

# FISIKA UNTUK TEKNIK SIPIL (DI BIDANG TRANSPORTASI)

Dr.Eng. Muhammad Zudhy Irawan, S.T., M.T.

1

1

**KARAKTERISTIK KENDARAAN**

## PENDAHULUAN

3

- Kriteria untuk desain geometrik jalan dan tebal perkerasan didasarkan pada:
  1. Karakteristik statis kendaraan : berat dan ukuran kendaraan
  2. Karakteristik kinematis kendaraan : percepatan
  3. Karakteristik dinamis kendaraan: tahanan yang terjadi

## 1. KARAKTERISTIK STATIS KENDARAAN

4

- Adalah: berat dan ukuran kendaraan
- Berat kendaraan digunakan untuk menentukan tebal perkerasan
- Ukuran kendaraan digunakan untuk menentukan lebar lajur, lebar bahu jalan, panjang dan lebar tempat parkir, maupun panjang tikungan

5

- Terdapat 2 standar yang umumnya digunakan di dalam mengklasifikasikan kendaraan di Indonesia
  1. AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*)
  2. RSNI T-14-2004 untuk perencanaan geometrik jalan perkotaan dan SNI-1997 untuk jalan antar kota

6

- Pada tikungan, lebar tikungan didesain untuk dapat mengakomodasi jenis kendaraan yang diijinkan lewat, yang terdiri dari
  1. Alinyemen vertikal dan horisontal
  2. Lebar lajur
  3. Radius belok
  4. Jarak pandang

## PENENTUAN DESAIN KENDARAAN

7

- Penentuan desain kendaraan yang melewati suatu ruas jalan dipengaruhi oleh fungsi atau klasifikasi jalan tersebut dan proporsi tipe kendaraan yang akan menggunakan jalan tersebut
- Pada jalan lintas, haruslah dapat mengakomodasi lalu lintas truk
- Penentuan jenis kendaraan yang dapat melewati suatu ruas jalan juga harus diatur di dalam undang-undang

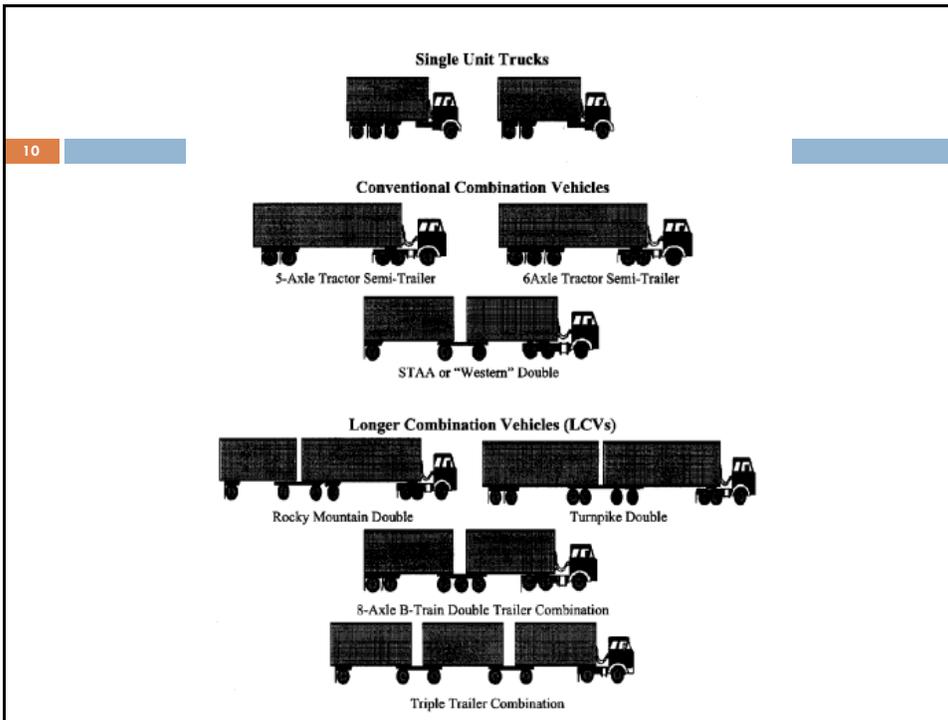
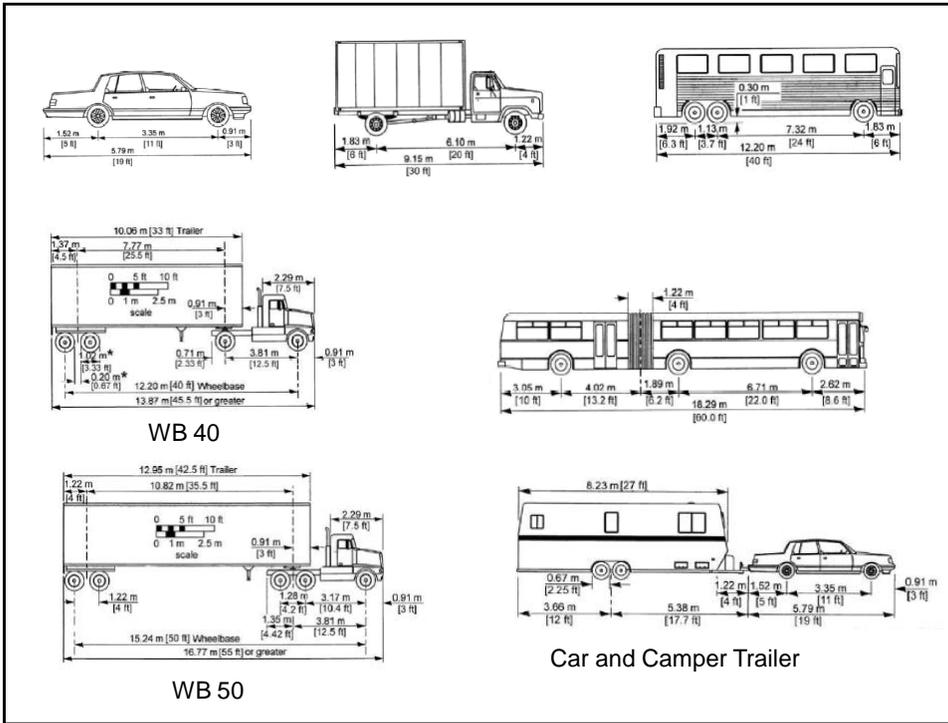
## STANDAR AASHTO

1 meter = 3.28084 feet

1 feet = 0.3048 meter

8

U.S. Customary													
Dimensions (ft)													
Design Vehicle Type	Symbol	Overall			Overhang		WB <sub>1</sub>	WB <sub>2</sub>	S	T	WB <sub>3</sub>	WB <sub>4</sub>	Typical Kingpin to Center of Rear Axle
		Height	Width	Length	Front	Rear							
Passenger Car	P	4.25	7	19	3	5	11	—	—	—	—	—	—
Single-Unit Truck	SU	11–13.5	8.0	30	4	6	20	—	—	—	—	—	—
<b>Buses</b>													
Intercity Bus	BUS-40	12.0	8.5	40	6	6.3 <sup>a</sup>	24	3.7	—	—	—	—	—
(Motor Coaches)	BUS-45	12.0	8.5	45	6	8.5 <sup>a</sup>	26.5	4.0	—	—	—	—	—
City Transit Bus	CITY-BUS	10.5	8.5	40	7	8	25	—	—	—	—	—	—
Conventional School Bus (65 pass.)	S-BUS 36	10.5	8.0	35.8	2.5	12	21.3	—	—	—	—	—	—
Large School Bus (84 pass.)	S-BUS 40	10.5	8.0	40	7	13	20	—	—	—	—	—	—
Articulated Bus	A-BUS	11.0	8.5	60	8.6	10	22.0	19.4	6.2 <sup>b</sup>	13.2 <sup>b</sup>	—	—	—
<b>Trucks</b>													
Intermediate Semitrailer	WB-40	13.5	8.0	45.5	3	2.5 <sup>a</sup>	12.5	27.5	—	—	—	—	27.5
Intermediate Semitrailer	WB-50	13.5	8.5	55	3	2 <sup>a</sup>	14.6	35.4	—	—	—	—	37.5
Interstate Semitrailer	WB-62 <sup>a</sup>	13.5	8.5	68.5	4	2.5 <sup>a</sup>	21.6	40.4	—	—	—	—	42.5
Interstate Semitrailer	WB-65 <sup>a</sup> or WB-67	13.5	8.5	73.5	4	4.5–2.5 <sup>a</sup>	21.6	43.4–45.4	—	—	—	—	45.5–47.5
"Double-Bottom"-Semitrailer/Trailer	WB-67D	13.5	8.5	73.3	2.33	3	11.0	23.0	3.0 <sup>d</sup>	7.0 <sup>d</sup>	23.0	—	23.0
Triple-Semitrailer/Trailers	WB-100T	13.5	8.5	104.8	2.33	3	11.0	22.5	3.0 <sup>d</sup>	7.0 <sup>d</sup>	23.0	23.0	23.0
Turnpike Double-Semitrailer/Trailer	WB-109D <sup>a</sup>	13.5	8.5	114	2.33	2.5 <sup>a</sup>	14.3	39.9	2.5 <sup>a</sup>	10.0 <sup>d</sup>	44.5	—	42.5
<b>Recreational Vehicles</b>													
Motor Home	MH	12	8	30	4	6	20	—	—	—	—	—	—
Car and Camper Trailer	P/T	10	8	48.7	3	10	11	—	5	19	—	—	—
Car and Boat Trailer	P/B	—	8	42	3	8	11	—	5	15	—	—	—
Motor Home and Boat Trailer	MH/B	12	8	53	4	8	20	—	6	15	—	—	—
Farm Tractor <sup>f</sup>	TR	10	8–10	16 <sup>f</sup>	—	—	10	9	3	6.5	—	—	—

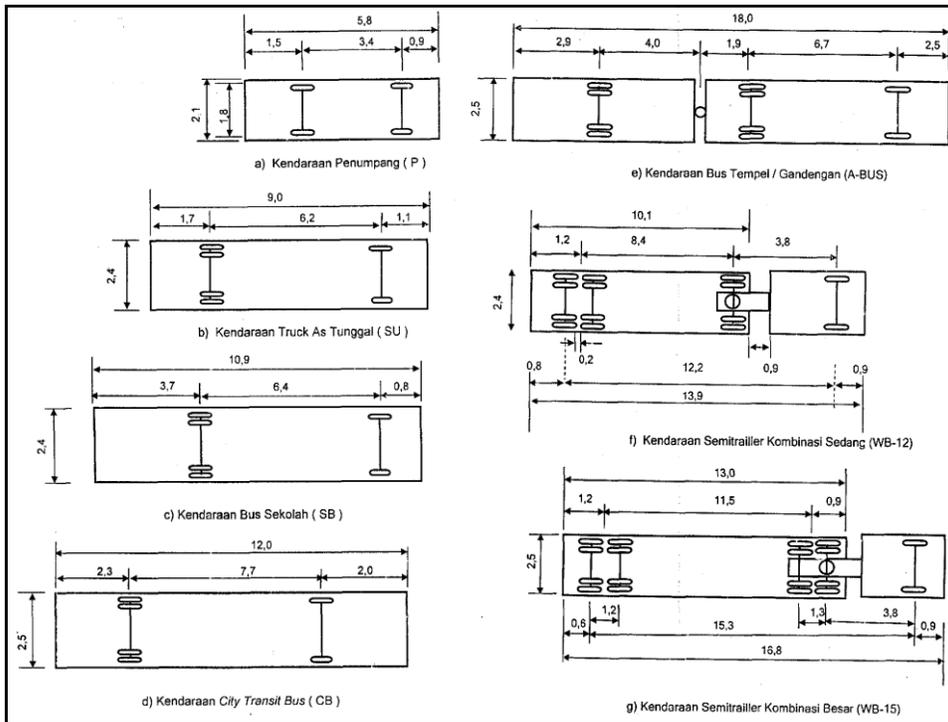


11	KONFIGURASI SUMBU & TIPE	BERAT KOSONG (ton)	BEBANMUATAN MAKSIMUM(ton)	BERAT TOTAL MAKSIMUM(ton)	LE 18 K.SAL KOSONG	LE 18 K.SAL MAKSIMUM	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ RODA TUNGGAL PADA UJUNG SUMBU</li> <li>● RODA GANDA PADA UJUNG SUMBU</li> </ul>
	1,1 HP	1,5	0,5	2,0	0,0001	0,0005	
	1,2 BUS	3	6	9	0,0037	0,3006	
	1,2L TRUK	2,3	6	8,3	0,0013	0,2174	
	1,2H TRUK	4,2	14	18,2	0,0143	5,0264	
	1,22 TRUK	5	20	25	0,0044	2,7416	
	1,2+2,2 TRAILER	6,4	25	31,4	0,0085	3,9083	
	1,2-2 TRAILER	6,2	20	26,2	0,0192	6,1179	
	1,2-2,2 TRAILER	10	32	42	0,0327	10,1830	

(Sumber : Manual Perkerasan Jalan dengan alat Benkelman beam No. 01/MNEM83).

## STANDAR RSNI T-14-2004

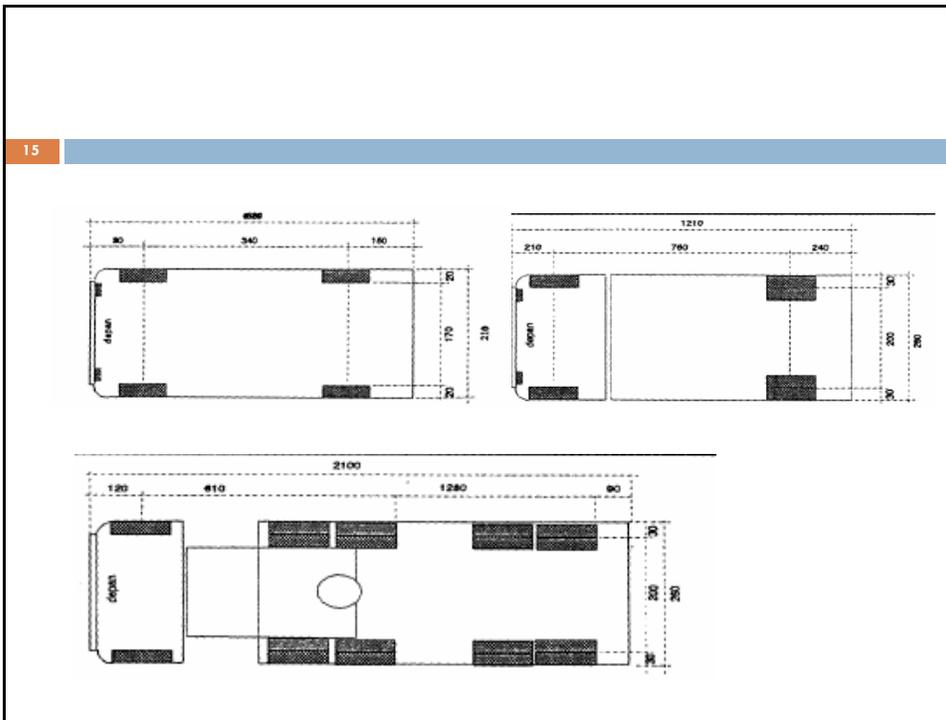
12	Jenis kendaraan rencana	Simbol	Dimensi kendaraan			Dimensi tonjolan	
			Tinggi	Lebar	Panjang	Depan	Belakang
	Mobil penumpang	P	1,3	2,1	5,8	0,9	1,5
	Truk As Tunggal	SU	4,1	2,4	9,0	1,1	1,7
	Bis Gandengan	A-BUS	3,4	2,5	18,0	2,5	2,9
	Truk Semitrailer Kombinasi Sedang	WB-12	4,1	2,4	13,9	0,9	0,8
	Truk Semitrailer Komb.Besar	WB-15	4,1	2,5	16,8	0,9	0,6
	Convensional School Bus	SB	3,2	2,4	10,9	0,8	3,7
	City Transit Bus	CB	3,2	2,5	12,0	2,0	2,3



## STANDAR SNI 1997 – JALAN ANTAR KOTA

14

Jenis kendaraan rencana	Dimensi kendaraan			Dimensi tonjolan	
	Tinggi	Lebar	Panjang	Depan	Belakang
Kendaraan Kecil	1,3	2,1	5,8	0,9	1,5
Kendaraan Sedang	4,1	2,6	12,1	2,1	2,4
Kendaraan Besar	4,1	2,6	21	1,2	0,9



## RADIUS PUTAR

16

- Pada penentuan desain kendaraan, radius putar kendaraan merupakan faktor terpenting yang harus dipertimbangkan
- Khususnya jika ruas jalan dilewati untuk kendaraan truk
- Semakin besar ukuran kendaraan, maka radius putarnya juga semakin besar

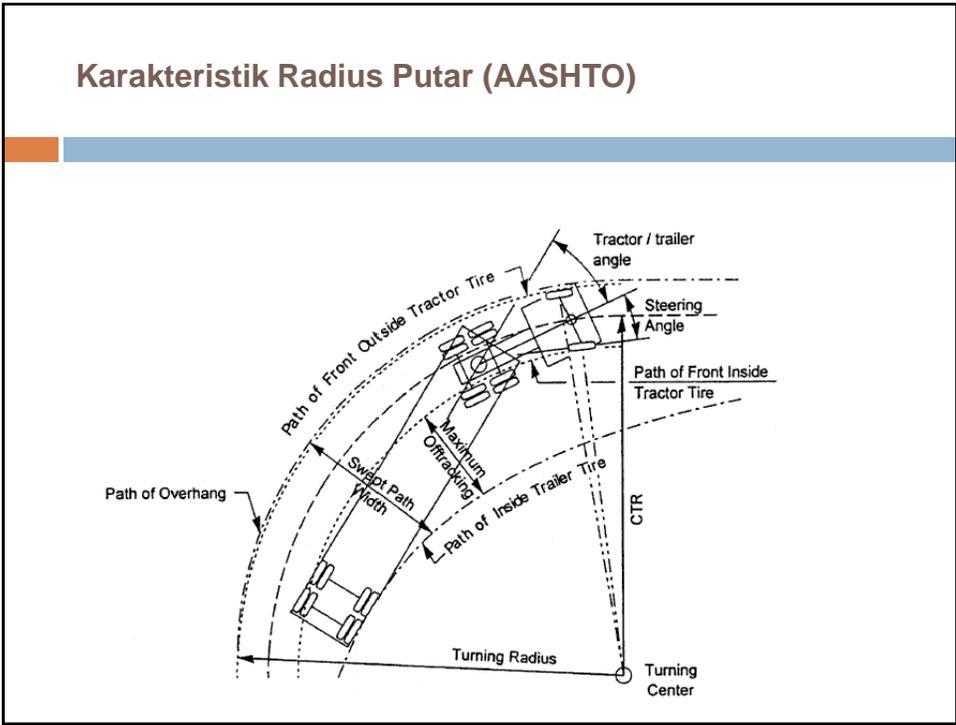
17

$W$  = berat kendaraan                       $\alpha$  = sudut  
 $f_s$  = koefisien radius putar               $e$  =  $\tan \alpha$  (superelevasi)  
 $g$  = gravitasi                                       $T$  = lebar track  
 $u$  = kecepatan                                       $H$  = tinggi dari pusat gravitasi  
 $R$  = radius putar

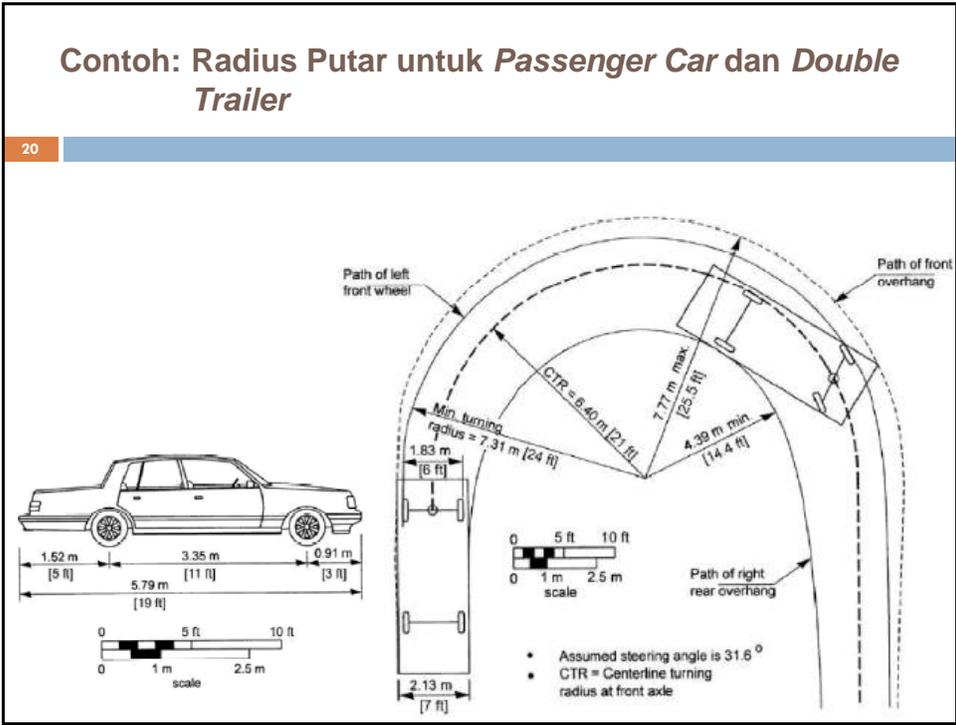
18

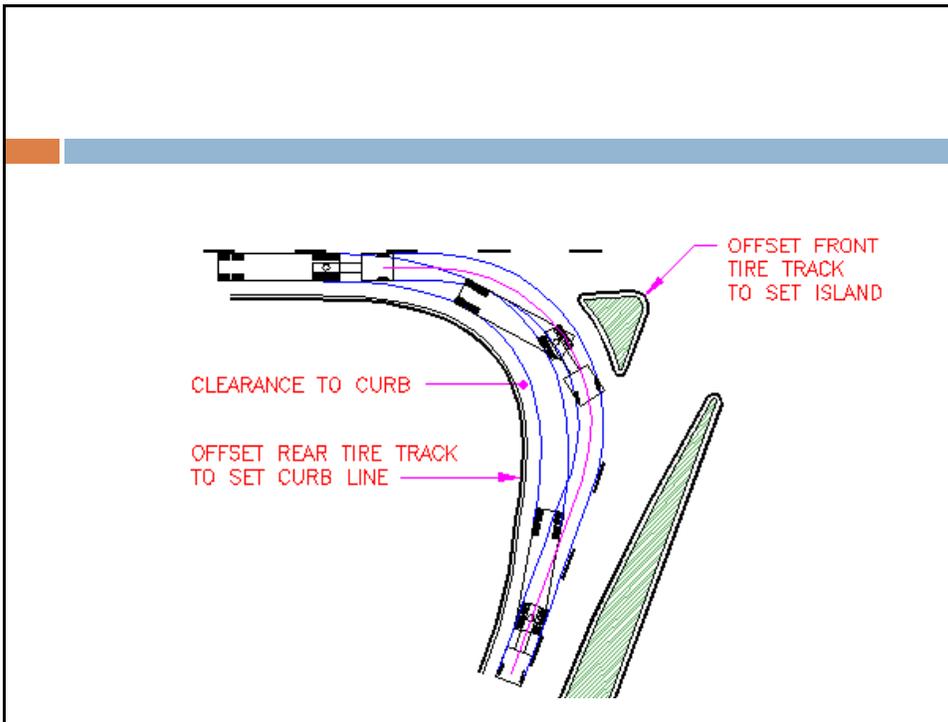
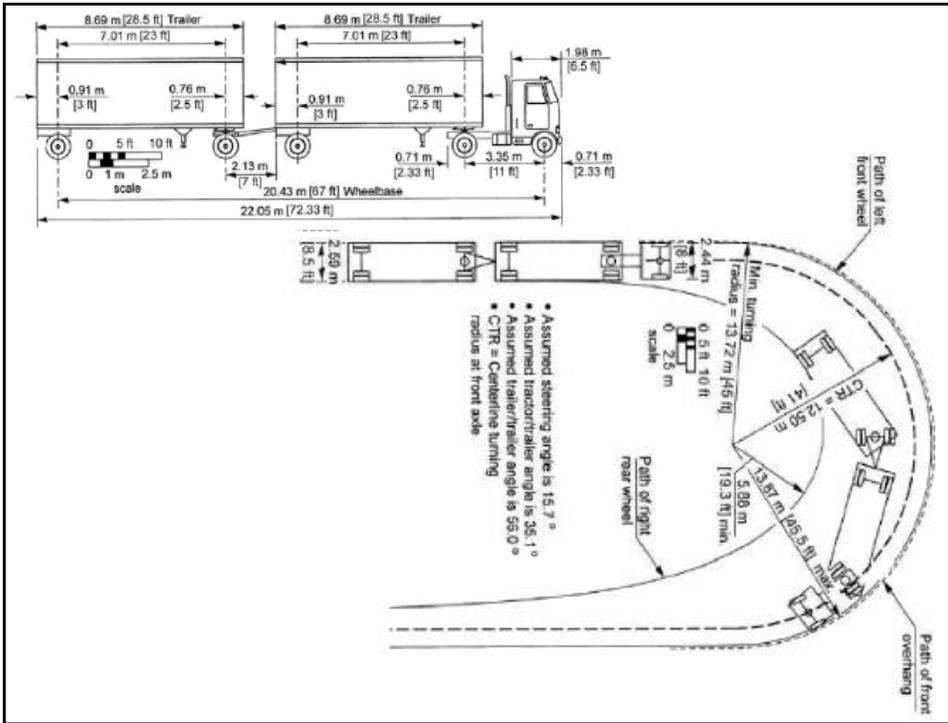
<i>Design Speed (mi/h)</i>	<i>Coefficients of Side Friction, <math>f_s</math></i>
30	0.20
40	0.16
50	0.14
60	0.12
70	0.10

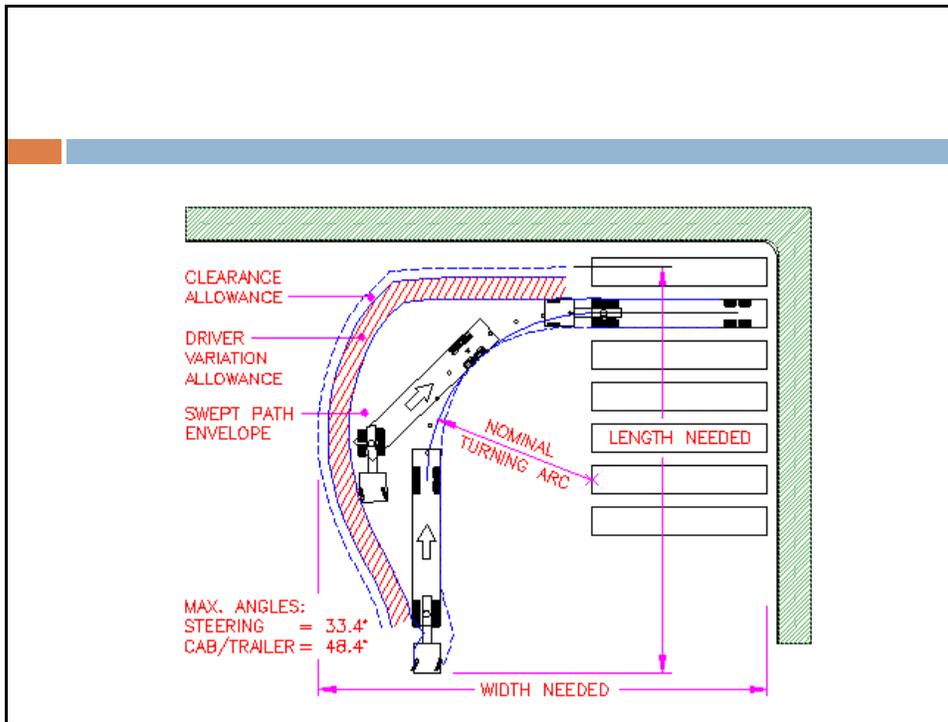
### Karakteristik Radius Putar (AASHTO)



### Contoh: Radius Putar untuk *Passenger Car dan Double Trailer*

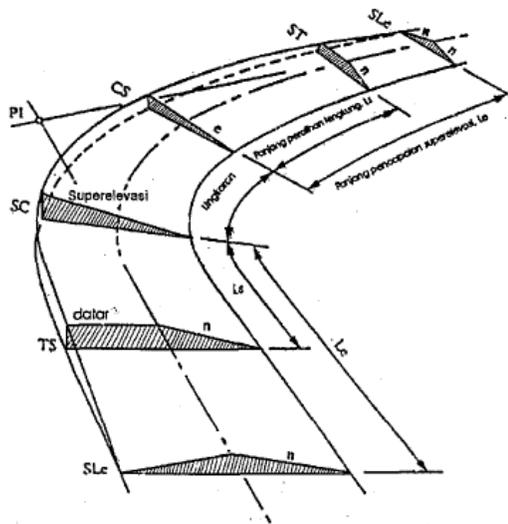






## Karakteristik Radius Putar (RSNI – Jalan Perkotaan)

24



- PI = Titik perpotongan sumbu jalan
- TS = Titik tangen spiral
- SLe = Titik permulaan pencapaian superelevasi
- SC = Titik peralihan spiral ke lengkung lingkaran
- Ls = Panjang spiral, TS ke SC (m)
- n = Superelevasi manual (%)
- e = Superelevasi

25

R (m)	V <sub>a</sub> = 30 km/h			V <sub>a</sub> = 40 km/h			V <sub>a</sub> = 50 km/h			V <sub>a</sub> = 60 km/h			V <sub>a</sub> = 70 km/h			V <sub>a</sub> = 80 km/h			V <sub>a</sub> = 90 km/h			V <sub>a</sub> = 100 km/h		
	e (%)	Lr (m)		e (%)	Lr (m)		e (%)	Lr (m)		e (%)	Lr (m)		e (%)	Lr (m)		e (%)	Lr (m)		e (%)	Lr (m)		e (%)	Lr (m)	
		2	4		2	4		2	4		2	4		2	4		2	4		2	4		2	4
7000	NC	0	0	NC	0	0																		
5000	NC	0	0	NC	0	0																		
3000	NC	0	0	RC	15	23																		
2500	NC	0	0	RC	14	22	2,1	16	24															
2000	NC	0	0	RC	13	20	2,2	16	24	2,7	21	31												
1500	NC	0	0	RC	13	20	2,4	17	26	2,8	21	32												
1400	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	RC	12	18	2,1	14	21	2,6	18	27	3,0	23	34	3,5	29	43
1300	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	RC	12	18	2,2	14	22	2,7	19	29	3,2	25	37	3,7	30	45
1200	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	RC	11	17	2,1	13	19	2,6	17	26	3,1	22	33	3,6	28	41
1000	NC	0	0	NC	0	0	RC	11	17	2,3	14	21	2,8	18	27	3,4	24	34	3,9	30	45	4,2	34	52
900	NC	0	0	NC	0	0	RC	11	17	2,5	15	23	3,1	20	30	3,5	26	39	4,2	32	48	4,9	40	60
800	NC	0	0	RC	10	15	2,4	13	20	2,9	17	25	3,4	22	33	4,0	29	43	4,6	35	53	5,2	43	64
700	NC	0	0	RC	10	15	2,4	13	20	3,1	19	28	3,8	25	37	4,3	31	46	5,0	38	57	5,6	46	69
600	NC	0	0	2,1	11	16	2,8	15	23	3,5	21	32	4,2	27	41	4,8	35	52	5,4	41	62	5,9	48	72
500	NC	0	0	2,5	13	19	3,3	18	27	4,0	24	36	4,7	31	46	5,3	38	57	5,9	45	66			
400	RC	10	14	3,1	16	24	3,9	22	32	4,6	28	41	5,4	35	53	5,9	42	64						
300	RC	10	14	3,5	18	27	4,2	23	35	5,0	30	45	5,8	38	57	6,0	43	65						
250	2,3	11	17	3,5	18	27	4,2	23	35	5,0	30	45	5,8	38	57	6,0	43	65						
200	2,6	13	20	3,9	20	30	4,7	26	39	5,5	33	50	6,0	39	59									
175	3,0	14	22	4,1	21	32	5,0	28	42	5,8	35	52												
150	3,3	16	24	4,4	23	34	5,3	29	44	6,0	36	54												
140	3,5	17	25	4,5	23	35	5,4	30	45	6,0	36	54												
130	3,6	17	26	4,6	24	35	5,6	31	47															
120	3,8	18	27	4,8	25	37	5,7	32	47															
110	3,9	19	28	5,0	26	39	5,8	32	48															
100	4,1	20	30	5,2	27	40	6,0	33	50															
90	4,2	20	30	5,4	28	42	6,0	33	50															
80	4,5	22	32	5,6	29	43																		
70	4,7	23	34	5,8	30	45																		
60	5,0	24	36	6,0	31	46																		
50	5,4	26	39																					
40	5,8	28	42																					
20	6,0	29	43																					

e max = Superelevasi maksimum 6 %  
 R = Jari-jari lengkung  
 V<sub>a</sub> = Asumsi kecepatan rencana  
 e = Tingkat superelevasi  
 Lr = Panjang minimum pencapaian superelevasi run off  
 (tidak termasuk panjang pencapaian superelevasi run out)  
 NC = Lerenq normal  
 RC = Lerenq luar diputar sehingga perkerasan mendapat kemiringan melintang sebesar lereng normal

26

- Radius putar minimum juga dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$R = \frac{u^2}{15(e + f_s)}$$

→ u adalah kecepatan rencana

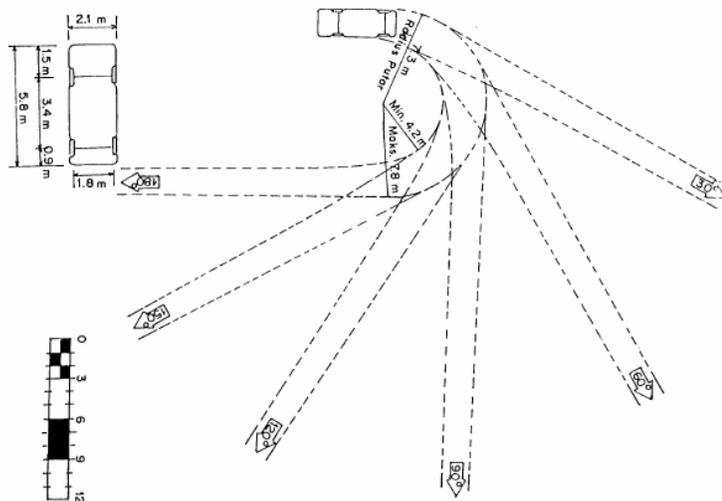
27

**Contoh Soal 1.**

Sebuah tikungan memiliki radius 465 ft, dengan kecepatan kendaraan yang diijinkan adalah 61,5% dari kecepatan rencana. Jika diinginkan kecepatan kendaraan dapat melaju lebih cepat saat di tikungan tersebut yaitu sama dengan nilai kecepatan rencananya, tentukan nilai radius putarnya, jika diketahui nilai superelevasinya adalah 0,08 baik untuk kondisi eksisting maupun kondisi skenario !

**Karakteristik Radius Putar (SNI – Jalan Antar Kota)**

28



## 2. KARAKTERISTIK KINEMATIK KENDARAAN

29

- Yaitu kemampuan kendaraan untuk akselerasi
- Berguna untuk menentukan *gap acceptance* dan *passing maneuvers*/panjang lajur untuk menyiap
- Kecepatan ( $u = \dot{x}$ ) dan percepatan ( $a = \ddot{x}$ ) kendaraan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\dot{x} = \frac{dx}{dt}$$

$$\ddot{x} = \frac{d^2x}{dt^2}$$

- Dimana x adalah jarak dan t adalah waktu

30

- Ada 2 asumsi yang digunakan terkait penentuan percepatan
  1. Percepatan adalah konstan

$$\ddot{x}_i = a$$

$$\frac{d\dot{x}}{dt} = a$$

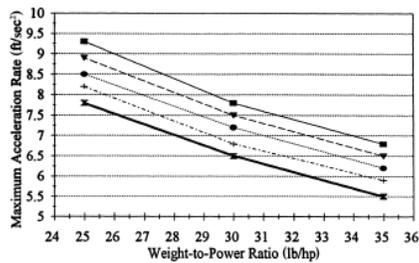
$$\dot{x} = at + C_1$$

$$x = \frac{1}{2}at^2 + C_1t + C_2$$

Dimana C1 dan C2 adalah konstanta

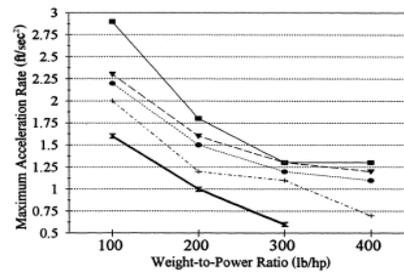
31

2. Percepatan adalah fungsi dari kecepatan  
 Saat kendaraan dengan kecepatan lambat, akselerasi dapat lebih tinggi dibandingkan saat kendaraan cepat.



■ 0 to 10 mi/h ▼ 0 to 20 mi/h ◆ 0 to 30 mi/h ↔ 0 to 40 mi/h → 0 to 50 mi/h

Mobil Penumpang



■ 0 to 10 mi/h ▼ 0 to 20 mi/h ◆ 0 to 30 mi/h ↔ 0 to 40 mi/h → 0 to 50 mi/h

Truk Semi Trailer

32

- Persamaan yang digunakan :

$$\frac{du_t}{dt} = \alpha - \beta u_t$$

$$u_t = \frac{\alpha}{\beta}(1 - e^{-\beta t}) + u_0 e^{-\beta t}$$

$$x = \int_0^t u_t dt = \int_0^t \left[ \frac{\alpha}{\beta}(1 - e^{-\beta t}) + u_0 e^{-\beta t} \right] dx$$

$$= \left( \frac{\alpha}{\beta} \right) t - \frac{\alpha}{\beta^2}(1 - e^{-\beta t}) + \frac{u_0}{\beta}(1 - e^{-\beta t})$$

33

- **Contoh Soal 2.** Percepatan kendaraan mengikuti pers. berikut:

$$\frac{du_t}{dt} = 33 - 0.04u$$

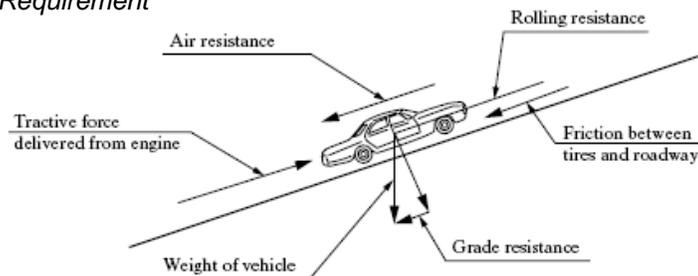
revisi: 3.3 bukan 33

Dimana  $u$  adalah kecepatan kendaraan dalam satuan ft/detik. Jika kecepatan kendaraan saat itu adalah 45 mil/jam, hitunglah kecepatannya setelah 5 detik dilakukan akselerasi, dan berapakah jarak yang ditempuh selama waktu tersebut?

### 3. KARAKTERISTIK DINAMIS KENDARAAN

34

- Terdiri atas:
  1. *Air Resistance*
  2. *Grade Resistance*
  3. *Rolling Resistance*
  4. *Curve Resistance*
  5. *Power Requirement*



35

- *Air Resistance* (Tahanan Udara)

$$R_a = 0.5 \frac{(2.15 p C_D A u^2)}{g} \quad \dots \text{ Satuan lb}$$

$p$  = kepadatan udara (0,0766 lb/ft<sup>3</sup>)

$C_D$  = koefisien aerodynamic (0,4 untuk mobil penumpang, 0,5-0,8 untuk truk)

$A$  = *frontal cross sectional area* (ft<sup>2</sup>)

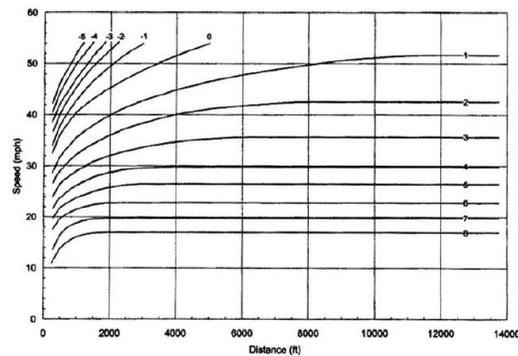
$u$  = kecepatan kendaraan (mil/jam)

$g$  = gravitasi (32,2 ft/detik<sup>2</sup>)

36

- *Grade Resistance* (Tahanan Kemiringan)

Digunakan persamaan = Berat Kendaraan x Kemiringan



Contoh: grafik untuk truk 200 lb/hp saat tanjakan dan turunan

37

- *Rolling Resistance* (Tahanan Menggelinding)

$$R_r = (C_{rs} + 2.15C_{rv}u^2)W \quad \dots \text{ Untuk mobil penumpang (lb)}$$

$$R_r = (C_a + 1.47C_bu)W \quad \dots \text{ Untuk truk (lb)}$$

$C_{rs} = C_a$  = konstanta (0,012 untuk mobil penumpang dan 0,02445 untuk truk)

$C_{rv} = C_b$  konstanta ( $0,65 \times 10^{-6}$  untuk mobil penumpang dan 0,00044 untuk truk)

$u$  = kecepatan kendaraan (mil/jam)

$W$  = berat kotor kendaraan (lb)

38

- *Curve Resistance* (Tahanan Membelok)

$$R_c = 0.5 \frac{(2.15u^2W)}{gR} \quad \dots \text{ Satuan lb}$$

$u$  = kecepatan kendaraan (mil/jam)

$W$  = berat kotor kendaraan (lb)

$R$  = radius belok (ft)

$g$  = gravitasi (32,2 ft/detik<sup>2</sup>)

39

- Kekuatan yang dibutuhkan kendaraan untuk menahan tahanan

$$P = \frac{1.47 Ru}{550} \quad \dots \text{ Satuan } \textit{horsepower} \text{ (hp)}$$

u = kecepatan kendaraan (mil/jam)

R = jumlah tahanan yang terjadi

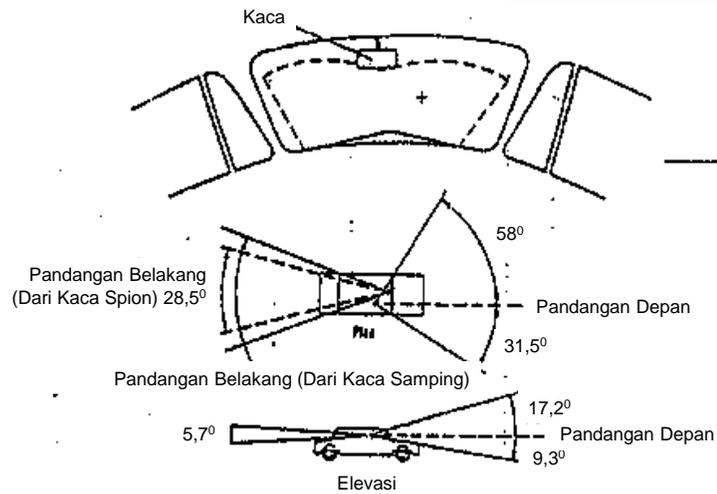
40

- **Contoh Soal 3.**

Tentukan jumlah tenaga yang dibutuhkan oleh sebuah mobil penumpang yang melaju pada jalan yang lurus dengan tanjakan 5% jika diketahui berat kendaraan 4000 lb dan *cross sectional area* nya 40 ft<sup>2</sup>. Kecepatan kendaraan 65 mil/jam

## AREA PANDANG DARI MOBIL PENUMPANG

41



## KINERJA PERLAMBATAN KENDARAAN

42

- Otomatis terjadi bila pedal gas dilepas, karena efek memperlambat dari tahanan gerak, termasuk kompresi mesin
- Perlambatan kendaraan dapat dibedakan menjadi 2 macam:
  1. Perlambatan tanpa pengereman
  2. Perlambatan dengan pengereman



45

- Sedangkan jarak pandang henti dihitung dengan persamaan berikut:

$$S(ft) = 1.47ut + \frac{u^2}{30\left(\frac{a}{g} \pm G\right)}$$

Kecepatan (u) dalam satuan mil/jam dan waktu (t) dalam detik

46

#### Contoh Soal 4.

Di suatu ruas jalan, kecepatan sebuah kendaraan adalah 65 mil/jam. Dikarenakan ada batasan kecepatan, maka pengendara akan mengurangi kecepatannya menjadi 35 mil/jam. Pada jarak berapa pengendara harus mengerem kendaraannya jika diketahui kondisi jalan adalah menurun sebesar 3% ?

**Contoh Soal 5.**

Sebuah kendaraan dengan kecepatan 55 mil/jam berjalan di sebuah ruas jalan yang memiliki turunan 5%. Tiba-tiba, truk yang berada di depan mengalami kecelakaan sehingga menutupi ruas jalan. Jika diharapkan kendaraan berhenti pada jarak 30 ft dari truk yang mengalami kecelakaan tersebut, berapa jarak pandang henti yang dibutuhkan oleh pengemudi, jika diketahui waktu PIEV nya 2,5 detik ?