatif}$$

$$\text{kendaraan } 35 \text{ km/h}$$

Sehingga besarnya hambatan inersia adalah:

$$R_i = 0,5 \cdot (1,11 \cdot 1045) \times (35000/3600)^2$$

$$= 54326,29 \text{ kgf}$$

e. Hambatan Belokan (R_c)

Hambatan pada belokan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$R_c = C_c \times a_c^2 \times W$$

dimana:

$$C_c = \text{konstanta tahanan lengkungan}$$

$$\text{jalan raya} = 0,25 \text{ (PT. Toyota Astra Internasional)}$$

$$a_c = \text{percepatan sentrifugal (m/s}^2\text{)}$$

$$R = \text{jari-jari belokan jalan raya}$$

$$= 50 \text{ m}$$

$$W = \text{berat kendaraan (kg)} = 1045 \text{ kg}$$

Jadi hambatan pada belokan adalah:

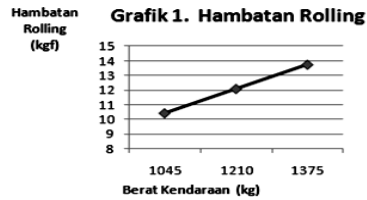
$$R_c = 0,25 \times (1,89)^2 \times 1045$$

$$= 933,64 \text{ kgf}$$

III. HASIL PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN

Tabel 1. Hasil perhitungan Hambatan rolling

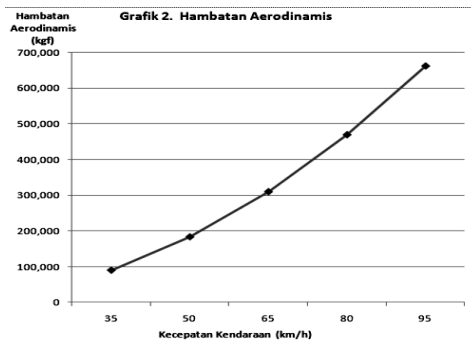
Berat Kendaraan (kg)	Hambatan Rolling (kgf)
1045	10,45
1210	12,1
1375	13,75



Dari tabel dan grafik diatas terlihat bahwa berat kendaraan berbanding lurus dengan hambatan rolling semakin berat kendaraan hambatan rolling juga bertambah besar.

Tabel 2. Hasil perhitungan Hambatan Aerodinamis

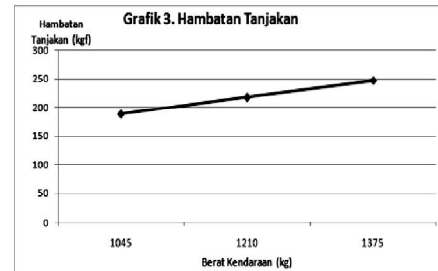
Kecepatan (Km/jam)	Hambatan Aerodinamis (kgf)
35	8,9769
50	18,3204
65	30,9615
80	46,9002
95	66,1366



Dari tabel dan grafik diatas terlihat bahwa kecepatan kendaraan memiliki bentuk grafik yang sedikit parabolik dimana pada tingkat kecepatan rendah kenaikan hambatan erodinamis tidak terlalu tinggi dibandingkan pada tingkat kecepatan tinggi.

Tabel 3. Hasil perhitungan Hambatan Tanjakan

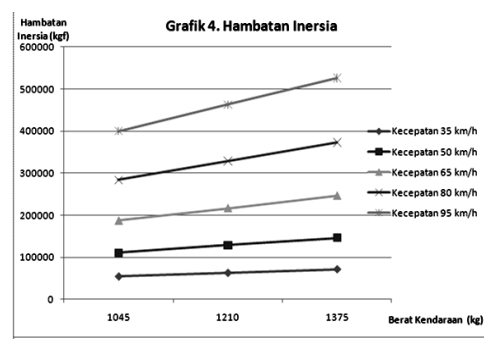
Berat Kendaraan (kg)	Hambatan Tanjakan (kgf)
1045	188,1
1210	217,8
1375	247,5



Dari tabel dan grafik diatas terlihat bahwa berat kendaraan memiliki bentuk grafik yang linier artinya berat kendaraan hanya mengakibatkan hambatan tanjakan naik sedikit.

Tabel 4. Hasil Perhitungan Hambatan Inersia

Berat Kendaraan (kg)	Kecepatan (Km/jam)	Hambatan Inersia (kgf)
1045	35	54326,2924
	50	110869,9846
	65	187370,2739
	80	283827,1605
1210	35	62904,1281
	50	128375,7716
	65	216955,054
1375	35	71481,9637
	50	145881,5586
	65	246539,8341
	80	373456,7901
	95	526632,4267

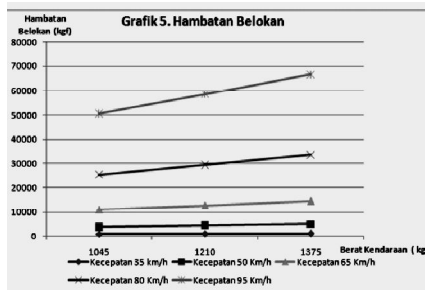


Dari tabel dan grafik diatas terlihat bahwa pengaruh berat kendaraan terhadap hambatan inersia pada kecepatan rendah sangat kecil tetapi pada kecepatan tinggi

pengaruh tersebut juga mengalami kenaikan yang signifikan. Jadi dapat disimpulkan bahwa kenaikan berat kendaraan pada kecepatan tinggi akan sangat mempengaruhi hambatan inersia.

Tabel 5. Hasil perhitungan Hambatan belokan

Berat Kendaraan (kg)	Kecepatan (Km/jam)	Hambatan belokan (kgf)
1045	35	933,6379
	50	3888,5376
	65	11106,0523
	80	25483,9201
	95	50675,8111
1210	35	1081,0544
	50	4502,5172
	65	12859,6395
	80	29507,697
	95	58677,2549
1375	35	1228,4709
	50	5116,4969
	65	14613,2267
	80	33531,4739
	95	66678,6988



Dari tabel dan grafik di atas terlihat bahwa pengaruh perubahan berat kendaraan terhadap hambatan belokan pada kecepatan rendah sangat kecil bahkan hampir konstan tetapi pada kecepatan tinggi pengaruh tersebut semakin signifikan. Jadi dapat disimpulkan bahwa kenaikan berat kendaraan pada kecepatan tinggi akan menyebabkan hambatan inersia juga akan naik signifikan.

IV. KESIMPULAN

1. Gaya hambatan pada kendaraan yang paling tinggi terjadi pada hambatan

belokan yaitu pada kecepatan 95 km/h dan berat kendaraan 1375 yaitu sebesar 66678,6988 kgf.

2. Gaya hambatan rolling, hambatan aerodinamis, dan hambatan tahanan berbanding lurus dengan berat kendaraan
3. Gaya hambatan inersia dan tahanan hampir linier pada kecepatan rendah dengan variasi berat kendaraan, tetapi pada kecepatan tinggi dan dengan variasi berat kendaraan, hambatan inersia dan tahanan mengalami perubahan kenaikan yang cukup tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

Juvinal, Robert C., Marshek, Kurt M., 1981, *Fundamentals of Machine Component Design*, John Wiley and Sons Inc.

Niemann, 1982, *Elemen Mesin I, II* (terjemahan), Jakarta: Erlangga.

Grouse, William H., 1981, *Automotive Mechanics*, Fata Mc. Graw Hill.

Khurmi R.S., Gupta J.K., 1984, *Theory of Machines*, Ram Nagar Delhi: Eurasia Publishing House Ltd.

Popov, 1989, *Mekanika Teknik* (Terjemahan), Jakarta: Erlangga.

Shiglay, 1991, *Perencanaan Teknik Mesin* (Terjemahan), Jakarta: Erlangga.

Suganda, Hadi., 1981, *Mekanika Automobil*, Dept. Mesin ITB.

Toyota Astra Motor, *Materi Belajar Chasis Group 1 & 2*, Jakarta.