

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Dinamika Gerak Kendaraan

Dinamika gerak adalah salah satu konsep bahasan dalam fisika yang membahas gerak suatu objek akibat adanya gaya atau torsi. [7] Pembahasan utama dalam dinamika ialah mekanika klasik yang berkaitan dengan hukum gerak Newton terutama pada sistem partikel. Konsep-konsep dasar dalam dinamika disusun oleh Isaac Newton. Konsep dinamika berperan dalam menyelesaikan persoalan fisika yang berkaitan dengan gaya. [8] Dinamika merupakan kebalikan dari kinematika, yang mempelajari gerak suatu objek tanpa memperhatikan apa penyebabnya. Secara umum, para peneliti yang menekuni dinamika akan mendalami bagaimana sistem fisika mengalami perubahan dan penyebab mereka berubah. Jadi dinamika gerak kendaraan adalah salah satu konsep yang menggambarkan perilaku gerak kendaraan, perilaku arah serta stabilitas arah kendaraan dan keamanan yang terkait dengan kendaraan pada saat berjalan.

2.2. Perlambatan Pada Kendaraan

Perlambatan atau pengereman yaitu merupakan perubahan nilai kecepatan ke arah nilai kecepatan yang lebih kecil atau bisa dikatakan kecepatan akhirnya berkurang. Ketika roda di rem maka terjadi gaya gesek antara kampas rem dengan bidang geseknya dan menimbulkan gaya reaksi yang sebanding dari jalan terhadap roda yang menghambat laju kendaraan. Gaya reaksi semakin besar ketika gaya pada kampas rem juga semakin besar dan begitu pula sebaliknya. [9] Dalam gerak lurus besarnya perlambatan yang dapat dilakukan oleh kendaraan adalah

merupakan faktor penting sebagai parameter kinerja laju dari kendaraan. Untuk kendaraan yang bergerak dari kecepatan tertentu sampai berhenti, maka perlambatan (a), waktu (t), dan jarak pengereman (s) dapat dihitung dengan rumus (2.1).

$$a = \frac{V_0^2}{2 \cdot s} = \frac{V_0}{t} = \frac{2 \cdot s}{t^2} \quad (2.1)$$

$$t = \frac{V_0}{a} = \frac{2 \cdot s}{V_0} = \sqrt{\frac{2 \cdot s}{a}}$$

$$s = \frac{V_0^2}{2 \cdot a} = \frac{V_0 \cdot t}{2} = \frac{a \cdot t^2}{2}$$

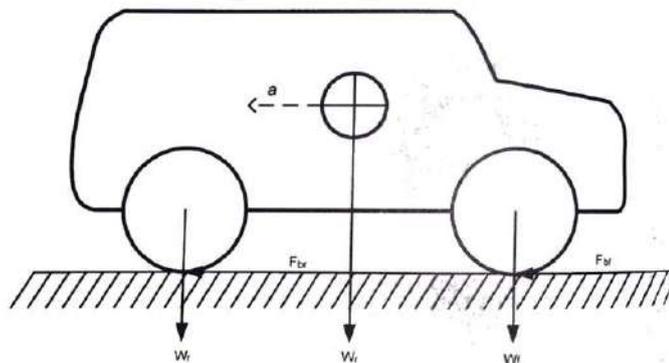
keterangan :

a = perlambatan (m/s)

t = waktu (s)

V_0 = kecepatan awal kendaraan (m/s)

Pada saat terjadi pengereman terdapat gaya rem yang bekerja pada roda seperti tujukan pada gambar 2.1. Bila gaya pengereman melebihi gaya rem maksimum maka roda akan skid.



Gambar 2.1. Gaya – gaya pada pengereman [6]

Dari gambar 2.1. maka didapat persamaan gaya total pada persamaan 2.2.

$$F_b = F_{bf} + F_{br} \quad (2.2)$$

Keterangan :

F_b = gaya rem (N)

F_{bf} = gaya rem roda depan (N)

F_{br} = gaya rem roda belakang (N)

Maka didapat gaya rem maksimum pada persamaan 2.3.

$$F_{b \max} = F_{bf \max} + F_{br \max} = \mu (W_f + W_r) = \mu \cdot W \quad (2.3)$$

Keterangan :

$F_{b \max}$ = gaya rem maksimum (N)

$F_{bf \max}$ = gaya rem roda depan maksimum (N)

$F_{br \max}$ = gaya rem roda belakang maksimum (N)

μ = koefisien adhesi jalan

W = berat kendaraan (N)

W_f = berat poros roda depan (N)

W_r = berat poros roda belakang (N)

Perlambatan maksimum yang dapat dicapai pada saat pengereman dijelaskan pada persamaan 2.4.

$$a_{\max} = \frac{F_{b \max}}{m} = \frac{\mu \cdot m \cdot g}{m} = \mu \cdot g \quad (2.4)$$

Keterangan

a_{\max} = perlambatan maksimum (m/s)

$F_{b \max}$ = gaya pengereman maksimum (N)

m = massa kendaraan (kg)

μ = koefisien adhesi jalan

g = gravitasi (9,8 m/s)

Dalam mengemudikan kendaraan dan melakukan pengereman memiliki ketentuan-ketentuan yang sudah di atur dalam buku petunjuk tata cara berlalu lintas (*highway code*) di Indonesia. Dalam buku tersebut telah dijelaskan jarak minimum pengereman kendaraan seperti tabel 2.1.

Tabel 2.1. Jarak minimum pengereman [10]

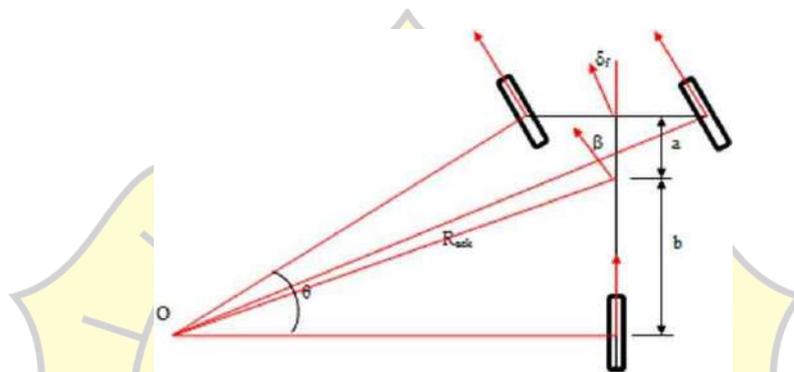
Kecepatan kendaraan	Jarak minimum
10 km/jam	5 meter
15 km/jam	7,5 meter
20 km/jam	10 meter
25 km/jam	12,5 meter
30 km/jam	15 meter

Pada tabel 2.1 kecepatan kendaraan mempengaruhi jarak minimum pengereman. Semakin besar nilai kecepatan kendaraan maka jarak minimum

pengereman semakin besar, sedangkan semakin kecil nilai kecepatan kendaraan maka jarak minimum pengereman semakin kecil.

2.3. Kondisi Ideal Kendaraan Berbelok

Kondisi ideal dari kendaraan berbelok adalah disebut juga sebagai kondisi ackerman yaitu dimana pada semua roda tidak terjadi sudut slip, sehingga arah gerak dari roda sama dengan arah bidang putar dari roda. Lihat gambar 2.2.



Gambar 2.2. Kondisi ackerman kendaraan berbelok [5]

Gambar 2.2 menjelaskan kondisi ackerman kendaraan berbelok dan terdapat beberapa simbol dengan keterangan simbolnya sebagai berikut :

- O = pusat putar sementara
- R_i = radius belok ideal atau ackerman
- θ_i = sudut belok ideal
- β = sudut side slip
- δ_f = sudut steer rata-rata dari roda depan

Untuk kondisi ideal, secara geometris dan pendekatan, besarnya radius belok dapat dihitung dengan persamaan 2.5.

$$R_i = \frac{a + b}{\delta_f} 57,29 \quad (2.5)$$

Dimana :

R_i = radius belok ideal atau *ackerman* (m)

a = jarak poros roda depan dengan titik berat (m)

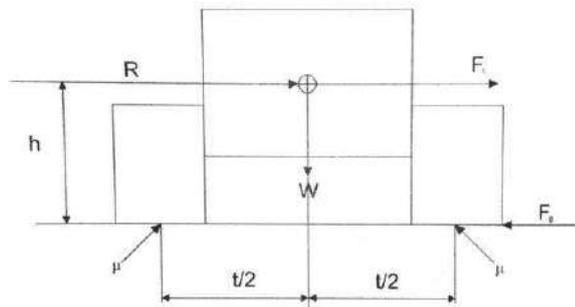
b = jarak poros roda belakang dengan titik berat (m)

δ_f = sudut steer rata-rata dari roda depan (m)

Kondisi ideal ini hanya terjadi jika gaya lateral pada roda sangat kecil sehingga tidak mampu untuk membentuk sudut slip pada roda. Makin tinggi kecepatan kendaraan, atau makin tajam belokan kendaraan maka makin besar gaya lateral yang terjadi pada roda dan akan mengakibatkan sudut slip pada masing-masing roda. Secara praktis dapat dikatakan hanya pada waktu melakukan gerakan parkir saja yang mungkin terjadi kondisi ideal.

2.4. Dinamika Belok Kendaraan

Gerak belok merupakan gerakan yang paling kritis dari suatu kendaraan. Pada saat kendaraan bergerak belok ada dua hal yang dapat terjadi mengganggu kestabilan kendaraan. Dua hal tersebut yaitu kendaraan akan skid kesamping karena tidak mampu menahan gaya sentrifugal kendaraan, dan yang kedua kendaraan akan guling jika roda terangkat akibat gaya normal roda adalah 0 atau negatif. Kendaraan belok kendaraan dimaksudkan bahwa kendaraan dianggap rigid body seperti gambar 2.3.



Gambar 2.3. Dinamika kendaraan saat belok [6]

Pada gambar 2.3 menjelaskan kondisi kendaraan pada saat berbelok dan gaya-gaya yang bekerja pada saat kendaraan berbelok. Berikut ini keterangan dari simbol-simbol pada gambar 2.3 :

F_c = gaya sentrifugal (N)

W = berat kendaraan (N)

F_g = gaya gesek (N)

θ = sudut kemiringan jalan (derajat)

V = kecepatan kendaraan (m/s)

t = lebar track (m)

M = massa kendaraan (kg)

Kendaraan akan skid jika $F_c > F_g$ dimana akan dijelaskan F_c pada persamaan 2.6 dan F_g pada persamaan 2.7.

$$F_c = \frac{M \cdot V^2}{R} \quad (2.6)$$

$$F_g = W \cdot \mu \quad (2.7)$$

Keterangan :

F_c = gaya sentrifugal (N)

F_g = gaya gesek (N)

M = massa kendaraan (kg)

V = kecepatan (m/s)

μ = koefisien adhesi jalan

W = berat kendaraan (N)

Kondisi kritis kendaraan akan terjadi skid jika $F_c = F_g$ maka akan didapat persamaan 2.8.

$$\frac{M \cdot V^2}{R} = \mu \cdot M \cdot g \quad (2.8)$$

Keterangan :

M = massa kendaraan (kg)

R = radius belok (m)

V = kecepatan (m/s)

μ = koefisien adhesi

g = gravitasi (9,8 m/s)

Jadi kecepatan maksimum yang diijinkan agar tidak skid didapat persamaan 2.9.

$$V_{s \max} = \sqrt{\mu \cdot R \cdot g} \quad (2.9)$$

Keterangan :

$V_{s \max}$ = kecepatan maksimum skid yang di ijinan (m/s)

R = radius belok (m)

μ = koefisien adhesi

g = gravitasi (9,8 m/s)

Kondisi guling akan bisa terjadi kalau roda kiri kendaraan mulai terangkat atau gaya normal pada roda kiri adalah 0. Dengan demikian kondisi guling akan terjadi jika :

$$F_c \cdot h > W \frac{t}{2} \quad (2.10)$$

Keterangan :

F_c = gaya sentrifugal (N)

h = tinggi titik berat (m)

W = berat kendaraan (N)

Maka kondisi kritis kendaraan guling diperoleh persamaan 2.11.

$$F_c \cdot h = W \frac{t}{2} \quad (2.11)$$

$$\frac{M \cdot V^2}{R} h = M \cdot g \cdot \frac{t}{2}$$

Keterangan :

F_c = gaya sentrifugal (N)

h = tinggi titik berat (m)

W = berat kendaraan (N)

M = massa kendaraan (kg)

g = gravitasi (9,8 m/s)

t = lebar track (m)

V = kecepatan kendaraan (m/s)

Jadi kecepatan maksimum yang diijinkan agar kendaraan tidak guling dapat diperoleh pada persamaan 2.12.

$$V_{g \max} = \sqrt{\frac{R \cdot g \cdot t}{2h}} \quad (2.12)$$

Keterangan :

$V_{g \max}$ = kecepatan maksimum guling yang di ijinakan (m/s)

g = gravitasi (9,8 m/s)

t = lebar track (m)

h = tinggi titik berat (m)

R = radius belok (m)

2.5. Koefisien Gesek Roda dan Jalan

Koefisien gesek adalah suatu fungsi area kontak antara dua permukaan, sifat dan kekuatan yang saling mempengaruhi. [11] Kekasaran permukaan jalan ditunjukkan dalam bentuk tonjolan-tonjolan yang akan kontak dengan karet dari ban. Jika gaya F terjadi tangensial pada permukaan jalan, dimana permukaan karet bergerak relatif terhadap permukaan jalan, maka karet yang elastis akan mengikuti bentuk kekasaran dari permukaan jalan. Akibat gerakan tersebut akan terjadi gaya gesekan sebesar F yang arahnya berlawanan dengan arah gerakan yang terdiri dari komponen gaya adhesi dan gaya hysteresis. Gaya *hysteresis* terjadi karena adanya distribusi tekanan yang tidak simetris pada karet. Jika tidak terjadi gerakan relatif antara ban dan jalan maka distribusi tekanan pada ban cenderung *simetris* dan gaya *hysteresis* tidak terjadi. Jika terjadi kecepatan relatif yang makin besar maka distribusi tekanan makin tidak simetris dan gaya *hysteresis* akan makin besar. Jika jalan halus dan keras

maka komponen gaya *hysterisis* tidak ada, gaya gesekan seluruhnya disebabkan oleh gaya adhesi. Sebaliknya jika permukaan jalan adalah kasar dan penuh dengan pelumasan maka komponen gaya adhesi tidak ada. [12] J.J. Taborek dari hasil studinya memberikan koefisien adhesi rata-rata antara ban dan jalan untuk berbagai macam jenis jalan yang digunakan pada tabel 2.2.

Tabel 2.2. Koefisien adhesi jalan

Permukaan jalan	Koefisien Adhesi
Aspal dan beton (kering)	0,85
Aspal (basah)	0,6
Beton (basah)	0,8
Gravel	0,6
Jalan tanah (kering)	0,68
Jalan tanah (basah)	0,55
Snow	0,2
Ice	0,1

Jika persamaan 2.8 dan 2.11 digabungkan maka akan didapat persamaan 2.13.

$$\mu \cdot M \cdot g \cdot h = M \cdot g \cdot \frac{t}{2} \quad (2.13)$$

Keterangan :

μ = koefisien adhesi jalan

M = massa kendaraan (kg)

g = gravitasi (9,8 m/s)

t = lebar track (m)

h = tinggi titik berat (m)

Jadi koefisien gesek yang ideal antara ban dan jalan agar kendaraan terbebas dari skid atau guling didapat persamaan 2.14.

$$\mu_i = \frac{t}{2h} \quad (2.14)$$

μ_i = koefisien gesek ideal

t = lebar track (m)

h = tinggi titik berat (m)

Jika koefisien gesek ban dan jalan lebih besar dari $t/2h$ maka kendaraan akan cenderung terguling, yaitu roda terangkat lebih dahulu sebelum terjadi skid. Sebaliknya jika koefisien gesek ban dan jalan lebih kecil dari $t/2h$ maka kendaraan akan skid terlebih dahulu sebelum terguling.

2.6. Mengukur Posisi Titik Berat Kendaraan

Titik berat kendaraan adalah tempat bekerjanya gaya tarik bumi atau gravitasi terhadap keseluruhan massa kendaraan. [13] Ada beberapa cara untuk mengukur posisi titik berat ternyata memegang peran penting. Posisi titik berat terhadap poros depan (a) dan terhadap poros belakang (b), serta tinggi berat dari permukaan jalan (h).

Pengukuran (a) dan (b) dilakukan dengan menimbang bagian depan dan bagian belakang kendaraan pada saat posisi betul-betul horizontal, seperti

ditunjukkan pada gambar 2.4. Jika pada saat menimbang poros depan didapat hasil penimbangan W_f dan penimbangan poros belakang didapat hasil W_r dan penimbangan poros belakang didapat hasil W_r , maka berat total kendaraan didapat persamaan 2.15.

$$W_t = W_f + W_r = W \quad (2.15)$$

Keterangan :

W_t = berat total (N)

W_f = berat poros depan (N)

W_r = berat poros belakang (N)

W = berat kendaraan (N)

Dengan memakai hasil penimbangan tersebut dan menetapkan konsep statika maka didapat persamaan 2.16 dan 2.17.

$$a = \frac{(a + b)W_r}{W_f + W_r} \quad (2.16)$$

$$b = \frac{(a + b)W_f}{W_f + W_r} \quad (2.17)$$

Keterangan :

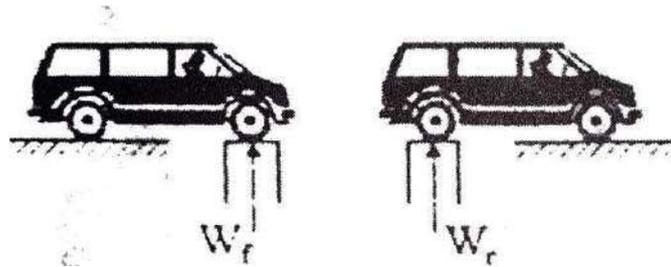
a = jarak poros depan terhadap titik berat (m)

b = jarak poros belakang terhadap titik berat (m)

W_f = berat poros depan (N)

W_r = berat poros belakang (N)

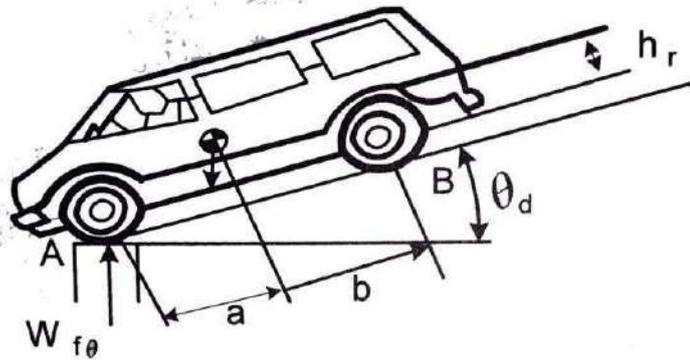
$a + b = L$; adalah wheel base yaitu jarak antara poros depan / belakang



Gambar 2.4. Penimbangan pada poros depan belakang [6]

Setelah jarak dari jarak pusat berat terhadap poros depan (a) dan jarak pusat berat terhadap poros belakang (b) didapat, maka kemudian dapat dicari tinggi titik pusat berat dari kendaraan.

Untuk mencari tinggi titik pusat berat kendaraan, pada roda depan atau roda belakang dapat ditopang dengan timbangan dan roda yang lain didongkrak hingga membentuk sudut (θ_d), seperti pada gambar 2.5. Jika mungkin pada saat mendongkrak kendaraan suspensi dikunci agar bodi tidak menukik (*pitching*) terhadap posisi roda atau sudut (θ_d) dibuat tidak begitu besar agar bodi tidak menukik.



Gambar 2.5. Penimbangan roda depan dan roda belakang diangkat [6]

Dengan mengacu pada gambar 2.5 dan dengan mengambil momen dari titik B maka didapat persamaan 2.18.

$$h_t = \frac{[W_{f0}(a+b) - W \cdot b]}{W \tan(\theta_d)} \quad (2.18)$$

h_t = tinggi titik berat dari pusat jari jari roda (m)

W_{f0} = hasil penimbangan roda depan (N)

W = berat kendaraan (N)

b = jarak poros roda belakang terhadap titik berat (m)

a = jarak poros roda depan terhadap titik berat (m)

θ_d = kemiringan kendaraan dengan permukaan jalan ($^\circ$)

Tinggi titik pusat kendaraan kemudian dapat dirumuskan pada persamaan 2.19.

$$h = r + h_r = r + \frac{[W_{f0}(a+b) - W \cdot b]}{W \tan(\theta_d)} \quad (2.19)$$

Keterangan :

h = tinggi titik berat dari permukaan jalan(m)

h_t = tinggi titik berat dari pusat jari jari roda (m)

$W_{f\theta}$ = hasil penimbangan roda depan (N)

W = berat kendaraan (N)

b = jarak poros roda belakang terhadap titik berat (m)

a = jarak poros roda depan terhadap titik berat (m)

θ_d = kemiringan kendaraan dengan permukaan jalan ($^\circ$)

r = jari-jari roda

