

BAB 3 : REKABENTUK GEOMETRI JALAN RAYA



3.1 KOMPONEN-KOMPONEN REKABENTUK GEOMETRI JALAN RAYA

Rekabentuk geometri jalan merujuk kepada rekabentuk dimensi tapak jalan-jalan dan lebuh raya. Tujuan utama adalah untuk menyediakan pergerakan trafik yang selamat, cekap dan ekonomi. Rekabentuk geometri jalan raya mencakupi rekabentuk unsur fizikal jalan raya sahaja termasuk :

- a. *Rekabentuk penjajaran datar*
- b. *Rekabentuk penjajaran tegak*
- c. *Rekabentuk persimpangan searas*
- d. *Rekabentuk keratan rentas*
- e. *Rekabentuk persilangan bertingkat*

3.2 TUJUAN REKABENTUK GEOMETRI

Rekabentuk geometri menggabungkan unsur-unsur fizikal jalan raya kehendak atau ciri pemandu serta penggunaan jenis kenderaan. Rekabentuk yang baik perlu untuk:

- a. Mengurangkan jumlah dan potensi kemalangan serius
- b. Menjamin keupayaan menanggung kadar muatan lalulintas yang tinggi
- c. Meminimumkan kelengahan lalulintas dan kenderaan
- d. Menjamin pembinaan jalan raya dengan kepentingan alam sekitar.

3.3 KRITERIA DALAM MERUMUSKAN PIAWAIAN REKABENTUK GEOMETRI

- a. **Ciri kenderaan**
 - dimensi fizikal kenderaan, ciri rintangan kegelinciran tayar, rintangan kenderaan, ciri pecutan dan kos pengendalian kenderaan
- b. **Ciri trafik/lalulintas**
 - maklumat penting lalulintas merangkumi isipadu, kelajuan dan taburan lalulintas pada suatu masa tertentu supaya setimpal dengan jangkaan muatan dan tahap perkhidmatan jalan raya.
- c. **Ciri pemandu**
 - faktor ini termasuk dimensi tubuh badan, ketangkasan pemandu serta faktor yang mempengaruhi dan kadar pertukaran pecutan memusat yang akan dianggap akan memberi ketidakselesaian. Ia mempengaruhi ketinggian mata pemandu dari

aras permukaan jalan raya, jarak penglihatan, kelengkungan dan keperluan lengkung peralihan antara jalan lurus dengan lengkung bulat.

d. Laju kenderaan

- pilihan nilai laju kenderaan mempengaruhi rekabentuk geometri jalan raya dengan mengambil kira laju maksimum dapat dipandu dengan selamat

e. Jenis kawasan dan rupa muka bumi

- penting bagi mengenalpasti rupa bumi di sepanjang jalan dengan merujuk kecerunan muka bumi yang berubah-ubah

f. Estetik

- pemandangan jalan raya mestilah menyenangkan pemandu dan penumpang dengan mengambilkira persekitaran sekeliling laluan.

g. Ekonomi

- manfaat daripada sudut kos pengendalian kenderaan bergantung kepada rekabentuk geometri jalan raya seperti kelengkungan, kecerunan, lebar laluan dan keadaan permukaan jalan raya.

3.4 TAKRIF JARAK PENGLIHATAN

👁️ Ditakrifkan sebagai *jarak berterusan di sepanjang jalan raya yang dapat dilihat dengan jelas oleh pemandu*. Keadaan rupa bumi dan gangguan penglihatan di tepi jalan menyebabkan penyediaan jarak penglihatan yang mencukupi tidak dapat dilakukan.

👁️ Namun begitu, untuk reka bentuk penjajaran datar dan tegak, jarak penglihatan perlu disediakan, supaya:

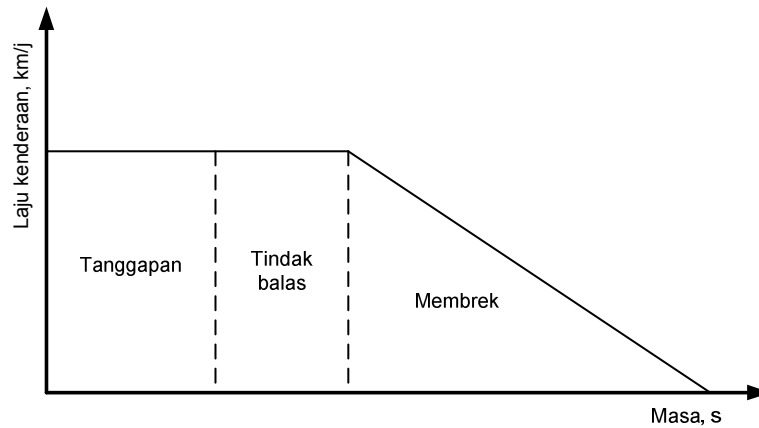
- i. Pemandu dapat berhenti dengan selamat apabila terserempak dengan halangan tak terduga.
- ii. Pemandu dapat melaksanakan kegiatan memotong kenderaan lain dengan selamat.
- iii. Pemandu berpeluang mengambil tindakan yang sewajarnya di persilangan jalan raya yang sangat kompleks.

3.5 JARAK PENGLIHATAN BERHENTI

🚦 Ialah jarak (yang ditempuh sewaktu masa tanggapan, tindak balas dan membrek) yang diperlukan oleh sesebuah kenderaan (kereta penumpang) yang sedang bergerak pada atau hampir dengan laju rekabentuk untuk berhenti dengan selamat tanpa melanggar suatu halangan di dalam laluannya atau sesuatu objek yang muncul dengan tiba-tiba.

Jarak yang diperlukan itu bersamaan dengan jarak yang ditempuh dalam jeda masa berikut:-

- a. Jumlah masa tindak balas.
- b. Masa membrek.



Rajah 3.1 : Hubungan Laju Dengan Masa Dalam Proses Memberhentikan Kenderaan

a. Jumlah masa tindak balas

- bersamaan dengan gabungan masa tanggapan dan tindak balas, i.e masa yang berlalu (bermula dari detik terlihat objek) untuk mengenalpasti rangsangan luaran, memikirkan dan mula melaksanakan jenis tindakan yang sewajarnya yang perlu diambil.
- Contohnya, seorang pemandu terdedah pada rangsangan luaran, P, yang memerlukan beliau menekan brek.
- Masa tanggapan tindak balasnya ialah kala masa di antara ketika ia mula-mula terlihat gangguan P dan ketika kakinya menyentuh jarak injak brek.
- Anggaphlah t (saat) sebagai masa tanggapan tindak balas seseorang pemandu. Jika ia sedang bergerak pada laju reka bentuk V (km/j) dan d_t (meter) ialah jarak tanggapan tindak balasnya, maka:

Jarak tanggapan tindak balas, $d_t = 0.278 tV$

Di mana,

$V =$ Halaju rekabentuk (km/j)

$t =$ masa tanggapan tindak balas (saat)

b. Masa membrek

- Jarak membrek yang diperlukan selepas brek dikenakan yang bergantung kepada laju awal kenderaan dan geseran tayar dengan permukaan jalan.

Jarak membrek, $d_b = \frac{V^2}{254\mu} @ \frac{v^2}{2fg}$

*Nilai f bergantung kepada laju kenderaan. Pada kelajuan 120 km/j nilai f ialah 0.282

*Di mana,

μ = pekali geseran ant. permukaan tayar dengan jalan. V = Halaju rekabentuk (km/j)

f = daya geseran v = Halaju rekabentuk (m/s)

- Jika Jarak Penglihatan Berhenti (d_1) adalah bersamaan dengan gabungan d_t dan d_b , maka

JPB = Jarak Tanggapan Tindakbalas + Jarak Membrek

$$= d_t + d_b$$

$$= 0.278tV + \frac{V^2}{254\mu} @ 0.278tV + \frac{v^2}{2fg}$$

Kesan cerun ke atas JPB:

Menurun cerun

$$d_b = \frac{V^2}{254(\mu-G)} @ \frac{v^2}{2(fg-G)}$$

Mendaki cerun

$$d_b = \frac{V^2}{254(\mu+G)} @ \frac{v^2}{2(fg+G)}$$

*Di mana,

G = Nilai cerun (Dalam perpuluhan)

μ = pekali geseran

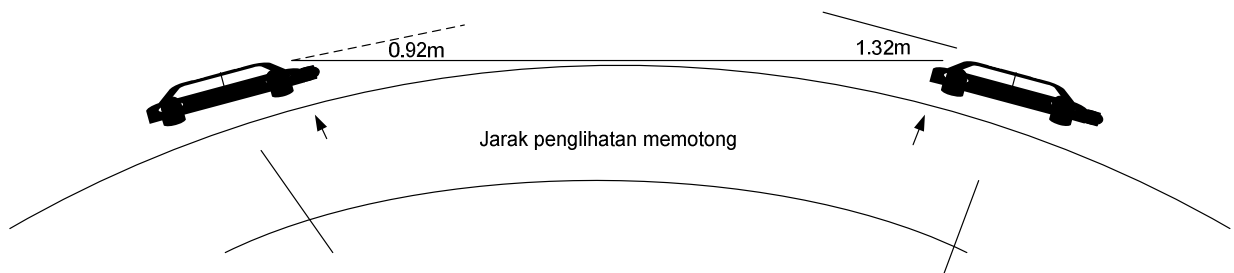
f = friction (geseran)

V = Halaju rekabentuk (km/j)

v = Halaju rekabentuk (m/s)

3.6 JARAK PENGLIHATAN MEMOTONG

- ✚ Dari semasa ke semasa, kenderaan (kenderaan penumpang) bergerak pada laju rekabentuk harus diberikan peluang agar berupaya memotong kenderaan yang lebih perlahan dengan selamat tanpa mengganggu kenderaan dari hadapan yang sedang bergerak pada laju rekabentuk.
- ✚ Keadaan ini sering berlaku di jalan raya luar bandar, dan jarak penglihatan berhenti untuk memotong perlu disediakan berdasarkan jarak selamat bagi kenderaan untuk melengkapkan operasi memotong dalam keadaan biasa.
- ✚ Dalam kes ini, objek gangguan ialah kereta penumpang yang ketinggiannya ialah 1.32 m di atas permukaan jalan raya.
- ✚ Ketinggian mata pemandu tidak berubah, iaitu 0.92m.

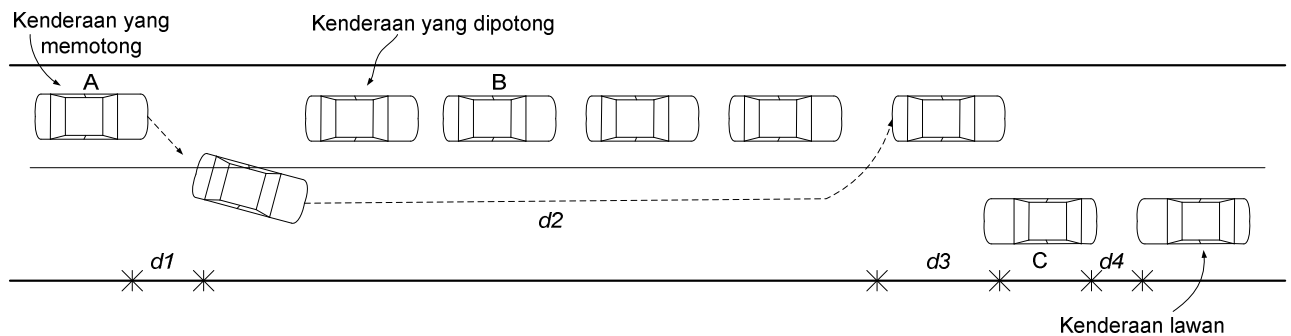


Rajah 3.2: Jarak Penglihatan Memotong

- ✚ Dalam aktiviti memotong, terdapat empat komponen jarak yang dapat dikenalpasti iaitu :
 - i. **Jarak serba salah, d_1**
Pemandu memerlukan sedikit masa untuk membuat pertimbangan sama ada kegiatan memotong wajar atau tidak dilaksanakan. Jika dianggap wajar lagi selamat, ia akan memecut seraya merapati kenderaan yang akan dipotongnya.
 - ii. **Jarak sebenar ketika memotong, d_2**
Kenderaan yang memotong dianggap bergerak 16 km/j lebih laju daripada kenderaan yang dipotong. Kelajuan kenderaan dipotong dianggap sekata.
 - iii. **Dimensi keselamatan, d_3**
Dimensi keselamatan bersamaan dengan jarak di antara kenderaan memotong sebaik sahaja ia kembali semula memasuki lorong asalnya dan kenderaan lawan. Jarak ini haruslah sejauh mungkin demi keselamatan tetapi sedekat mungkin atas perkiraan kos. Jangka masa optimum ialah 1.5 saat.

iv. Jarak yang ditempuhi oleh kenderaan lawan sewaktu operasi memotong sebenar, d_t

Kenderaan lawan dianggap bergerak pada kelajuan rekabentuk. Jarak d_4 tidak semestinya bersamaan dengan (d_1+d_2) kerana kenderaan boleh mengekori amat hampir dengan kenderaan yang ingin dipotong sebelum bertekad untuk melaksanakan aktiviti memotong. Oleh itu, d_4 ditaksirkan lebih kurang bersamaan dengan $2/3 d_2$.



Rajah 3.3: Operasi Memotong Kenderaan

3.7 PENJAJARAN DATAR / UFUK

Jalan raya mestilah direkabentuk dalam satah mendatar dan tegak supaya kenderaan dipandu dengan selamat dan lancar. Dengan kata lain, jalan raya direkabentuk untuk mendapatkan penjajaran yang licin lagi berterusan serta selaras dengan prestasi kenderaan dan kehendak pemandu.

Pelan atau profil datar jalan raya disebut sebagai penjajaran datar. Arah penjajaran ini berubah-ubah kerana faktor muka bumi dan halangan. Oleh itu, penjajaran datar terdiri daripada satu siri jalan lurus atau tangen yang disambungkan oleh lengkung bulat.

Satu lagi jenis lengkung, iaitu lengkung peralihan, biasanya diletakkan di antara lengkung bulat dan jalan lurus. Oleh itu, penjajaran lazimnya terdiri dari tiga unsur iaitu jalan lurus atau tangen, lengkung bulat dan lengkung peralihan.

3.8 JALAN LURUS

- ✚ Jalan raya dibina untuk menghubungkan dua tempat.
- ✚ Secara ideal, jarak terdekat dihindarkan tetapi jarak terdekat hanya mungkin direalisasikan jika dua tempat dihubungkan oleh garisan atau jalan lurus.
- ✚ Namun begitu, penjajaran begitu mustahil diperolehi kerana faktor rupa bumi dan terpaksa mengelak gangguan fizikal dan kawasan tanah buruk.
- ✚ Jalan lurus hanya mungkin disediakan di antara lengkung yang berlainan arah.

- ✚ Dalam keadaan begini, panjang jalan lurus elok dihadkan kerana:-
- (1) Jalan raya terpaksa melalui kawasan yang rupa buminya beralun. Oleh itu, penyediaan jalan lurus yang terlalu panjang menyulitkan usaha untuk memadankannya dengan topografi tanpa melibatkan kerja tanah yang banyak.
 - (2) Jalan lurus meningkatkan potensi kemalangan disebabkan:-
 - (a) Memandu di atas jalan lurus yang panjang melibatkan kegiatan rutin yang cepat merangsangkan kelesuan dan kebosanan. Pada waktu malam pula, keamatan suluhan lampu depan kenderaan dari arah hadapan cepat melesukan mata.
 - (b) Kecenderungan pemandu untuk memandu laju di atas jalan raya.
 - (c) Kelajuan kenderaan dari hadapan sukar ditaksir dan seterusnya membahayakan kegiatan memotong.
 - (3) Pembahagi tengah sebahagian jalan raya dilandskapkan dengan pokok pada julat yang seragam. Bayangan pokok yang hilang timbul ketika memandu pada waktu pagi atau petang boleh meninggalkan kesan hipnosis.
- ✚ Oleh itu, panjang jalan lurus mestilah dihadkan dan kriteria reka bentuknya dikawal oleh panjang maksimum yang diizinkan.
- ✚ Piawaian LLM menyarankan bahawa panjang jalan lurus berterusan hendaklah tidak melebihi jarak memandu selama dua minit pada laju reka bentuk.
- ✚ Oleh itu, jika laju reka bentuk lebih raya ialah 100 km/j, maka :

$$\begin{aligned}\text{Panjang jalan lurus maksimum} &= 100 \times 2 \times (1/60) \\ &= 3\frac{1}{3} \text{ km.}\end{aligned}$$

3.9 LENGKUNG BULAT

- ✚ Beberapa lengkung bulat yang digunakan dalam penjajaran datar yang terdiri daripada:
- (1) Lengkung bulat mudah
 - (2) Lengkung Majmuk
 - (3) Lengkung Balikan
 - (4) Lengkung Putus Balik

(2) Panjang Perentas, N

Rujuk ΔADO ; Sudut $ADO = 90^\circ$

$$\begin{aligned} \sin(\theta/2) &= AD/R \\ AD &= R \sin(\theta/2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka, } N &= 2AD \\ &= 2R \sin(\theta/2) \end{aligned}$$

(3) Panjang Lengkung, L

$$L = \frac{\theta}{360} \times 2\pi R$$

(4) Jarak Luar, E

Rujuk ΔAOB

$$\begin{aligned} \cos(\theta/2) &= \frac{R}{R+E} \\ R+E &= \frac{R}{\cos(\theta/2)} \\ E &= \frac{R}{\cos(\theta/2)} - R \\ E &= R \operatorname{sekan}(\theta/2) - R \\ E &= R(\operatorname{sekan}(\theta/2) - 1) \end{aligned}$$

(5) Ordinat Tengah, M

Rujuk ΔADO

$$\begin{aligned} \cos(\theta/2) &= \frac{R-M}{R} \\ R-M &= R \cos(\theta/2) \\ M &= R - R \cos(\theta/2) \\ M &= R(1 - \cos(\theta/2)) \end{aligned}$$

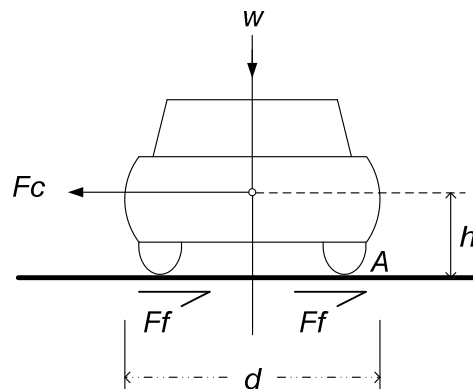
3.11 REKABENTUK LENGKUNG BULAT MUDAH

✚ Jejaris lengkung bulat mudah dihidangkan untuk memenuhi keperluan seperti berikut:

- (a) Untuk mengimbangi daya emparan dengan bantuan geseran sisi dan sendangan.
- (b) Untuk memenuhi jarak penglihatan yang mencukupi.

3.11.1 Daya Emparan

- ✚ Daya emparan ialah daya tindak balas luar ketika yang bertindak ketika kenderaan bergerak melalui selekoh berjajari R . Arah daya ini menuju ke pusat bulatan.
- ✚ Magnitudnya ke atas kenderaan berjisim, m (kg), dan pecutan jejarian kenderaan, a (m/s^2), ditentukan berasaskan hukum Newton kedua, iaitu:
Daya emparan, $F_c = ma$



Jisim, $m = \frac{w}{g}$ dan magnitud pecutan, $a = \frac{v^2}{R}$

Daya emparan, $F_c = \frac{wv^2}{gR}$

Daya geseran sisi, $F_f = w\mu$

Di mana: w = berat kenderaan (kg)
 v = halaju kenderaan (m/s)
 g = pecutan graviti (m/s^2)
 R = jejari lengkung bulatan (m)
 μ = pekali geseran sisi

Untuk keseimbangan kenderaan:

$$\begin{aligned} F_f &= F_c \\ w\mu &= \frac{wv^2}{gR} \\ \mu &= \frac{v^2}{gR} \quad \text{atau} \quad R = \frac{v^2}{g\mu} \end{aligned}$$

- ✚ Oleh itu, jika nilai pekali geseran sisi diketahui maka jejari kelengkungan bagi laju rekabentuk boleh dihitung.

- Kenderaan juga berpotensi berputar dan seterusnya terbalik disekitar titik A . Supaya kenderaan tidak terbalik, jumlah daya disekitar A mestilah sifar. Katakan d ialah lebar kenderaan dan h ialah ketinggian pusat gravitinya.
- Bagi keseimbangan putaran, ambil momen pada A ,

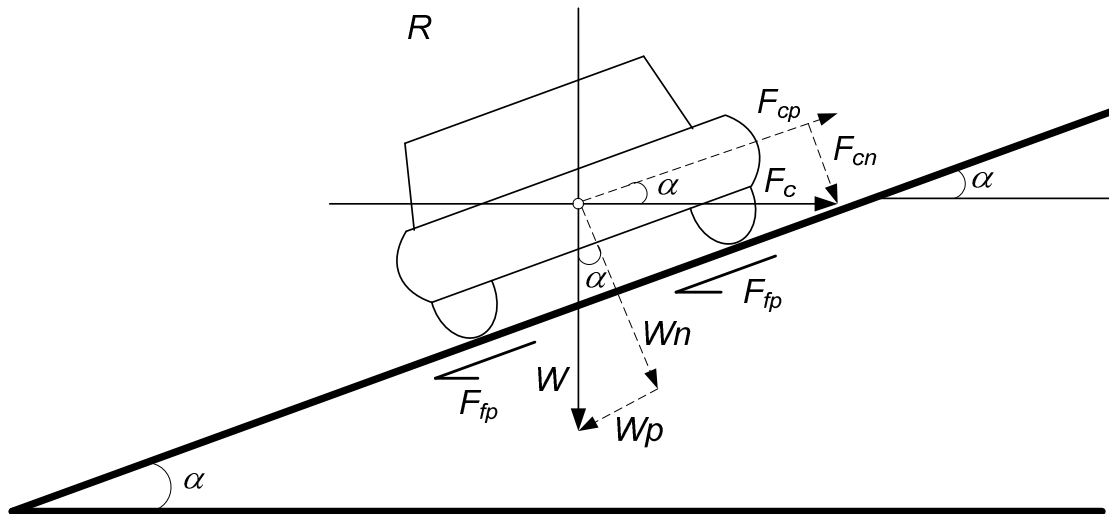
$$\frac{wv^2}{gR} \times h = w \times \frac{d}{2}$$

$$h = \frac{Rgh}{2v^2} \quad \text{gantikan } R = \frac{v^2}{g\mu}$$

Oleh itu; $h = \frac{d}{2\mu}$

Dari persamaan di atas, jika $\mu = 0.5$, maka $h = d$

- Kenderaan akan terbalik jika ketinggian pusat graviti melebihi lebar kenderaan. Ketinggian pusat graviti kenderaan moden, terutamanya kereta penumpang sangat kecil kalau dibandingkan dengan lebarnya.
- Untuk kenderaan itu terbalik, nilai μ perlu lebih besar. Di dalam praktik yang sebenar, nilai μ biasanya lebih rendah dari 0.5 iaitu 0.099 – 0.15.
- Oleh itu kenderaan kereta penumpang biasanya akan tergelincir dahulu sebelum terbalik.
- Masalah kemungkinan terbalik biasanya dialami oleh kenderaan yang pusat gravitinya adalah tinggi. Contohnya kenderaan perdagangan.
- Pada permukaan datar, daya emparan diimbangi oleh daya geseran sisi sahaja. Ini biasanya tidak mencukupi.
- Untuk menambahkan lagi kadar daya emparan, selekoh lebuhraya disendengkan α .



- ✚ Rajah di atas menunjukkan daya yang bertindak ke atas kenderaan yang sedang menyelekoh.
- ✚ Tiga daya asal yang bertindak ke atas kenderaan, iaitu daya empar F_c , daya geseran sisi F_f dan berat kenderaan, W adalah seimbang.
- ✚ Oleh sebab itu ketiga-tiga daya tersebut tertumpu pada pusat graviti kenderaan. α ialah sudut diantara satah condong OA dan satah mengufuk.
- ✚ Jika diandaikan μ ialah pekali geseran sisi yang dibenarkan, maka daya geseran sisi yang selari dengan satah OA iaitu F_{fp} ialah $W\mu \cos \alpha$.

$$\sin \alpha = \frac{W_p}{W} \quad \therefore W_p = W \sin \alpha$$

$$\begin{aligned} \cos \alpha &= \frac{F_{cp}}{F_c} & \therefore F_{cp} &= F_c \cos \alpha \\ & & &= \frac{Wv^2}{gR} \cos \alpha \end{aligned}$$

Untuk keseimbangan daya yang selari dengan OA :

$$F_{cp} = W_p + F_{fp}$$

$$\frac{Wv^2}{gR} \cos \alpha = W \sin \alpha + W\mu \cos \alpha$$

$$\frac{Wv^2}{gR} = \frac{W \sin \alpha}{\cos \alpha} + \frac{W\mu \cos \alpha}{\cos \alpha}$$

$$\frac{Wv^2}{gR} = W \tan \alpha + W\mu$$

$$R = \frac{v^2}{g(\tan \alpha + \mu)}$$

di mana, $\tan \alpha = \frac{e}{1}$ dengan e ialah kadar sendengan

$$R = \frac{v^2}{g(e + \mu)}$$

- ✚ Faktor pekali geseran sisi, μ bergantung kepada:
 - (a) Kelajuan kenderaan
 - (b) Jenis dan keadaan tayar
 - (c) Jenis bahan dan permukaan jalan raya
 - (d) Keadaan cuaca

3.11.2 Kadar Sendengan

- ✚ Jalan raya boleh disendengkan supaya daya empar sebuah kenderaan yang bergerak pada halaju tertentu diimbangi secukupnya oleh komponen berat kenderaan yang bertindak selari dengan satah OA .

- ✚ Nilai maksimum sendengan:

Jalan raya	JKR	LLM
Luar bandar	10%	7%
Bandar	6%	

3.11.3 Jejari Lengkung Bulat

- ✚ Dari persamaan, didapati jejari lengkung bulat:

$$R_{min} = \frac{v^2}{g(e_{min} + \mu_{mak})}$$

- ✚ Piawaian JKR bagi nilai jejari lengkung bulat seperti berikut:

Laju Reka Bentuk (km/j)	Jejari Minimum	
	Luar Bandar, $e = 0.06$	Bandar, $e = 0.10$
120	710	570
100	465	375
80	280	230
60	150	125
50	100	85
40	60	50
30	35	30
20	15	15

- ✚ Piawaian LLM bagi nilai jejari lengkung bulat seperti berikut:

Laju Reka Bentuk (km/j)	140	120	100	80
Jejari Minimum	1000	650	450	240