

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Klasifikasi Jalan

Pada Undang-undang RI Nomor 38 Tahun 2004 dan Undang-undang RI Nomor 22 Tahun 2009 keduanya memberikan kerangka hukum untuk pengelolaan dan penggunaan jalan di Indonesia. Definisi jalan dalam kedua UU tersebut mencakup tidak hanya permukaan jalan itu sendiri tetapi juga bangunan pelengkap dan perlengkapan yang mendukung kegiatan lalu lintas. Perbedaan utama antara kedua UU ini terletak pada ruang lingkup 'lalu lintas umum' yang diperkenalkan dalam UU Nomor 22, yang tidak termasuk dalam definisi jalan menurut UU No 38. Selain itu, UU Nomor 22 juga menyediakan definisi yang lebih luas untuk prasarana lalu lintas dan angkutan jalan, yang mencakup berbagai fasilitas dan peralatan yang mendukung keselamatan dan kelancaran lalu lintas. Kedua undang-undang ini secara bersamaan membentuk fondasi bagi infrastruktur transportasi darat dan regulasi lalu lintas di Indonesia, menunjukkan evolusi pemikiran dan kebutuhan masyarakat terhadap sistem transportasi yang aman dan efisien.

2.1.1 Klasifikasi Berdasarkan Kategori Jalan

Jalan dikategorikan menjadi 2 kategori yang dijelaskan sebagai berikut:

1. Jalan Umum

Adalah prasarana untuk transportasi darat yang diperuntukkan bagi lalu lintas umum, yang bisa diakses oleh semua orang tanpa harus membayar biaya penggunaan.

2. Jalan Khusus

Adalah jalan yang dibangun oleh instansi, badan usaha, perseorangan, atau kelompok masyarakat untuk kepentingan sendiri dan tidak diperuntukkan bagi lalu lintas umum.

2.1.2 Klasifikasi Berdasarkan Status Jalan

Jalan Umum dikelompokkan menjadi 5 bagian:

1. Jalan Nasional

Jalan strategis nasional dan jalan tol. Jalan nasional menjadi penghubung antar ibu kota provinsi.

2. Jalan Provinsi

Jalan yang menghubungkan ibu kota provinsi dengan ibu kota kabupaten, serta menjadi jalan penghubung antar kabupaten atau kota dan jalan strategis provinsi.

3. Jalan Kabupaten

Jalan penghubung kabupaten dan kecamatan, kabupaten dengan pusat kegiatan lokal, penghubung jalan antar kecamatan, antar pusat kegiatan dengan pusat kegiatan, serta jalan lokal maupun alternatif jalan provinsi dan nasional.

4. Jalan Kota

Jalan dalam area kota yang menjadi bagian jaringan jalan sekunder, fungsinya sebagai penghubung antar pusat pelayanan dalam kota, pusat pelayanan antar perumahan atau perkebunan, dan pusat pemukiman dalam kota.

5. Jalan Desa

Jalan kecil yang menghubungkan antar pemukiman warga desa atau antar kawasan lingkup pedesaan.

2.1.3 Klasifikasi Berdasarkan Sistem Jaringan Jalan

Sistem Jaringan Jalan dibagi menjadi 2:

1. Sistem Jaringan Jalan Primer

Sistem jaringan jalan primer merujuk pada jaringan jalan yang memiliki kapasitas dan desain yang dirancang untuk mengakomodasi lalu lintas yang tinggi, dengan tujuan untuk memfasilitasi pergerakan antar kota atau antar provinsi. Sistem ini mencakup jalan arteri primer dan jalan kolektor primer. Keduanya memiliki kapasitas dan desain yang dirancang untuk mengakomodasi lalu lintas yang signifikan.

2. Sistem Jaringan Jalan Sekunder

Sistem jaringan jalan sekunder adalah jaringan jalan yang menghubungkan antarkawasan dalam perkotaan, yang diatur secara berjenjang sesuai fungsi kawasan yang dihubungkannya. Jaringan ini mencakup kawasan yang memiliki fungsi primer, sekunder kesatu, sekunder, sekunder ketiga, dan seterusnya. Sistem ini dirancang berdasarkan rencana tata ruang wilayah kabupaten/kota dan distribusi barang serta jasa untuk masyarakat perkotaan.

Sistem jaringan jalan sekunder memiliki peranan yang berbeda dari sistem jaringan jalan primer. Sementara sistem jaringan jalan primer dirancang untuk pengembangan wilayah dan menghubungkan semua simpul jasa distribusi berwujud pusat kegiatan, seperti pusat kegiatan nasional, wilayah, dan lokal, hingga ke lingkungan, sistem jaringan jalan sekunder lebih berfokus pada penghubungan antarkawasan dalam perkotaan. Ini mencakup jalan yang menghubungkan kawasan dengan fungsi primer, sekunder kesatu, sekunder, sekunder ketiga, dan seterusnya, yang memungkinkan distribusi barang dan jasa yang lebih efisien di dalam perkotaan

2.1.4 Klasifikasi Berdasarkan Fungsi Jalan

Pengklasifikasikan jalan dibagi menjadi 2 berdasarkan dari jenis sistem jaringan jalan digunakan, yaitu:

1. Sistem Jaringan Jalan Primer

a. Jalan Arteri Primer

Jalan arteri primer adalah jenis jalan yang dirancang untuk menghubungkan secara berdaya guna antarpusat kegiatan nasional atau antara pusat kegiatan nasional dengan pusat kegiatan wilayah. Sistem jaringan jalan primer disusun berdasarkan rencana tata ruang dan pelayanan distribusi barang dan jasa untuk pengembangan semua wilayah di tingkat nasional. Ini mencakup menghubungkan secara menerus pusat kegiatan nasional, pusat kegiatan wilayah, pusat

kegiatan lokal sampai ke pusat kegiatan lingkungan, serta menghubungkan antarpusat kegiatan nasional. Karakteristik utama jalan arteri primer meliputi:

- Kecepatan Kendaraan melaju minimal 60 kilometer per jam.
- Lebar Jalan minimal 11 meter.
- Jumlah Jalan Masuk dibatasi, dengan jarak antar jalan masuk minimal 500 meter.
- Memiliki 4 lajur lalu lintas atau lebih dan seharusnya dilengkapi dengan median.

b. Jalan Kolektor Primer

adalah jenis jalan yang dirancang untuk melayani dan menghubungkan kota-kota antar pusat kegiatan wilayah dan pusat kegiatan lokal, serta kawasan-kawasan berskala kecil dan pelabuhan pengumpan regional dan lokal. Jalan ini memiliki peran penting dalam memfasilitasi pergerakan lalu lintas yang lebih sedang dibandingkan dengan jalan arteri primer, namun tetap memiliki kapasitas yang cukup untuk mengakomodasi volume lalu lintas rata-rata.

Karakteristik utama jalan kolektor primer meliputi:

- Kecepatan Kendaraan melaju minimal 40 kilometer per jam.
- Lebar badan jalan kolektor primer minimal 9 meter.
- Jumlah jalan masuk ke jalan kolektor primer tidak boleh lebih pendek dari 400 meter.

c. Jalan Lokal Primer

adalah jenis jalan yang dirancang untuk melayani dan menghubungkan antar kawasan dalam satu wilayah, seperti antara ibukota kabupaten dengan ibukota kecamatan atau antar desa. Jalan ini memiliki peran penting dalam memfasilitasi pergerakan lalu lintas di tingkat lokal, memastikan

konektivitas antar kawasan yang berbeda fungsi dan mendukung pengembangan perkotaan yang lebih terintegrasi dan efisien.

Karakteristik utama jalan lokal primer meliputi:

- Kecepatan Kendaraan melaju minimal 20 kilometer per jam.
- Lebar badan jalan lokal primer minimal 7,5 meter
- Jumlah jalan masuk tidak dibatasi

d. Jalan Lingkungan Primer

adalah jenis jalan yang dirancang untuk melayani dan menghubungkan kawasan dan/atau antarpermukiman di dalam desa. Jalan ini memiliki peran penting dalam memfasilitasi pergerakan lalu lintas di tingkat desa, memastikan konektivitas antar kawasan dalam desa dan mendukung pengembangan perdesaan yang lebih terintegrasi dan efisien.

Karakteristik utama jalan lingkungan primer meliputi:

- Kecepatan Kendaraan melaju minimal 15 kilometer per jam.
- Untuk kendaraan roda tiga, lebar jalan minimal 6,5 meter dan untuk kendaraan roda dua lebar jalan lebih besar dari 3,5 meter.

2. Sistem Jaringan Jalan Sekunder

a. Jalan Arteri Sekunder

Jalan arteri sekunder merupakan jalan yang menghubungkan kawasan primer dengan kawasan sekunder, serta kawasan sekunder kesatu dengan kawasan sekunder kedua.

Karakteristik utama jalan arteri sekunder meliputi:

- Kecepatan Kendaraan melaju minimal 30 kilometer per jam.
- Lebar badan jalan minimal 11 meter

- Lalu lintas tidak boleh terganggu lalu lintas lambat.

b. Jalan Kolektor Sekunder

merupakan jalan yang menghubungkan kawasan sekunder kedua dengan kawasan sekunder kedua atau kawasan sekunder kedua dengan kawasan sekunder ketiga.

Karakteristik utama jalan kolektor sekunder meliputi:

- Kecepatan Kendaraan melaju minimal 20 kilometer per jam.
- Lebar jalan kolektor sekunder paling rendah 9 meter
- Lalu lintas cepat pada jalan kolektor tidak boleh terganggu oleh lalu lintas lambat.

c. Jalan Lokal Sekunder

merupakan terusan jalan lokal primer luar kota, menghubungkan kawasan sekunder kesatu dengan perumahan, menghubungkan kawasan sekunder kedua dengan perumahan, menghubungkan kawasan sekunder ketiga dan seterusnya ke perumahan.

Karakteristik utama jalan lokal sekunder meliputi:

- Kecepatan Kendaraan melaju minimal 10 kilometer per jam.
- Lebar badan jalan lokal sekunder minimal 7,5 meter

d. Jalan Lingkungan Sekunder

Jenis jalan yang dirancang untuk melayani dan menghubungkan kawasan dan/atau antarpermukiman di dalam desa, namun dengan karakteristik yang lebih sederhana dibandingkan dengan jalan lingkungan primer.

Karakteristik utama jalan lokal sekunder meliputi:

- Kecepatan Kendaraan melaju minimal 10 kilometer per jam.
- Untuk kendaraan roda tiga, lebar jalan minimal 6,5 meter dan untuk kendaraan roda dua lebar jalan lebih

besar dari 3,5 meter.

2.1.5 Klasifikasi Berdasarkan Kelas Jalan

Pada Tabel 2.1 terlampir penjelasan berbagai kelas jalan yang diklasifikasikan berdasarkan penggunaan dan intensitas lalu lintas.

Tabel 2. 1 Klasifikasi Kelas Jalan

Kelas Jalan	Fungsi Jalan	Dimensi Kendaraan, m			Muatan Sumbu Terberat (MST) ton
		Lebar	Panjang	Tinggi	
Kelas I	Arteri, Kolektor	$\leq 2,55$	$\leq 18,0$	$\leq 4,2$	10
Kelas II	Arteri, Kolektor,	$\leq 2,55$	$\leq 12,0$	$\leq 4,2$	8
Kelas III	Lokal, dan Lingkungan	$\leq 2,2$	$\leq 9,0$	$\leq 3,5$	8*)
Kelas Khusus	Arteri	$> 2,55$	$> 18,0$	$\leq 4,2$	> 10

Sumber: Bina Marga Tahun 2021

Catatan: *) dalam keadaan tertentu dapat menjadi < 8 ton

2.1.6 Klasifikasi Berdasarkan Medan Jalan

Topografi jalan diklasifikasikan menurut kondisi kemiringan yang diukur tegak lurus terhadap garis kontur. Kecepatan desain, perataan horizontal dan vertikal, dan faktor lainnya juga dipertimbangkan dalam perencanaan jalan. Kriteria dan klasifikasi berbagai jenis medan jalan ditunjukkan pada Tabel 2.2

Tabel 2. 2 Klasifikasi Medan Jalan

No.	Jenis Medan	Notasi	Kemiringan Medan *) (%)
1	Datar	D	<10
2	Bukit	B	10 – 25
3	Gunung	G	>25

Sumber: Bina Marga Tahun 2021

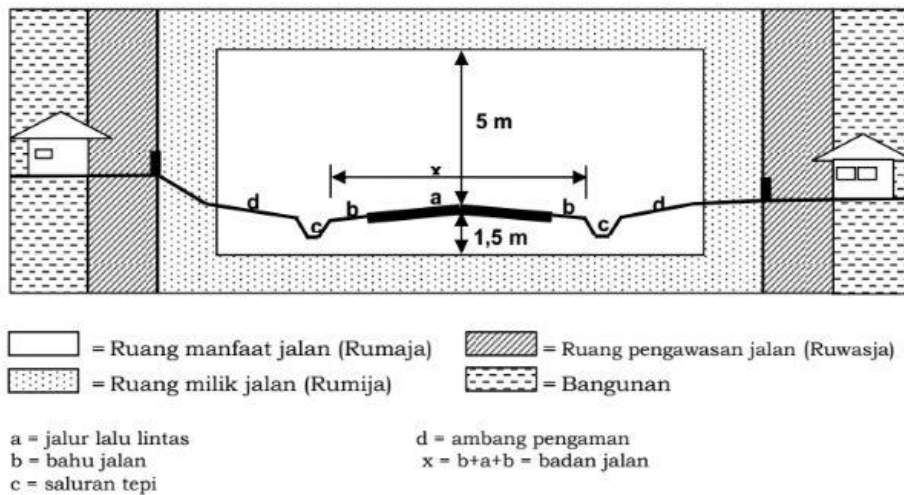
Catatan:

*) nilai kemiringan medan rata-rata per 50m dalam 1 km.

Karena kemiringan medan jalan lebih kecil, medan datar sering kali termasuk dalam kelompok tipe medan yang paling mudah untuk dibandingkan dalam jenis medan lainnya terutama berkaitan dengan kesulitan biaya dan proses selama pengembangan. Kemudian, pada daerah pegunungan menghasilkan kemiringan alinemen yang lebih curam sehingga mempunyai pengaruh yang berbeda dan lebih besar dalam menentukan alinemen jalan, sedangkan daerah perbukitan cenderung memiliki kemiringan secara alami dan kontur tanah yang naik turun sehingga membatasi bentuk alinyemen vertikal dan horizontal untuk memenuhi persyaratan teknis alinemen jalan.

2.2 Bagian-bagian Jalan

Tujuan identifikasi ruas jalan adalah untuk memudahkan pengaturan fungsi dan penetapan spesifikasi konstruksi pada jalan raya yang terbagi. Spesifikasi konstruksi tersebut terdiri dari tiga komponen: ruang manfaat jalan, ruang milik jalan, dan ruang pengawasan jalan. Bagian-bagian jalan dapat dilihat pada Gambar 2.1



Gambar 2. 1 Bagian-Bagian Jalan

2.2.1 Ruang Manfaat Jalan (Rumaja)

Ruang manfaat jalan, atau Rumaja, adalah ruang sepanjang jalan yang dibatasi oleh lebar, tinggi, dan kedalaman tertentu yang ditetapkan oleh penyelenggara jalan. Ruang manfaat jalan meliputi badan jalan, saluran tepi jalan, dan ambang pengamannya. Rumaja memiliki pengukuran kedalaman dan tinggi berikut:

- Pada tepi luar ambang pengaman di atas batas luar Rumaja, lebar daerah bebas diukur antara dua garis vertikal.
- Ketinggian minimal ruang bebas adalah 5,1 meter di atas permukaan jalur lalu lintas.
- Permukaan jalur lalu lintas terendah berada 1,5 meter di bawah kedalaman minimum ruang terbuka.

2.2.2 Ruang Milik Jalan (Rumija)

Ruang milik jalan atau Rumija merupakan ruang yang terdapat pada sisi kiri hingga sisi kanan jalan atau di sepanjang jalan yang dibatasi oleh lebar, tinggi, dan kedalaman tertentu. Ruang milik jalan memiliki beberapa persyaratan untuk lebar:

- a. Lebar 30 meter untuk Jalur Bebas hambatan
- b. Lebar 25 meter untuk Jalan Raya
- c. Lebar 15 meter untuk Jalan Sedang
- d. Lebar 11 meter untuk Jalan Kecil

2.2.3 Ruang Pengawasan Jalan (Ruwasja)

Ruang pengawasan jalan atau Ruwasja adalah sejalur tanah tertentu yang terletak di luar ruang milik jalan, yang penggunaannya dibatasi oleh pengawasan pembina jalan. Ruang pengawasan jalan merupakan lahan milik masyarakat yang penggunaannya berada di bawah pengawasan pembina jalan, arah penggunaannya adalah kepada keamanan dan keselamatan pemakai jalan terutama untuk kepentingan pandangan bebas pengemudi pada daerah tikungan dan dilokasi-lokasi persimpangan jalan. Adapun ketentuan untuk lebar ruang pengawasan jalan sebagai berikut:

- a. 15 meter pada Jalan Arteri Primer
- b. 10 meter pada Jalan Kolekter Primer
- c. 7 meter pada Jalan Lokal Primer
- d. 5 meter pada Jalan Lingkungan Primer
- e. 15 meter pada Jalan Arteri Sekunder
- f. 5 meter pada Jalan Kolektor Sekunder
- g. 3 meter pada Jalan Lokal Sekunder
- h. 2 meter pada Jalan Lingkungan Sekunder
- i. 100 meter pada Jembatan ke arah hilir dan hulu

2.3 Parameter Perancangan Geometrik

Menurut Bina Marga 2021, kriteria desain geometris merupakan faktor penting yang harus dipertimbangkan dalam merancang pembangunan jalan baru untuk menjamin kesesuaian dan keamanannya.

2.3.1 Kecepatan Desain (VD)

merupakan suatu kecepatan yang digunakan untuk menentukan berbagai fitur desain geometris dari jalan. Tabel 2.3 dan 2.4 yang berkaitan dengan SJJ, fungsi, status, kelas, dan jenis jalan yang digunakan, dapat digunakan untuk menghitung klasifikasi kecepatan rencana. Tabel tersebut mengacu pada Peraturan Menteri PU No.19/PRT/M/2011, pasal 12 sampai dengan pasal 18, dan PP No.34/2006, serta PP No.79/2013, pasal 23.

Tabel 2. 3 Korelasi Padanan Pengelompokan Jalan SJJ Primer

SJJ	Peran menghubungkan	Pengelompokkan Fungsi Jalan	Status Jalan	Kelas Jalan			SPPJ	Tipe Jalan	Rentang V_D (km/jam)			Keterangan
				I	II	III			Datar	Bukit	Gunung	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
SJJ Primer (Jalan Perkotaan)	Jalan Tol	Jalan Arteri Primer	Jalan Nasional	X	-	-	JBH	4/2-T	80 – 120	70 – 110	60 – 110	-IKN=Ibu Kota Negara
	IKP – IKN			X	X	x	JRY	4/2-T	60 – 100	50 – 90	40 – 80	-IKP=Ibu Kota Provinsi
	IKP – IKP			X	X	x	JRY	4/2-T				-IKK=Ibu Kota Kabupaten
	IKP – IKP			-	-	x	JLR	2/2-TT	15 – 60	15 – 50	15 – 40	-KT=Kota
	IKP – IKP	Jalan Kolektor Primer		X	X	x	JRY	4/2-T	40 – 80	30 – 70	20 – 60	-IKC=Ibu Kota Kecamatan
	IKP – IKP			-	-	x	JLR	2/2-TT	15 – 40	15 – 40	15 – 40	-PD=Pusat Desa (di pulau Jawa seperti kelurahan)
	IKP – IKK/KT	Jalan Lokal Primer	Jalan Provinsi	X	X	x	JSD	2/2-TT	40 – 80	30 – 70	20 – 60	-DS=Desa (di pulau Jawa seperti Dukuh)
	IKK – IKK			X	X	x	JSD	2/2-TT				-KP=Kawasan Primer
	KT – KT			X	X	x	JSD	2/2-TT				-KS1=Kawasan Sekunder1
	IKK – IKC		Jalan Kabupaten	-	X	x	JSD	2/2-TT	20 – 60	20 – 50	20 – 40	-KS2=Kawasan Sekunder2
	IKK – PD			-	-	x	JSD	2/2-TT				-KS3=Kawasan Sekunder3
	IKC – IKC			-	-	x	JKC	2/2-TT				-KS ₃ =Kawasan Sekunder3
	IKC- PD			-	-	x	JKC	2/2-TT				-KS _n =Kawasan Sekunder ke-n;
	PD – PD			-	-	x	JLR	2/2-TT				-Prm=Perumahan/Persil
	PD – DS			-	-	x	JLR	½				-Semua jalan Antarkota yang masuk ke dalam kota, pengelompokannya dari SJJ primer berubah menjadi SJJ sekunder, adapun jalan-jalan lainnya yang sudah ada di dalam
	DS – DS	Jalan Lingkungan Primer					JLR	½	15 – 30	15 – 30	15 – 30	

Sumber: Bina Marga Tahun 2021

Tabel 2. 4 Korelasi Padanan Pengelompokan Jalan SJJ Sekunder

SJJ	Peran menghubungkan	Pengelompokkan Fungsi Jalan	Status Jalan	Kelas Jalan			SPPJ	Tipe Jalan	Rentang V_D (km/jam)			Keterangan	
				I	II	III			Datar	Bukit	Gunung		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	
SJJ Sekunder (Jalan Perkotaan)	Jalan Tol	Jalan Arteri Sekunder	Jalan Nasional	X	-	-	JBH	4/2-T	60 – 100			Kota masuk ke dalam SJJ sekunder dan klasifikasi fungsinya ditetapkan sesuai perannya. -Khusus untuk keluarga Jalan Nasional, Jalan Provinsi, dan Jalan Kabupaten yang dipersiapkan sebagai calon Jalan Nasional, calon Jalan Provinsi, dan calon Jalan Kabupaten dikategorikan masing-masing dengan sebutan Jalan Strategis Nasional, Jalan Strategis Provinsi, dan Jalan Strategis Kabupaten.	
	KP-KS1	Jalan Arteri Sekunder	Jalan Kolektor Sekunder	X	X	X	JSD	4/2-T	30 – 60				
	KS1-KS1			X	X	X	JSD	4/2-T					
	KS1-KS2			-	X	X	JSD	2/2-TT					
	KS2-KS2	-		X	X	JSD	4/2-T	20 – 40					
	KS2-KS3	-		X	X	JSD	2/2-TT						
	KS1-Prm	-		-	X	JKC	2/2-TT	10 – 30					
	KS2-Prm	-		-	X	JKC	2/2-TT						
	KS3-Prm	-		-	X	JKC	2/2-TT						
	KS _n -Prm	-		-	X	JLR	2/2-TT						
	Prm-Prm	Jalan Lingkungan Sekunder	Jalan Kota							10 – 20			

Sumber: Bina Marga Tahun 2021

2.3.2 Kriteria Desain Utama

Kecepatan desain adalah parameter desain utama yang dapat ditemukan dengan melihat Tabel 2.3 dan 2.4 kemudian pada Tabel 2.5 mendefinisikan dan mengacu pada nilai kriteria desain utama untuk JBH, Jalan Antar Kota, dan Jalan Perkotaan.

Tabel 2. 5 Kriteria Desain Utama

Elemen Kriteria Desain Utama		JBH	Jalan Antarkota				Jalan Perkotaan
Rentang V_D (km/jam) Lihat Tabel 2.3 dan 2.4	Datar	80 – 120	15 – 100				10 – 60
	Bukit	70 – 110	15 – 90				
	Gunung	60 – 100	15 – 80				
Kelas Penggunaan Jalan		I	I	II	III	JLR	I, II, III
Kelandaian	Datar	4	6	6	6	6	5
Memanjang	Bukit	5	8	8	8	10	
(G max) (%)	Gunung	6	8	10	12	15	
Superelevasi (e max) (%)		8					
Kekesatan Melintang (f max)		0,22 ($V_D \leq 40$ km/jam) 0,17 ($V_D \leq 60$ km/jam) 0,14 ($V_D \leq 80$ km/jam) 0,12 ($V_D \leq 100$ km/jam) 0,08 ($V_D \leq 120$ km/jam)					
Kesesatan Memanjang		0,35 untuk MP dan 0,29 untuk Truk					
R min Lengkung Horizontal		$R \text{ min} = \frac{Vd^2}{127 (f \text{ max} + e \text{ max})}$					

Elemen Kriteria Desain Utama	JBH	Jalan Antarkota	Jalan Perkotaan
R min Lengkung Vertikal Cembung	$R_{\min} = f(V_D; K)$ Nilai K = nilai kontrol untuk lengkung vertikal cekung atau cembung		
R min Lengkung Vertikal Cekung			

Sumber: Bina Marga Tahun 2021

Tabel 2. 6 Kontrol Desain (K) Lengkung Vertikal Cembung

V_D (km/jam)	JPH (m)	$K^{(1)}$	V_D (km/jam)	JPM (m)	$K^{(1)}$
20	20	1	-	-	-
30	35	2	30	120	17
40	50	4	40	140	23
50	65	7	50	160	30
60	85	11	60	180	38
70	105	17	70	210	52
80	130	26	80	245	70
90	160	39	90	280	91
100	185	52	100	320	119
110	220	74	110	355	146
120	250	95	120	395	181

Sumber: Bina Marga Tahun 2021

Tabel 2. 7 Kontrol Desain (K) Lengkung Vertikal Cekung

V_D (km/jam)	JPH (m)	$K^{(1)}$
20	20	3
30	35	6
40	50	9
50	65	13
60	85	18

V_D (km/jam)	JPH (m)	$K^{(1)}$
70	105	23
80	130	30
90	160	38
100	185	45
110	220	55
120	250	63

Sumber: Bina Marga Tahun 2021

2.3.3 Kriteria Desain Teknis

adalah bagian dari kriteria desain utama, dan tujuannya adalah untuk menghitung volume lalu lintas rencana dan menganalisis data lalu lintas yang tersedia untuk menentukan dimensi penampang jalan, termasuk jalur lalu lintas, bahu jalan, median (jika ada), perkerasan jalan, dan ruang jalan.

1. Arus Lalu Lintas Jam Desain

Arus lalu lintas jam desain (Arus Lalu Lintas Jam Desain, ALJD) adalah suatu metode untuk menentukan volume lalu lintas yang diperlukan pada jalan. ALJD digunakan untuk menentukan lebar jalur lalu lintas atau jumlah lajur lalu lintas, yang berupa arus lalu lintas jam desain. Untuk mengantisipasi LHRT tahun berjalan ke akhir tahun dinas, persamaan berikut biasanya digunakan:

$$LHRT_D = LHRT_{TB} \times (1+i)^n$$

Keterangan:

$LHRT_D$ = Volume Lalu Lintas Harian rata-rata tahunan desain.

$LHRT_{TB}$ = Volume Lalu Lintas rata-rata pada tahun berjalan.

i = Faktor pertumbuhan lalu lintas (nilai tipikal yang sering digunakan berkisar antara 5,5% - 10%).

n = Umur desain (tahun)

sehingga, q_{jd} ditetapkan dari persamaan (2) sebagai berikut:

$$q_{jd} = LHRT_D \times K$$

Keterangan:

K = Faktor jam desain (nilai tipikal untuk jalan padar sebesar 8% - 11% dan jalan yang kurang padat seperti jalur pariwisata atau jalur luar kota sebesar 7% - 15%).

2.3.4 Volume Lalu Lintas Harian

Volume lalu lintas harian adalah volume lalu lintas rata-rata dalam satu hari. LHR digunakan untuk menentukan kapasitas jalan dan menilai kinerja jalan, dan dinyatakan dalam SMP/hari dengan rumus:

$$VLHR = \frac{\text{Jumlah Lalu Lintas Selama Pengamatan}}{\text{Lama Pengamatan}}$$

1. Satuan Mobil Penumpang (SMP)

Satuan mobil penumpang (SMP) adalah satuan kendaraan di dalam arus lalu lintas yang disetarakan dengan kendaraan ringan/mobil penumpang. Besaran SMP dipengaruhi oleh tipe/jenis kendaraan, dimensi kendaraan, dan kemampuan olah gerak. SMP digunakan dalam melakukan rekayasa lalu lintas, seperti desain persimpangan, perhitungan waktu alat pengatur isyarat lalu lintas (APILL).

Tabel 2. 8 Satuan Mobil Penumpang (SMP)

No.	Jenis Kendaraan	Nilai SMP
1	Sepeda	0,5
2	Mobil Penumpang atau Sepeda Motor	1,0
3	Truk Ringan (< 5 ton)	2,0
4	Truk Sedang (> 5 ton)	2,5
5	Truk Berat (> 10 ton)	3,0
6	Bis	3,0

No.	Jenis Kendaraan	Nilai SMP
7	Kendaraan tidak bermotor	7,0

Sumber: Bina Marga Tahun 1997

2. Ekivalen Mobil Penumpang (EMP)

Ekivalen mobil penumpang (emp) adalah faktor konversi berbagai jenis kendaraan menjadi mobil penumpang. Fungsi emp adalah menyeragamkan arus lalu lintas heterogen ke dalam arus lalu lintas homogen. Besarnya nilai emp setiap jenis kendaraan berbeda untuk setiap ukuran, karena setiap ruas jalan memiliki karakteristik lalu lintas dan kondisi geometri yang berbeda dapat dilihat pada Tabel 2.9

Tabel 2. 9 Ekivalen Mobil Penumpang (EMP)

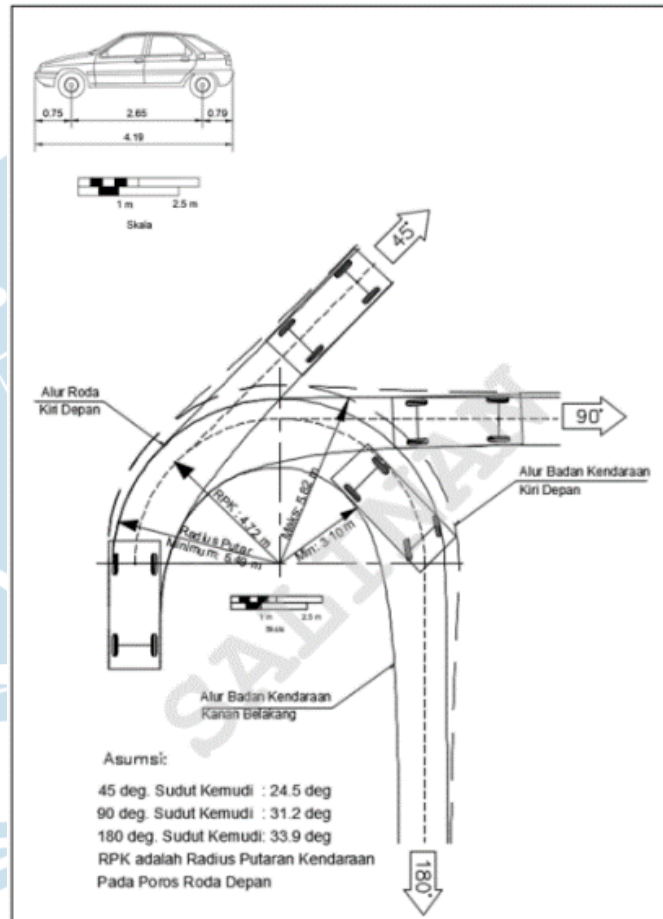
No	Jenis Kendaraan	Datar atau Bukit	Gunung
1	Sedan, Jeep, Station Wagon	1,0	1,0
2	Pickup, Bis Kecil, Truk Kecil	1,2 – 1,4	1,9 – 3,5
3	Bis dan Truk Besar	1,2 – 5,0	2,2 – 6,0

Sumber: Bina Marga Tahun 1997

2.3.5 Kendaraan Desain

Semua jenis kendaraan yang ditunjukkan oleh desain kendaraan yang dipilih harus disesuaikan dengan fitur geometris jalan. Selain itu, kendaraan desain dipisahkan menjadi dua kategori yaitu kendaraan besar (bus dan truk) yang kecepatannya dipengaruhi oleh kemiringan jalan dan memiliki percepatan lebih rendah, dan kendaraan penumpang (sedan, minibus/mikrolet, pickup, dan truk kecil) yang kecepatannya relatif tidak terlalu terpengaruh oleh kemiringan jalan dan memiliki akselerasi yang lebih cepat. Menurut

kelasnya, desain kendaraan juga mempengaruhi lebar dan radius belok jalan raya seperti dapat dilihat pada Gambar 2.2



Gambar 2. 2 Alur Lapak Ban dan Badan Kendaraan Kecil

Tabel 2. 10 Dimensi dan Radius Putar Kendaraan Desain Sesuai Kelas Penggunaan Jalan

No.	Jenis Kendaraan	Dimensi Kendaraan			Jarak Antar Sumbu	Jalur		RPM	RPK	R max	R min pada Sudut Belok Kendaraan					
		Panjang	Lebar	Tinggi		Depan	Belakang				25	45	90	135	180	
		m	m	M		M	M				M	m	m	m	m	m
Kelas Jalan 1, 2, dan 3																
1	Kecil	4,29	1,66	1,69	2,65	0,75	0,79	5,49	4,72	5,82	3,58	3,40	3,28	3,19	3,10	
2	Sedang	6,71	1,84	2,17	3,36	1,11	1,70	7,41	6,72	7,92	5,44	5,26	5,07	5,07	4,94	
3	Besar	8,85	2,49	2,75	5,08	1,28	2,49	9,08	7,90	9,60	5,99	5,62	5,23	5,06	4,86	
Kelas Jalan 1 dan 2																
1	Besar	11,95	2,49	2,93	6,60	1,25	4,10	11,49	10,27	11,95	8,16	7,75	7,17	6,97	6,69	
Kota Jalan 1																
1	Besar	16,40	2,50	3,20	3,40- 1,20- 6,70- 1,30- 1,30-	1,20	1,40	11,47	10,24	11,84	7,64	6,86	6,02	4,70	4,01	
Catatan:		RPM	=	Radius Putar Minimum Ban Kendaraan Pada Sumbu Depan Terluar												
		R min	=	Radius Putar Minimum Ban Kendaraan Pada Sumbu Paling Belakang Sebelah Dalam												
		RPK	=	Radius Putar Pusat Sumbu Depan Kendaraan												
		R max	=	Radius Putar Badan Kendaraan Depan Terluar												

Sumber: Bina Marga Tahun 2021

2.4 Alinemen Horizontal

Alinemen horizontal merupakan rangkaian ruas jalan lurus dan lurus yang dibuat melengkung, biasa disebut tikungan, untuk mengimbangi gaya entrifugal yang dialami kendaraan pada saat melewati jalur.

2.4.1 Panjang Bagian Alinemen Lurus

Karena jalan yang landai dapat membuat pengemudi lelah dan mengantuk, maka durasi maksimum porsi jalan lurus harus diperhitungkan saat merancang alinemen jalan. Faktor-faktor berikut harus dipertimbangkan ketika menentukan panjang alinemen jalan lurus:

1. Gangguan lampu depan pada malam hari disebabkan oleh kendaraan berlawanan arah pada jarak <3.000 meter
2. Pengemudi akan merasa kesulitan menentukan kelajuan mobil yang mendekat dari arah berlawanan ketika jaraknya lebih dari 2.500 meter.
3. Saat berkendara di jalan lurus yang menghadap ke timur atau barat, pengemudi mungkin mengalami ketegangan mata akibat sinar matahari pagi dan matahari terbenam yang cerah.

Tabel 2. 11 Panjang Bagian Alinemen Lurus

Fungsi	Panjang Bagian Lurus Maksimum (m)		
	Datar	Bukit	Gunung
Arteri	3.000	2.500	2.000
Kolektor	2.000	1.750	1.500

Sumber: Bina Marga Tahun 1997

2.4.2 Desain Tikungan

1. Jari-Jari Minimum dan Superelevasi

Kemiringan jalan atau superelevasi (e) harus ditentukan untuk menciptakan desain tikungan yang aman dan nyaman. Setelah penentuan kecepatan desain (VD) dan superelevasi (e), Tabel 2.12 akan memberikan hasil jari-jari minimum (R_{min}) yang harus digunakan dalam desain jalan.

Tabel 2. 12 Penentuan Superelevasi dan Jari-jari minimum

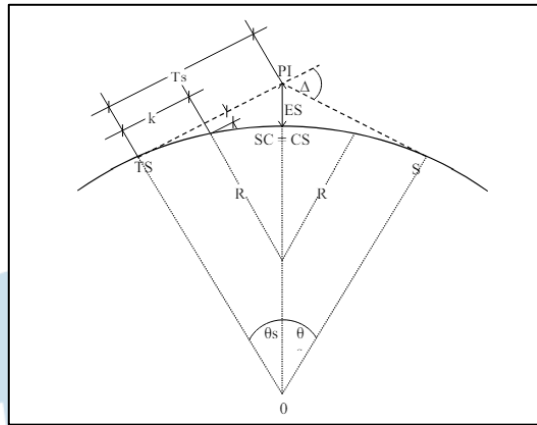
e (%)	Metric											
	$V_d = 20$	$V_d = 30$	$V_d = 40$	$V_d = 50$	$V_d = 60$	$V_d = 70$	$V_d = 80$	$V_d = 90$	$V_d = 100$	$V_d = 110$	$V_d = 120$	$V_d = 130$
	km/h R (m)	km/h R (m)	km/h R (m)	km/h R (m)	km/h R (m)	km/h R (m)	km/h R (m)	km/h R (m)	km/h R (m)	km/h R (m)	km/h R (m)	km/h R (m)
NC	184	443	784	1090	1490	1970	2440	2970	3630	4180	4900	5360
RC	133	322	571	791	1090	1450	1790	2190	2680	3090	3640	4000
2.2	119	288	512	711	976	1300	1620	1980	2420	2790	3290	3620
2.4	107	261	463	644	885	1190	1470	1800	2200	2550	3010	3310
2.6	97	237	421	587	808	1080	1350	1650	2020	2340	2760	3050
2.8	88	216	385	539	742	992	1240	1520	1860	2160	2550	2830
3.0	81	199	354	496	684	916	1150	1410	1730	2000	2370	2630
3.2	74	183	326	458	633	849	1060	1310	1610	1870	2220	2460
3.4	68	169	302	425	588	790	988	1220	1500	1740	2080	2310
3.6	62	156	279	395	548	738	924	1140	1410	1640	1950	2180
3.8	57	144	259	368	512	690	866	1070	1320	1540	1840	2060
4.0	52	134	241	344	479	648	813	1010	1240	1450	1740	1950
4.2	48	124	224	321	449	608	766	948	1180	1380	1650	1850
4.4	43	115	208	301	421	573	722	895	1110	1300	1570	1760
4.6	38	106	192	281	395	540	682	847	1050	1240	1490	1680
4.8	33	96	178	263	371	509	645	803	996	1180	1420	1610
5.0	30	87	163	246	349	480	611	762	947	1120	1360	1540
5.2	27	78	148	229	328	454	579	724	901	1070	1300	1480
5.4	24	71	136	213	307	429	549	689	859	1020	1250	1420
5.6	22	65	125	198	288	405	521	656	819	975	1200	1360
5.8	20	59	115	185	270	382	494	625	781	933	1150	1310
6.0	19	55	106	172	253	360	469	595	746	894	1100	1260
6.2	17	50	98	161	238	340	445	567	713	857	1060	1220
6.4	16	46	91	151	224	322	422	540	681	823	1020	1180
6.6	15	43	85	141	210	304	400	514	651	789	982	1140
6.8	14	40	79	132	198	287	379	489	620	757	948	1100
7.0	13	37	73	123	185	270	358	464	591	724	914	1070
7.2	12	34	68	115	174	254	338	440	561	691	879	1040
7.4	11	31	62	107	162	237	318	415	531	657	842	998
7.6	10	29	57	99	150	221	296	389	499	621	803	962
7.8	9	26	52	90	137	202	273	359	462	579	757	919
8.0	7	20	41	73	113	168	229	304	394	501	667	832

Sumber: AASHTO Tahun 2011

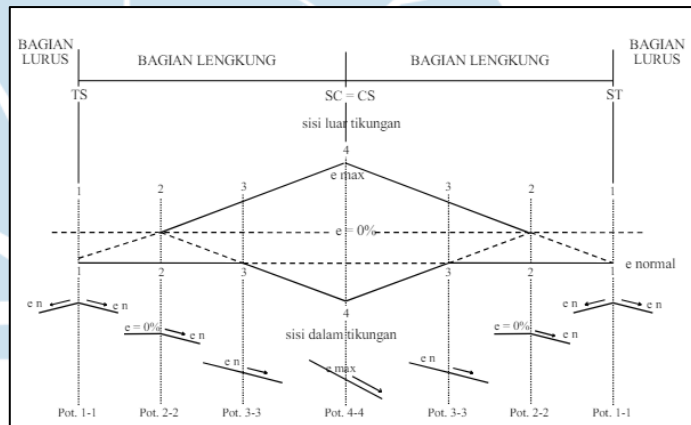
2. Jenis Tikungan

a. Tikungan Spiral-Spiral (S-S)

Tikungan spiral-spiral (SS) adalah jenis tikungan jalan yang terdiri dari dua lengkung spiral yang tidak memiliki busur lingkaran (circle). Dalam bentuk tikungan ini, tidak ada busur lingkaran sehingga titik SC berimpit dengan titik CS seperti pada Gambar 2.3 dan Gambar 2.4



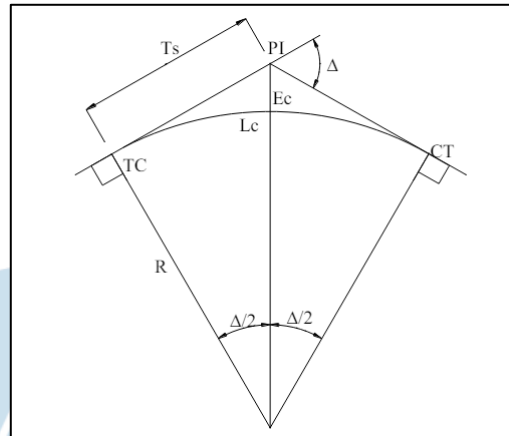
Gambar 2. 3 Tikungan Spiral-Spiral



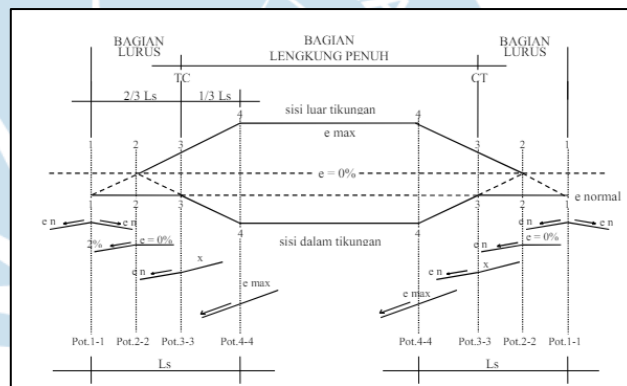
Gambar 2. 4 Diagram Superelevasi Spiral-Spiral

b. Tikungan Spiral-Circle-Spiral (S-C-S)

Tikungan spiral-circle-spiral (S-C-S) adalah jenis tikungan jalan yang terdiri dari tiga bagian: spiral, circle, dan spiral. Dalam bentuk tikungan ini, spiral di sini merupakan lengkung peralihan dari bagian lurus (tangent) berubah menjadi lingkaran (circle) seperti pada Gambar 2.5 dan Gambar 2.6



Gambar 2. 7 Tikungan Full Circle



Gambar 2. 8 Diagram Superelaevasi Full Circle

3. Penomoran (Stationing)

Penomoran atau stationing adalah proses memberikan nomor pada interval-interval tertentu dari awal pekerjaan jalan, dengan tujuan memberikan informasi tentang lokasi yang sedang dibicarakan dan menjadi panduan untuk lokasi suatu tempat. Penomoran jalan dilengkapi dengan gambar potongan melintangnya, dan interval untuk masing-masing penomoran tergantung pada daerah datar, bukit, atau gunung, sebagai berikut:

- Setiap panjang 100 meter untuk daerah datar
- Setiap panjang 50 meter untuk daerah bukit
- Setiap panjang 25 meter untuk daerah gunung

2.5 Alinemen Vertikal

Ketinggian sumbu jalan dirancang menggunakan teknik yang disebut alinemen vertikal. Titik pandangnya berupa profil memanjang dengan bagian miring dan kurva vertikal cembung dan cekung dengan ketentuan Tabel

2.5.1 Kelandaian Memanjang Minimum

Kelandaian memanjang minimum adalah kemiringan jalan yang diperlukan untuk drainase permukaan yang optimal. Kelandaian ini dinyatakan dalam persentase dan digunakan untuk memastikan aliran air berjalan dengan baik di tepi jalan dan median tanpa terjadi genangan yang dapat mengganggu lalu lintas jalan. Kelandaian memanjang minimum memiliki beberapa ketentuan berdasarkan lokasi seperti yang dilampirkan pada tabel 2.13

Tabel 2. 13 Kelandaian Memanjang Minimum

Lokasi	Kelandaian Minimum (%)
Jalan dengan kerb dan saluran	1,0 (ideal) 0,5 (minimum)
Jalur pada daerah galian:	
Saluran tanah	0,5
Saluran pasangan	0,3
Jalan tanpa kerb dan saluran, bukan daerah galian	0

Sumber: Bina Marga Tahun 2021

2.5.2 Kelandaian Memanjang Maksimum

Kelandaian memanjang maksimum adalah kemiringan jalan yang diperbolehkan untuk mencapai kecepatan tertentu tanpa memerlukan penggunaan gigi rendah. Kelandaian ini didasarkan pada kemampuan kendaraan untuk bergerak terus tanpa kehilangan kecepatan yang signifikan. Ketentuan kelandaian dijabarkan pada tabel 2.14 dan tabel 2.15

Tabel 2. 14 Kelandaian Memanjang Maksimum

SPPJ	Kelandaian Maksimum (%)		
	Datar	Bukit	Gunung
JBH	4	5	6
JRY	5	6	10
JSD	6	7	10
JKC	6	8	12

Sumber: Bina Marga Tahun 2021

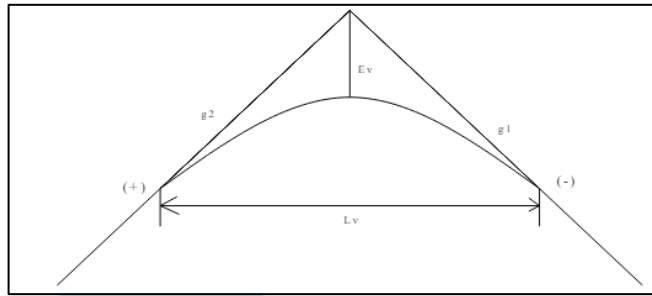
Tabel 2. 15 Panjang Kelandaian Kritis

Kelandaian Memanjang (%)	Panjang Kelandaian Kritis (m)
4	600
5	450
6	350
7	300
8	250
9	230
≥ 10	200

Sumber: Bina Marga Tahun 2021

2.5.3 Lengkung Vertikal

Lengkung vertikal adalah bagian dari alinyemen vertikal jalan yang terdiri dari garis lurus dengan atau tanpa kelandaian dan berbentuk busur lingkaran. Lengkung vertikal berfungsi untuk menghubungkan dua kelandaian lintas berbeda dan ditentukan berdasarkan besarnya jari-jari lengkung vertikal dan perbedaan kelandaian seperti pada Gambar 2.9



Gambar 2. 9 Lengkung Vertikal

2.6 Pekerjaan Tanah

Pekerjaan tanah adalah bagian dari proses konstruksi jalan yang meliputi beberapa tahapan, seperti penggalian, pengurugan, pengangkutan, dan pemadatan tanah. Pekerjaan tanah bertujuan untuk menyesuaikan rancangan jalan sesuai topografi area untuk menciptakan profil lintasan jalan yang memungkinkan aliran lalu lintas dapat berjalan lancar dan aman. Dalam pekerjaan tanah, terdapat beberapa hasil perancangan jalan, salah satunya adalah perhitungan volume Galian dan Timbunan.

a. Galian

Proses penggalian atau penghapusan material tanah atau batuan dari permukaan tanah alami untuk membuat ruang yang cukup untuk membangun struktur jalan. Galian berfungsi untuk membuat ruang bagi pondasi jalan atau untuk membuat profil jalan yang sesuai dengan desain yang diinginkan. Proses ini penting dalam perancangan jalan karena mempengaruhi struktur dan stabilitas jalan, serta mempengaruhi penggunaan material lain yang mungkin diperlukan untuk pembuatan jalan. Galian tanah dan volume tanah yang dihasilkan dari proses galian ini menjadi faktor penting dalam perhitungan desain jalan. Volume tanah yang dihasilkan dari galian tanah digunakan untuk menentukan volume total yang diperlukan untuk pembuatan jalan, termasuk material tambahan yang mungkin diperlukan untuk mencapai ketinggian dan kondisi yang diinginkan untuk jalan tersebut.

b. Timbunan

Timbunan pada perancangan jalan merujuk pada peningkatan ketinggian atau elevasi dari permukaan jalan terhadap permukaan tanah aslinya. Timbunan ini dapat dibuat untuk berbagai tujuan, seperti memperbaiki kondisi jalan yang

terdepresi, meningkatkan kestabilan jalan, atau memenuhi kebutuhan infrastruktur lainnya seperti jembatan, taman, atau fasilitas publik. Timbunan merupakan komponen yang penting karena mempengaruhi desain dan konstruksi jalan. Perhitungan geometrik jalan harus mempertimbangkan volume tanah yang dihasilkan dari timbunan, yang dapat mempengaruhi penggunaan material tambahan seperti batu dan beton untuk menambah kekuatan dan stabilitas jalan. Selain itu, timbunan juga mempengaruhi perhitungan penggunaan material lain seperti pasir dan batuan, yang mungkin diperlukan untuk menambah kekuatan dan stabilitas jalan.

2.7 Klasifikasi Jenis Tanah

Hardiyatmo (2002) menyatakan bahwa klasifikasi tanah merupakan metode untuk mengelompokkan berbagai jenis tanah yang memiliki karakteristik serupa ke dalam kelompok dan subkelompok tertentu yang menggambarkan sifat serta perilaku tanah yang sejenis. Proses ini dapat dilakukan dengan memanfaatkan data dari pengujian CPT (*Cone Penetration Test*) maupun SPT (*Standard Penetration Test*).

2.7.1 Klasifikasi Berdasarkan Data CPT atau Sondir

Klasifikasi tanah berdasarkan data dari CPT (*Cone Penetration Test*) merupakan metode yang digunakan untuk mengidentifikasi karakteristik serta jenis tanah bawah permukaan melalui hasil uji penetrasi konus, baik dengan maupun tanpa hambatan gesek (*friction resistance*). Penentuan jenis tanah dilakukan dengan mengacu pada nilai tahanan konus (qc) dan nilai *Friction Ratio* (Fr), yang dianalisis dan dihitung dengan langkah sebagai berikut.

1. Mencari Nilai Friction (F)

$$F = (C+F) - C$$

2. Mencari Nilai Local Friction

$$\text{Local Friction} = F/10$$

3. Mencari Nilai Friction Ratio (%)

$$Fr = (\text{Local Friction} / C) \times 100\%$$

4. Mencari Jenis Tanah dari Grafik Tahanan Konus dan Rasio Gesekan

Gambar 2. 10 Grafik Klasifikasi Tanah

2.7.2 Klasifikasi Berdasarkan Data SPT

Data tanah dari uji *Standar Penetration Test* (SPT) diperoleh melalui pengujian lapangan menggunakan metode penetrasi standar. Nilai yang dihasilkan dari pengujian ini, dikenal sebagai nilai “N”. yang merupakan jumlah pukulan yang diperlukan untuk mendorong tabung belah standar sejauh 30,48 cm ke dalam tanah. Uji SPT umumnya digunakan pada tanah berbutir (granuler), terutama karena sulitnya memperoleh sampel tanah dalam kondisi tak terganggu (*undisturbed*). Selain itu, pengujian ini juga bertujuan untuk menentukan tingkat kerapatan relatif tanah serta mengidentifikasi karakteristik fisik tanah tersebut.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Skempton (1983), nilai N-SPT perlu dikoreksi dengan mempertimbangkan beberapa faktor, seperti mekanisme jatuhnya pemukul, jenis landasan (anvil), serta total panjang batang bor yang digunakan. Koreksi ini bertujuan untuk memperoleh nilai N_{60} , yaitu nilai N-SPT yang telah disesuaikan dengan efisiensi energi standar sebesar 60%.

Persamaan yang digunakan untuk menghitung koreksi tersebut dinyatakan sebagai berikut:

$$N_{60} = \frac{1}{0,6} \times N_V \times E_f \times C_B \times C_R \times C_s$$

Dengan,

N_{60} = N-SPT telah dikoreksi.

N_V = nilai N-SPT hasil uji lapangan

E_f = efisiensi pemukul (Tabel 2.16)

C_B = koreksi diameter lubang bor (Tabel 2.17)

C_R = koreksi untuk panjang batang bor (Tabel 2.17)

C_s = koreksi oleh tipe tabung sampler SPT (Tabel 2.17)

Tabel 2. 16 Efisiensi Pemukul (Ef)

Negara	Tipe	Mekanisme Pelepasan	Efisien Pemukul		
	Pemukul	Pemukul	Ef/Ce		
Argentina	Donat	Cathead	0.45	sd	-
Brazil	Pin weight	Dilepas tangan	0.72	sd	-
China	Otomatis	Trip	0.6	sd	-
	Donat	Dilepas tangan	0.55	sd	-
	Donat	Cathead	0.5	sd	-
Columbia	Donat	Cathead	0.5	sd	-
Jepang	Donat	Tombi trigger	0.78	sd	0.85
	Donat	Cathead 2 turn + pelepas spesial	0.65	sd	0.67
Inggris	Otomatis	Trip	0.73	sd	-

Negara	Tipe	Mekanisme Pelepasan	Efisien Pemukul		
	Pemukul	Pemukul	Ef/Ce		
Amerika	Aman	2 turn on cathead	0.55	sd	0.6
	Donat	2 turn on cathead	0.45	sd	-
Venezuela	Donat	Cathead	0.43	sd	-

Sumber: Clayton, 1990

Tabel 2. 17 Faktor Koreksi Cb, Cs, Ce, dan Cr

Faktor	Jenis Alat	Parameter	Koreksi
Tegangan vertikal efektif		Cn	$2,2/(1,2+(\sigma'vo/Pa))$
Tegangan vertikal efektif		Cn	$CN \leq 1.7$
Rasio tenaga	Palu donat (Donut hammer)	Ce	0,5 s.d 1,0
Rasio tenaga	Palu pengaman (Safety hammer)	Ce	0,7 s.d 1,2
Rasio tenaga	Palu otomatis (Automatic-trip Donut-type hammer)	Ce	0,8 s.d 1,3
Diameter bor	65 s.d 115 mm	Cb	1,0
Diameter bor	150 mm	Cb	1,05
Diameter bor	200 mm	Cb	1,15
Panjang batang	< 3m	Cr	0,75
Panjang batang	3 s.d 4 m	Cr	0,8
Panjang batang	4 s.d 6 m	Cr	0,85
Panjang batang	6 s.d 10 m	Cr	0,95
Panjang batang	10 s.d 30 m	Cr	1,0

Faktor	Jenis Alat	Parameter	Koreksi
Pengambilan contoh	Tabung standar	C _s	1,0
Pengambilan contoh	Tabung dengan pelapis (liner)	C _s	1,1 s.d 1,3

Sumber: Youd, T.L & Idriss, I.M., 200

2. Menghitung Nilai Efisiensi Energi Pemukul (N₆₀)

Nilai (N₁)₆₀ merupakan hasil koreksi dari nilai N₆₀ yang telah dinormalisasi terhadap pengaruh tegangan vertikal efektif (*overburden*), yang dinyatakan melalui persamaan berikut.

$$(N_1)_{60} = N_v \times C_N \times C_E \times C_B \times C_R \times C_s$$

(N₁)₆₀: nilai SPT yang dikoreksi terhadap pengaruh efisiensi tenaga 60%.

N_v : nilai N-SPT hasil uji di lapangan.

C_N : faktor koreksi terhadap tegangan vertikal efektif (nilainya ≤ 1,70).

C_E : faktor koreksi terhadap tenaga palu.

C_B : koreksi diameter lubang bor.

C_R : koreksi untuk panjang batang SPT.

C_s : koreksi terhadap tabung contoh (sampler) dengan atau tanpa pelais (*liner*).

σ'_{vo} : tegangan vertikal efektif

P_a : 100 kPa.

3. Korelasi N-SPT dengan Kepadatan Relatif dan Deskripsi Tanah

Terzaghi dan Peck (1967) menyajikan deskripsi kualitatif mengenai hubungan antara nilai N-SPT dengan parameter geoteknik seperti kepadatan relatif, sudut geser dalam, berat volume, serta tingkat kerapatan relatif tanah yang disajikan pada tabel 2.18 dan tabel 2.19

Tabel 2. 18 Hubungan nilai N dengan kerapatan relatif (Dr) untuk tanah pasir.

N-SPT	Kerapatan relatif (Dr)
< 4	Sangat tidak padat
4 – 10	Tidak padat
10 – 30	Kepadatan Sedang
30 – 50	Padat
>50	Sangat Padat

Sumber: Terzhagi dan Peck, 1948

Tabel 2. 19 Hubungan nilai N, konsistensi dan kuat tekan-bebas (q_u) untuk tanah lempung jenuh

Nilai N	Konsistensi	Kuat tekan bebas (q_u) (kN/m^2)
<2	Sangat Lunak	<25
2 – 4	Lunak	25 – 50
4 – 8	Sedang	50 – 100
8 – 15	Kaku	100 – 200
15 – 30	Sangat Kaku	200 – 400
>30	Keras	>400

Sumber: Terzhagi dan Peck, 1948

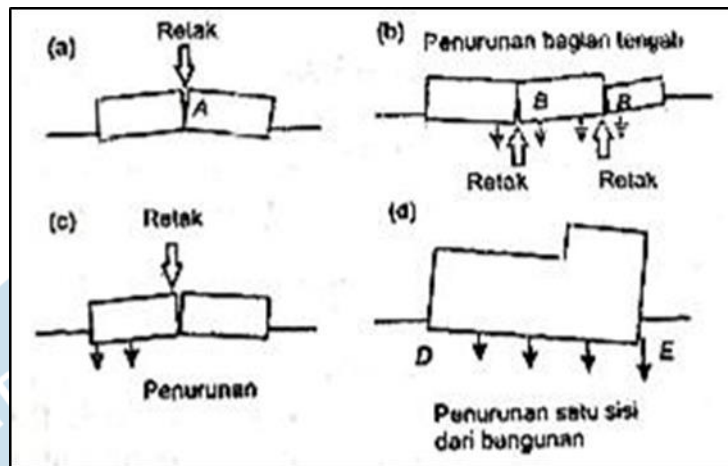
2.8 Stratigrafi Tanah

Stratigrafi merupakan gambaran susunan lapisan tanah di bawah permukaan, baik secara vertikal maupun horizontal, yang terdiri dari beberapa lapisan dengan jenis serta konsistensi atau kepadatan yang seragam. Penyusunan stratigrafi tanah didasarkan pada hasil investigasi tanah, seperti pengujian SPT (*Standard Penetration Test*) dan CPT (*Cone Penetration Test*), untuk menggambarkan pola lapisan tanah (Bakrie, 2022). Secara prinsip, stratigrafi dibentuk melalui pengelompokan lapisan – lapisan tanah yang memiliki karakteristik serupa, termasuk jenis tanah, ketebalan masing – masing lapisan, jumlah lapisan, serta parameter – parameter tanah lainnya.

2.9 Penurunan

Penurunan (*settlement*) merupakan pergerakan suatu titik pada bangunan terhadap titik acuan yang bersifat tetap (Hardiyatmo, 2020). Apabila seluruh permukaan tanah di bawah dan di sekitar bangunan mengalami penurunan secara merata dan dalam batas yang wajar, maka penurunan tersebut umumnya tidak terlihat secara visual dan tidak menimbulkan kerusakan pada struktur bangunan. Namun, jika

penurunan terjadi secara berlebihan, hal ini dapat memengaruhi kestabilan bangunan serta menimbulkan gangguan secara visual.



Gambar 2. 11 Contoh kerusakan bangunan akibat penurunan (Hardiyatmo, 2020)

Penjelasan mengenai contoh – contoh kerusakan akibat penurunan tanah yang tidak merata sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.11 adalah sebagai berikut:

- Apabila bagian tepi bangunan mengalami penurunan yang lebih besar dibandingkan bagian tengahnya, maka kemungkinan besar akan timbul retakan pada area A.
- Jika bagian tengah bangunan mengalami penurunan lebih besar, maka bagian atas struktur akan mengalami tekanan, sedangkan bagian bawah akan ditarik. Dalam kasus deformasi yang cukup signifikan, tegangan tarik yang terbentuk di bagian bawah bangunan dapat menyebabkan munculnya retakan pada struktur.
- Penurunan yang terjadi di salah satu sisi bangunan juga dapat menimbulkan retakan, khususnya pada area C.
- Apabila penurunan berlangsung secara perlahan dan terus – menerus dari salah satu sisi bangunan, maka hal ini dapat menyebabkan kemiringan bangunan tanpa menimbulkan retakan yang tampak.

Sebelum menghitung penurunan, diperlukan data beban berupa beban lalu lintas kendaraan pada Tabel 2.20 dan beban untuk perencanaan struktur lapisan perkerasan (lapis aspal, LFA Kelas A, LFA Kelas B, dan lapis Sub-Base) pada Tabel 2.21.

Tabel 2. 20 Beban lalu lintas untuk analisis stabilitas (Pt T-10-2002-B)

Kelas Jalan	Beban Lalu Lintas (kPa)
I	15
II	12
III	12
IV	12 (direncanakan sama dengan jalan kelas III)

Sumber: PUPR, Pedoman Perencanaan Teknik Timbunan Material Ringan Mortar-Busa untuk Konstruksi Jalan.

Tabel 2. 21 Beban Perencanaan Struktur Lapisan Perkerasan Jalan

Lapisan Perkerasan	γ (ton/m ³)
HRS-WC	2,25
LFA kelas A	2,20 – 2,50
LFA kelas B	2,00 – 2,40
Subbase Course	1,60 – 1,90

Sumber: PUPR, SNI 032874-2005 (Spesifikasi Umum untuk Pekerjaan Jalan dan Jembatan)

2.9.1 Penurunan Segera (Si)

Penurunan segera, atau sering disebut sebagai penurunan elastis, merupakan jenis penurunan yang terjadi akibat deformasi atau distorsi pada massa tanah yang mengalami tekanan, dengan kondisi volume tanah tetap konstan (Hardiyatmo, 2020). Umumnya penurunan segera terjadi pada tanah yang mengandung jenis tanah pasir karena sifat dari tanah pasir yang mudah mengeluarkan air serta partikel pasir yang dapat langsung berpindah posisi sehingga partikel dapat tersusun ulang secara segera. Untuk tanah lempung hanya terjadi penurunan konsolidasi karena mengalami penurunan secara lambat yang disebabkan oleh air pada pori tanah berlempung keluar secara perlahan dan memerlukan waktu, serta pemindahan beban ke struktur tanah terjadi secara bertahap.

2.9.2 Penurunan Konsolidasi (Sc)

Tanah lempung jenuh yang berada dalam kondisi terendam dan kemudian mendapatkan beban akan mengalami tekanan yang menimbulkan kelebihan tekanan air pori. Kelebihan tekanan ini akan berkurang seiring

keluarnya air dari rongga pori tanah yang mengalami tekanan. Proses ini menyebabkan penyusutan volume tanah secara bertahap, yang berlangsung dalam jangka waktu lama dan bergantung pada waktu. Tanah yang berada dalam tahap ini dikatakan sedang mengalami konsolidasi, sedangkan perubahan volume dalam arah vertikal akibat proses tersebut dikenal sebagai penurunan konsolidasi primer.

Penurunan yang terjadi akibat konsolidasi primer pada tanah lempung yang termasuk dalam kondisi konsolidasi normal dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$S_c = \frac{C_c}{1+e_o} H \log \left(\frac{p_o + \Delta p}{p_o} \right)$$

Dengan,

p_o' : Tekanan *overburden* efektif awal.

Δp : Tekanan akibat beban fondasi pada kedalaman yang ditinjau. e_o : Angka pori awal.

H : Tebal lapisan tanah yang ditinjau.

C_c : Indeks kompresi primer.

Berdasarkan Panduan Geoteknik 4 mengenai Desain dan Konstruksi, nilai indeks kompresi primer dapat ditentukan melalui korelasi empiris yang telah dikembangkan oleh berbagai peneliti. Korelasi yang umum digunakan melibatkan hubungan antara indeks kompresi primer (C_c) dengan parameter seperti berat isi tanah dan angka pori awal (e_o). Salah satu bentuk korelasi yang paling sering diaplikasikan adalah sebagai berikut:

- a. Nishida (1956) secara teoritis mengembangkan korelasi berikut yang berlaku untuk semua jenis tanah lempung:

$$C_c = 0,54(e_o - 0,35)$$

- b. Untuk jenis tanah kohesif anorganik, seperti lanau berlempung, lempung kelanauan, dan lempung, Hough (1957) merekomendasikan penggunaan korelasi berikut:

$$C_c = 0,4049 (e_o - 0,3216)$$

atau

$$C_c = 0,0102(w - 9,15)$$

- c. Untuk kurang lebih 700 lempung dari Yunani dan Amerika Serikat, Azzouz (1976) mengusulkan beberapa korelasi empiris yang dijabarkan sebagai berikut:

$$C_c = 0,4(e_o - 0,25)$$

atau

$$C_c = 0,01(w - 0,25)$$

Angka pori awal (*initial void ratio* atau e_o) merupakan perbandingan antara volume pori dengan volume partikel padat dalam sampel tanah pada kondisi awal. Dalam bidang geoteknik, parameter ini memiliki peran penting dalam menganalisis perilaku konsolidasi tanah. Nilai e_o dapat dihitung menggunakan rumus yang ditunjukkan pada Gambar 2.12.

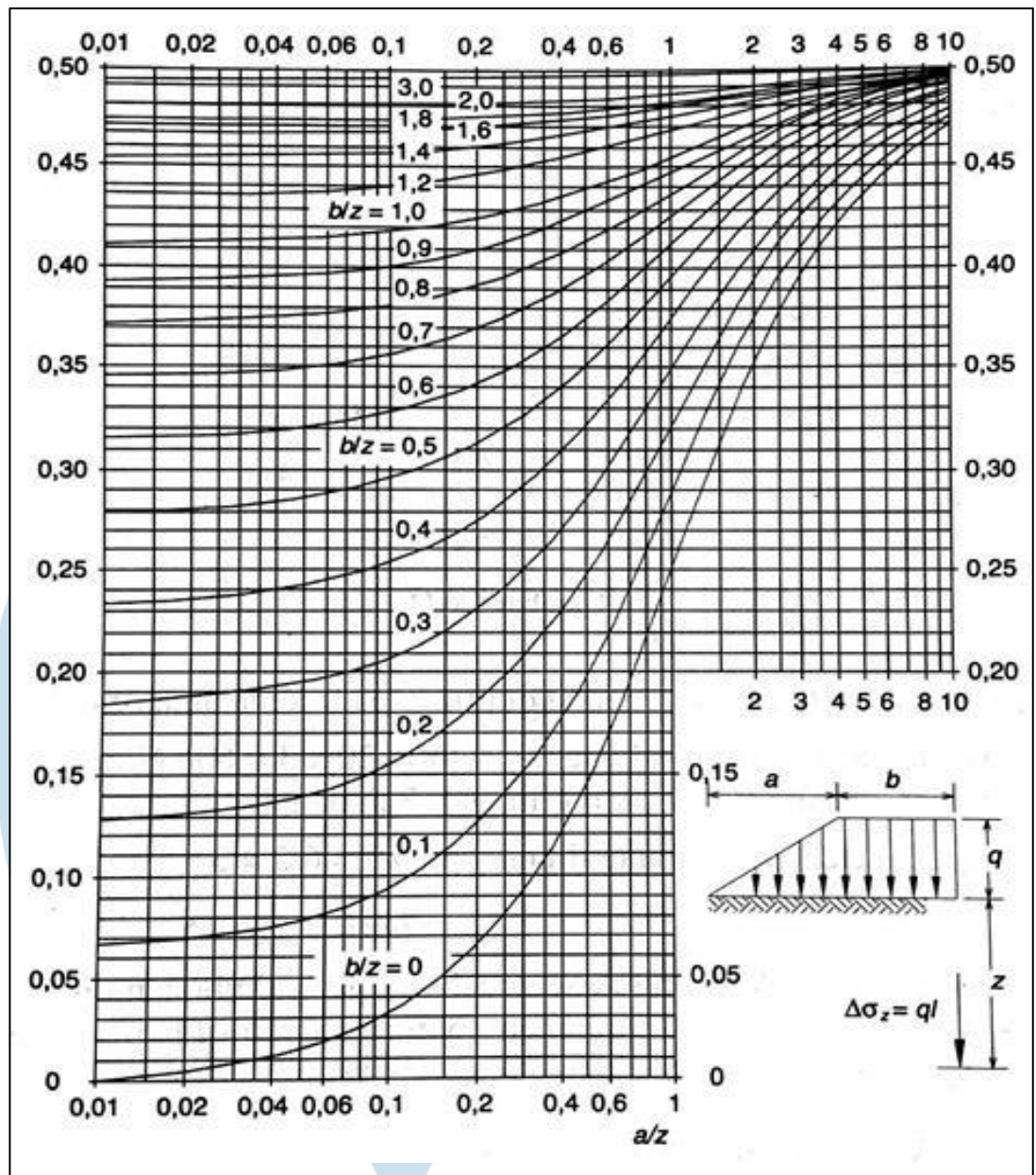
Berat volume basah, γ		Berat volume kering, γ_d		Berat volume jenuh, γ_{sat}	
Parameter	Hubungan	Parameter	Hubungan	Parameter	Hubungan
w, G_s, e	$\frac{(1+w)G_s\gamma_w}{1+e}$	γ, w	$\frac{\gamma}{1+w}$	G_s, e	$\frac{(G_s+e)\gamma_w}{1+e}$
S, G_s, e	$\frac{(G_s+Se)\gamma_w}{1+e}$	G_s, e	$\frac{G_s\gamma_w}{1+e}$	γ_d, S	$\left(1-\frac{1}{G_s}\right)\gamma_d+\gamma_w$
w, G_s, e	$\frac{(1+w)G_s\gamma_w}{1+\frac{wG_s}{S}}$	G_s, w, S	$\frac{G_s\gamma_w}{1+\left(\frac{wG_s}{S}\right)}$	G_s, w_{sat}	$\left(\frac{1+w_{sat}}{1+w_{sat}\frac{G_s}{S}}\right)G_s\gamma_w$
w, G_s, n	$G_s\gamma_w\frac{(1-n)(1+w)}{1+w}$	γ_{sat}, G_s	$\frac{(\gamma_{sat}-\gamma_w)G_s}{(G_s-1)}$	e, w_{sat}	$\left(\frac{e}{w_{sat}}\right)\left(\frac{1+w_{sat}}{1+e}\right)\gamma_w$
S, G_s, w	$G_s\gamma_w\frac{(1-n)}{nS\gamma_w} +$	e, w, S	$\frac{eS\gamma_w}{(1+e)w}$	n, w_{sat}	$n\left(\frac{1+w_{sat}}{1+e}\right)\gamma_w$
		γ_{sat}, e	$\gamma_{sat}-\frac{e\gamma_w}{1+e}$	γ_d, e	$\gamma_d+\left(\frac{e}{1+e}\right)\gamma_w$
		γ_{sat}, n	$\gamma_{sat}-n\gamma_w$	γ_d, n	$\gamma_d+n\gamma_w$
		G_s, n	$G_s\gamma_w(1-n)$	G_s, n	$[(1-n)G_s+n]\gamma_w$
				γ_d, w_{sat}	$\gamma_d(1+w_{sat})$

Sumber: spada.uns.ac.id, “Struktur dan komposisi tanah”

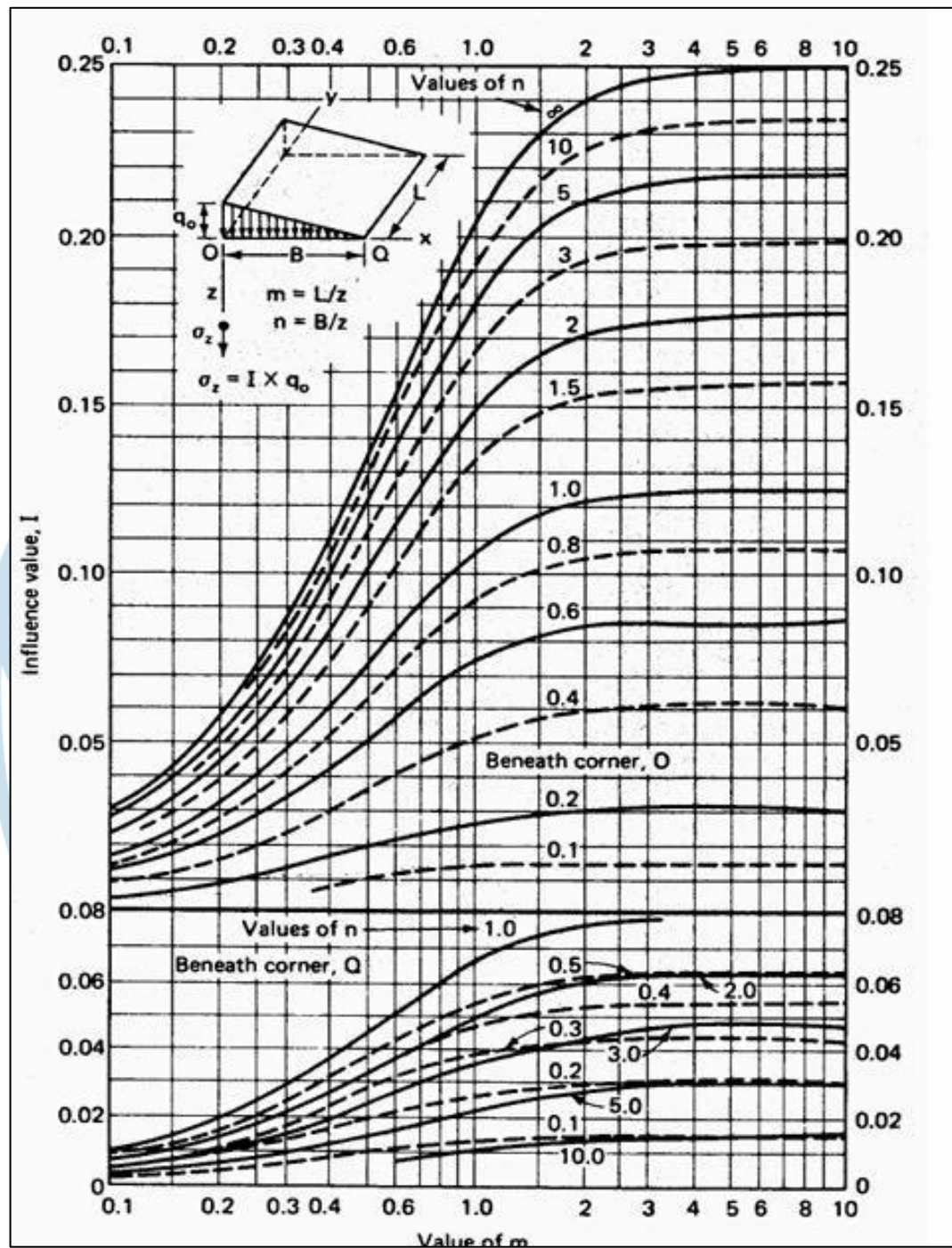
Gambar 2. 12 Berbagai Bentuk Hubungan untuk γ , γ_d , dan γ_{sat}

Tekanan yang ditimbulkan oleh beban fondasi pada kedalaman tertentu, khususnya di tengah – tengah suatu lapisan tanah, dapat dihitung dengan menggunakan rumus tertentu. Perhitungan ini memerlukan penyesuaian berdasarkan faktor pengaruh (*influence factor*), yang nilainya dapat diperoleh dari grafik pada Gambar 2.13 untuk kondisi konsolidasi primer di bagian tengah lapisan, dan Gambar 2.14 untuk kondisi di bagian tepinya.

$$\Delta p = \Delta \sigma_z = qI$$



Gambar 2. 13 Faktor pengaruh (I) akibat beban timbunan (Osterberg, 1957)



Gambar 2. 14 Faktor pengaruh (I) untuk tegangan vertikal di bawah sudut-sudut (O dan Q) beban segitiga yang panjangnya terbatas (U.S. Navy, 1971)

2.10 Daya Dukung Tanah

Daya dukung tanah merupakan kemampuan tanah dalam menahan beban yang diberikan melalui suatu fondasi. Kapasitas dukung ultimit (*ultimate bearing capacity*), disimbolkan dengan “ q_u ”, adalah tekanan maksimum yang mampu ditanggung oleh fondasi tanpa menyebabkan keruntuhan geser pada tanah di bawahnya. Sedangkan kapasitas dukung ultimit neto (*net ultimate bearing capacity*), disimbolkan dengan “ q_{un} ”, adalah tekanan neto maksimum yang dapat menyebabkan tanah mengalami keruntuhan geser (Hardiyatmo, 2020).

Menurut Hardiyatmo (2020), perancangan fondasi yang memperhitungkan kapasitas daya dukung tanah harus mempertimbangkan dua aspek penting, yaitu:

1. Keamanan terhadap keruntuhan geser, yakni memastikan beban kerja tidak melebihi kapasitas daya dukung tanah. Umumnya digunakan faktor keamanan (SF) sebesar 3 untuk tujuan tersebut.
2. Penurunan (*settlement*) harus berada dalam batas yang dapat ditoleransi, terutama penurunan tidak seragam (*differential settlement*) harus diminimalkan agar tidak menyebabkan kerusakan struktural.

Dalam menghitung daya dukung tanah, penting untuk memahami jenis – jenis mekanisme keruntuhan fondasi. Berdasarkan penelitian model oleh Vesic (1963), terdapat tiga tipe utama keruntuhan fondasi seperti pada Gambar 2.30, yaitu:

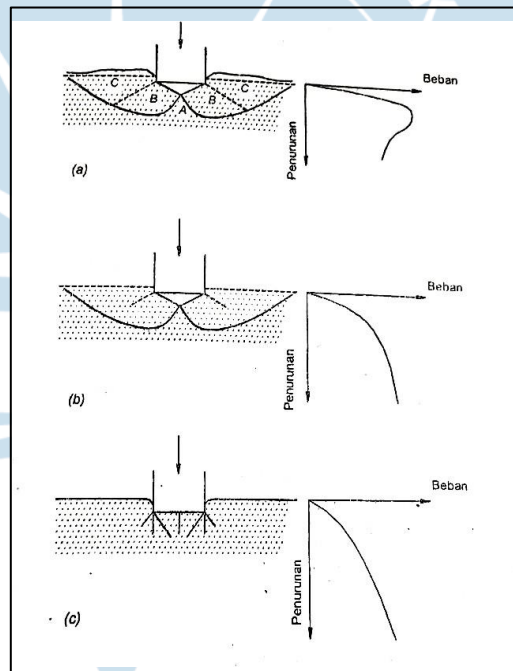
1. Keruntuhan geser umum (*general shear failure*), terjadi pada tanah yang padat dan memiliki kekuatan geser tinggi.
2. Keruntuhan geser lokal (*local shear failure*), umumnya terjadi pada tanah dengan kepadatan sedang.
3. Keruntuhan penetrasi (*punching shear failure*), sering terjadi pada tanah yang mudah mengalami kompresi, seperti lempung lunak dan pasir longgar, serta bila kedalaman fondasi (D_f) jauh lebih besar dibanding lebarnya (B)

Vesic (1963) melaksanakan uji model terkait penelitian pengaruh kerapatan relatif tanah pasir (D_r) dan perbandingan kedalaman terhadap lebar fondasi (D_f / B) terhadap jenis keruntuhan yang terjadi. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa:

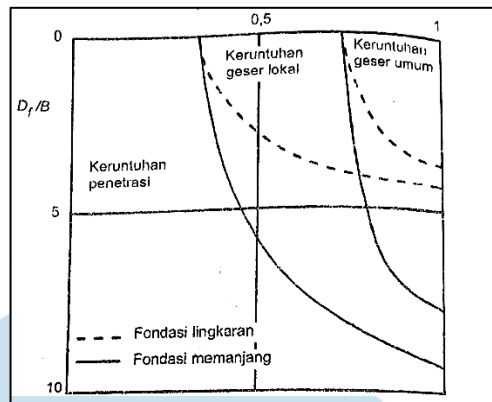
- Keruntuhan geser umum cenderung terjadi pada fondasi dangkal di atas pasir padat, dengan sudut geser dalam efektif (ϕ') lebih dari 36° .
- Keruntuhan geser lokal terjadi pada tanah dengan ϕ' sekitar 29° .

Sementara itu, menurut Couduto (1994), tipe keruntuhan fondasi berdasarkan tingkat kepadatan pasir adalah sebagai berikut:

- Pasir oadat ($D_r > 67\%$), umumnya mengalami keruntuhan geser umum.
- Pasir dengan kepadatan sedang ($30\% < D_r < 67\%$), cenderung mengalami keruntuhan geser local.
- Pasir sangat longgar ($D_r < 30\%$), lebih berpotensi mengalami keruntuhan penetrasi.



Gambar 2. 15 Macam Keruntuhan Fondasi (Vesic, 1963)



Gambar 2. 16 Hubungan D_f/B , D_r , dan model keruntuhan fondasi pada pasir (Vesic, 1963)

Gambar 2.17 berfungsi sebagai alat bantu dalam mengidentifikasi jenis keruntuhan fondasi yang paling mungkin terjadi akibat keterbatasan daya dukung tanah, dengan mempertimbangkan karakteristik serta jenis tanah yang ada.

Summary of Type of Bearing Capacity Failure versus Soil Properties					
Type of bearing capacity failure	Cohesionless soil (e.g., sands)			Cohesive soil (e.g., clays)	
	Density condition	Relative density (D_r)	$(N_1)_{60}$	Consistency	Undrained shear strength (s_u)
General shear failure	Dense to very dense	65–100%	> 20	Very stiff to hard	> 2000 psf > 100 kPa
Local shear failure	Medium	35–65%	5–20	Medium to stiff	500–2000 psf 25–100 kPa
Punching shear failure	Loose to very loose	0–35%	< 5	Soft to very soft	< 500 psf < 25 kPa

Gambar 2. 17 Jenis Keruntuhan Fondasi Berdasarkan Jenis dan Sifat Tanah (Suryakanta, 2015)

2.10.1 Daya Dukung Tanah Teori Terzaghi

Analisis daya dukung tanah berdasarkan teori Terzaghi (1943) didasarkan pada sejumlah asumsi dasar sebagai berikut:

1. Fondasi berbentuk memanjang tak terhingga.
2. Tanah di bawah dasar fondasi bersifat homogen.
3. Tahanan geser tanah di atas dasar fondasi diabaikan.
4. Dasar fondasi bersifat kasar
5. Baji tanah yang terbentuk di dasar pondasi dalam kedudukan elastis dan bergerak bersama-sama dengan dasar pondasi.

6. Bidang keruntuhan terdiri dari lengkung spiral logaritmis dan linier.
7. Berlaku prinsip superposisi.
8. Berat tanah di atas dasar pondasi digantikan dengan beban terbagi rata sebesar $P_o = D_f \gamma$, dengan D_f adalah kedalaman dasar pondasi dan γ adalah berat volume tanah di atas dasar pondasi.
9. Pertemuan antara sisi baji dan dasar pondasi membentuk sudut sebesar sudut gesek dalam tanah (ϕ).

Untuk memperoleh persamaan daya dukung tanah teori Terzaghi, dilakukan analisis kondisi keruntuhan geser pada fondasi. Dalam hal ini, tanah dianggap bersifat plastis dan mengalami keruntuhan ketika batas kapasitas dukung tercapai. Jenis – jenis keruntuhan geser yang dapat terjadi pada fondasi antara lain:

1. Keruntuhan geser umum
2. Keruntuhan geser lokal
3. Keruntuhan geser akibat penetrasi

Langkah – langkah dalam menghitung daya dukung tanah menggunakan metode Terzaghi adalah sebagai berikut:

1. Menghitung berat tanah di atas dasar fondasi

$$P_o = D_f \times \gamma$$

Keterangan:

P_o = berat tanah di atas dasar fondasi (kN/m^3)

D_f = kedalaman fondasi (m)

γ = berat volume tanah (kN/m^3)

2. Menghitung beban terbagi rata

$$q = h \times \gamma$$

Keterangan:

q = beban terbagi rata (kN/m^2)

h = tinggi timbunan (m)

γ = berat volume tanah (kN/m^3)

3. Menghitung kapasitas dukung ultimit

$$q_u = cN_c + P_oN_q + 0,5 \gamma BN_y$$

keterangan:

q_u = kapasitas dukung ultimit (kN/m^2)

c = kohesi tanah (kN/m^2)

P_o = tekanan *overburden* pada dasar fondasi (kN/m^3)

γ = berat volume tanah (kN/m^3)

B = lebar fondasi (m)

4. Menghitung kapasitas dukung ultimit neto

$$q_{un} = q_u - P_o$$

keterangan:

q_{un} = kapasitas dukung ultimit neto (kN/m^2)

q_u = kapasitas dukung ultimit (kN/m^2)

P_o = berat tanah di atas dasar fondasi

5. Menghitung tekanan fondasi neto

$$q_n = q - P_o$$

Keterangan:

q_n = tekanan fondasi neto

q = beban terbagi rata

P_o = berat tanah di atas dasar fondasi

6. Menghitung kapasitas dukung izin yang diizinkan

$$q_{all} = q_{un}/SF$$

Keterangan:

q_{un} = kapasitas dukung ultimit neto

SF = faktor keamanan terhadap kapasitas dukung, yaitu 3.

2.10.2 Daya Dukung Tanah Teori Meyerhof

Selain perhitungan kapasitas dukung tanah dengan teori Terzaghi, kapasitas dukung teori Meyerhof juga sering digunakan sebagai alternatif yang lebih realistis. Menurut Meyerhof (1955), (β) tidak diasumsikan sama

dengan sudut geser dalam tanah (ϕ), melainkan memiliki nilai lebih besar ($\beta > \phi$). Hal ini menyebabkan bentuk baji tanah dengan keruntuhan memanjang lebih dalam ke bawah dibandingkan dengan model teori Terzaghi.

Berbeda dengan teori Terzaghi, zona keruntuhan dalam teori Meyerhof tidak hanya terbatas di bawah fondasi, tetapi diperluas hingga mencapai permukaan tanah. Oleh karena itu, kontribusi tahanan geser tanah di atas dasar fondasi juga turut diperhitungkan sehingga menghasilkan model yang lebih menyeluruh. Meskipun sudut baji keruntuhan (β) diasumsikan lebih besar daripada sudut geser dalam tanah (ϕ) sehingga menyebabkan faktor kapasitas dukung pada pendekatan ini cenderung lebih kecil dibandingkan dengan hasil perhitungan menggunakan metode Terzaghi serta pengaruh kedalaman fondasi juga diperhitungkan pada teori Meyerhof. Konsekuensinya, dalam kondisi tertentu nilai kapasitas dukung yang diperoleh melalui teori Meyerhof lebih tinggi, terutama jika fondasi terletak pada kedalaman yang signifikan.

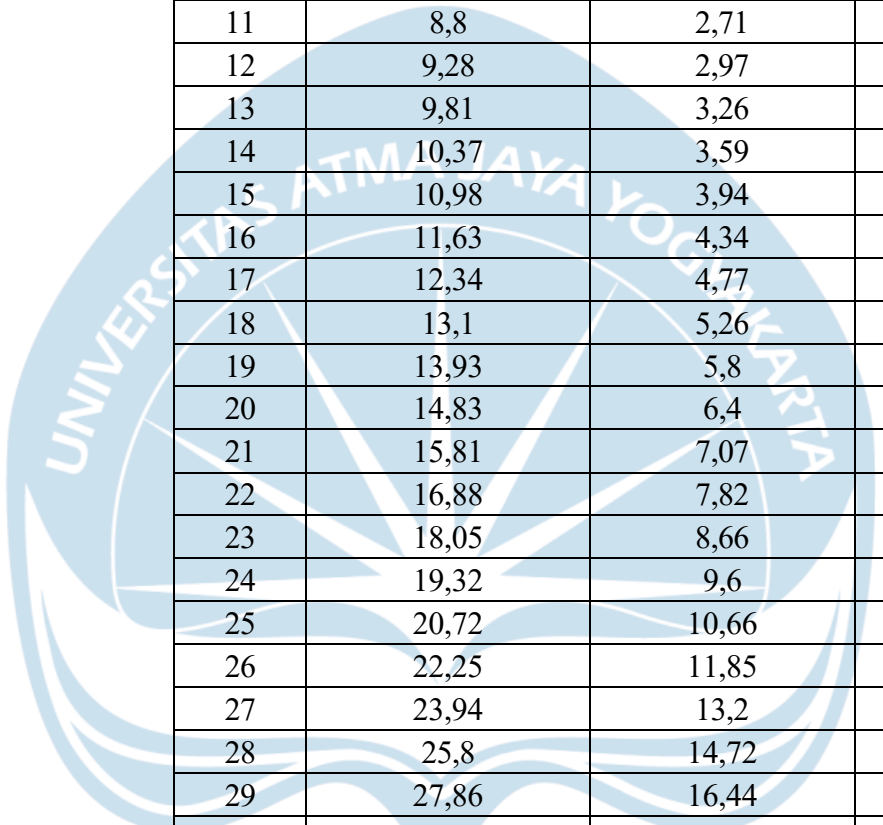
Pada tahun 1963, Meyerhof mengembangkan suatu persamaan untuk menghitung kapasitas dukung tanah yang mempertimbangkan beberapa faktor penting, yaitu konfigurasi geometri fondasi, kemiringan beban yang terlibat, serta karakteristik kekuatan geser tanah yang berada di atas dasar fondasi.

Langkah – langkah menghitung kapasitas daya dukung tanah dengan metode Meyerhof adalah sebagai berikut:

1. Menentukan faktor kapasitas dukung untuk fondasi memanjang

Tabel 2. 22 Faktor Kapasitas Dukung Meyerhof

ϕ	N_c	N_q	N_y
0	5,14	1	0
1	5,38	1,09	0
2	5,63	1,2	0,01
3	5,9	1,31	0,02
4	6,19	1,43	0,04
5	6,49	1,57	0,07



ϕ	Nc	Nq	Ny
6	6,81	1,72	0,11
7	7,16	1,88	0,15
8	7,53	2,06	0,21
9	7,92	2,25	0,28
10	8,34	2,47	0,37
11	8,8	2,71	0,47
12	9,28	2,97	0,6
13	9,81	3,26	0,74
14	10,37	3,59	0,92
15	10,98	3,94	1,13
16	11,63	4,34	1,37
17	12,34	4,77	1,66
18	13,1	5,26	2
19	13,93	5,8	2,4
20	14,83	6,4	2,87
21	15,81	7,07	3,42
22	16,88	7,82	4,07
23	18,05	8,66	4,82
24	19,32	9,6	5,72
25	20,72	10,66	6,77
26	22,25	11,85	8
27	23,94	13,2	9,46
28	25,8	14,72	11,19
29	27,86	16,44	13,24
30	30,14	18,4	15,67
31	32,67	20,63	18,56
32	35,49	23,18	22,02
33	38,64	26,09	26,17
34	42,16	29,44	31,15
35	46,12	33,3	37,15
36	50,59	37,75	44,43
37	55,63	42,92	53,27
38	61,35	48,93	64,07
39	67,87	55,96	77,33
40	75,31	64,2	93,69
41	83,86	73,9	113,99
42	93,71	85,37	139,32
43	105,11	99,01	171,14
44	118,37	115,31	211,41

ϕ	Nc	Nq	Ny
45	133,87	134,87	262,74
46	152,1	158,5	328,73
47	173,64	187,21	414,33
48	199,26	222,3	526,45
49	229,92	265,5	674,92
50	266,88	319,06	873,86

Sumber : Meyerhof (1963)

2. Menentukan faktor pengaruh bentuk fondasi

Tabel 2. 23 Faktor Pengaruh Bentuk Fondasi

Faktor Kedalaman	Nilai	Keterangan
s_c	$1 + 0,2 (B/L) \text{tg}^2(45 + \phi/2)$	Untuk sembarang ϕ
$s_q = d_y$	$1 + 0,1 (B/L) \text{tg}^2(45 + \phi/2)$	Untuk $\phi \geq 10^\circ$
	1	Untuk $\phi = 0$

Sumber : Meyerhof (1963)

3. Menentukan faktor pengaruh kedalaman fondasi

Tabel 2. 24 Faktor Pengaruh Kedalaman Fondasi

Faktor Kedalaman	Nilai	Keterangan
d_c	$1 + 0,2 (D/B) \text{tg}(45 + \phi/2)$	Untuk sembarang ϕ
$d_q = d_y$	$1 + 0,1 (D/B) \text{tg}(45 + \phi/2)$	Untuk $\phi \geq 10^\circ$
	1	Untuk $\phi = 0$

Sumber : Meyerhof (1963)

4. Menentukan faktor kemiringan beban

$$i_c = i_q = \left(1 - \frac{\delta^\circ}{90^\circ}\right)^2 \quad (\text{untuk sembarang } \phi)$$

$$i_y = \left(1 - \frac{\delta^\circ}{\phi}\right)^2 \quad (\text{untuk } \phi \geq 10^\circ)$$

$$i_y = 1 \quad (\text{Untuk } \phi = 0)$$

5. Menentukan nilai B'

$$\text{Eksentris searah sumbu } x \ B' = B - 2e$$

$$\text{Eksentris searah sumbu } y \ B' = B$$

6. Menentukan berat tanah di atas dasar fondasi

$$P_o = D_f \times \gamma$$

Keterangan:

P_o = berat tanah di atas dasar fondasi (kN/m^3)

D_f = kedalaman fondasi (m)

γ = berat volume tanah (kN/m^3)

7. Menentukan beban terbagi rata

$$q = h \times \gamma$$

Keterangan:

q = beban terbagi rata (kN/m^2)

h = tinggi timbunan (m)

γ = berat volume tanah (kN/m^3)

8. Menentukan kapasitas dukung ultimit

$$q_u = s_c d_c i_c N_c + s_q d_q i_q P_o N_q + s_y d_y i_y 0,5 B' \gamma N_y$$

Keterangan:

q_u = kapasitas dukung ultimit (kN/m^2)

N_c, N_q, N_y = faktor kapasitas dukung untuk fondasi memanjang

s_c, s_q, s_y = faktor pengaruh bentuk fondasi

d_c, d_q, d_y = faktor pengaruh kedalaman fondasi

i_c, i_q, i_y = faktor kemiringan beban

B' = lebar fondasi efektif

D_f = kedalaman fondasi (m)
 γ = berat volume tanah (kN/m^3)
 c = kohesi tanah (kN/m^2)

7. Menghitung tekanan fondasi neto

$$q_n = q - P_o$$

Keterangan:

q_n = tekanan fondasi neto
 q = beban terbagi rata
 P_o = berat tanah di atas dasar fondasi

8. Menghitung kapasitas dukung izin yang diizinkan

$$q_{all} = q_{un}/SF$$

Keterangan:

q_{un} = kapasitas dukung ultimit neto
 SF = faktor keamanan terhadap kapasitas dukung, yaitu 3.

2.10.3 Daya Dukung Tanah Teori Brinch Hansen (1961)

Berikut merupakan langkah – langkah menghitung daya dukung tanah dengan teori Brinch Hansen (1961)

1. Menentukan faktor kapasitas dukung untuk fondasi memanjang

Tabel 2. 25 Faktor Kapasitas Dukung Brinch Hansen

ϕ	N_c	N_q	N_γ
0	5,14	1	-
1	5,38	1,09	-
2	5,63	1,2	0,01
3	5,9	1,31	0,02
4	6,19	1,43	0,05
5	6,49	1,57	0,07
6	6,81	1,72	0,11
7	7,16	1,88	0,16
8	7,53	2,06	0,22
9	7,92	2,25	0,3

ϕ	N_c	N_q	N_y
10	8,34	2,47	0,39
11	8,8	2,71	0,5
12	9,28	2,97	0,63
13	9,81	3,26	0,78
14	10,37	3,59	0,97
15	10,98	3,94	1,18
16	11,63	4,34	1,43
17	12,34	4,77	1,73
18	13,1	5,26	2,08
19	13,93	5,8	2,48
20	14,83	6,4	2,95
21	16,81	7,07	3,5
22	16,88	7,82	4,13
23	18,05	8,66	4,88
24	19,32	9,6	5,75
25	20,72	10,66	6,76
26	22,25	11,85	7,94
27	23,94	13,2	9,32
28	25,8	14,72	10,94
29	27,86	16,44	12,84
30	30,14	18,4	15,07
31	32,67	20,63	17,69
32	35,49	23,18	20,79
33	38,64	26,09	24,44
34	42,16	29,44	28,77
35	46,12	33,3	33,92
36	50,59	37,75	40,05
37	55,63	42,92	47,38
38	61,35	48,93	56,17
39	67,87	55,96	66,76
40	75,31	64,2	79,54
41	83,86	73,9	95,05
42	93,71	85,37	113,96
43	105,11	99,01	137,1
44	118,37	115,31	165,58
45	133,87	134,87	200,81

ϕ	N_c	N_q	N_y
46	152,1	158,5	244,65
47	173,64	187,21	299,52
48	199,26	222,3	368,67
49	229,92	265,5	456,4
50	266,88	319,06	568,57

Sumber : Hansen (1961)

2. Menentukan faktor pengaruh bentuk fondasi

Tabel 2. 26 Faktor Pengaruh Bentuk Fondasi

Faktor Bentuk	Arah Beban		
	Tegak Lurus Dasar Fondasi	Miring Searah Lebarnya (B)	Miring Searah Panjangnya (L)
s_c	$1 + (B'/L)(N_q/N_c)$	$1 + (B'/L)(N_q/N_c)i_{cB}$	$1 + (B'/L)(N_q/N_c)i_{cL}$
$s_{c'}$	$0,2 (B'/L')$	$0,2 (B'/L') i_{cB}$	$0,2 (L'/B') i_{cL}$
s_q	$1 + (B'/L')\sin\phi$	$1 + (B' i_{qB} /L')\sin\phi$	$1 + (L' i_{qL} /B')\sin\phi$
s_y	$1 - 0,4(B'/L') \geq 0,6$	$1 - 0,4(B' i_{yB} /L' i_{yL}) \geq 0,6$	$1 - 0,4(L' i_{yL} /B' i_{yB}) \geq 0,6$

Sumber : Hansen (1961)

3. Menentukan faktor pengaruh kedalaman fondasi

Tabel 2. 27 Faktor Pengaruh Kedalaman Fondasi

Faktor Kedalaman	Nilai	Keterangan
d_c	$1 + 0,4 (D/B)$	Bila $(D/B) > 1$, maka (D/B) diganti dengan $\text{arc tg } (D/B)$
$d_{c'}$	$0,4 (D/B)$	
d_q	$1 + 0,2 (D/B)\text{tg } \phi (1 - \sin\phi)^2$	
d_y	1	

Sumber : Hansen (1961)

4. Menentukan faktor pengaruh kedalaman fondasi

Tabel 2. 28 Faktor Kemiringan Beban

Faktor Kemiringan Beban	Nilai	Keterangan
i_c	$i_q - \frac{(1-i_q)}{N_q-1}$	
$i_{c'}$	$0,5 - 0,5\sqrt{1 - H/A'ca}$	

Faktor Kemiringan Beban	Nilai	Keterangan
i_q	$[1 - \frac{0,5H}{V + A'ca \operatorname{ctg}\phi}]^5 \geq 0$	
i_y	$[1 - \frac{0,7H}{V + A'ca \operatorname{ctg}\phi}]^5 \geq 0$	Untuk dasar horisontal
i_y	$[1 - \frac{(0,7\alpha^0/450^\circ)H}{V + A'ca \operatorname{ctg}\phi}]^5 \geq 0$	Untuk dasar miring
		Batasan:
		$H \leq c_a A' + V \operatorname{tg}\delta$

Sumber : Hansen (1961)

5. Menentukan faktor kemiringan dasar fondasi 90

Tabel 2. 29 Faktor Kemiringan Dasar Fondasi

Faktor Kemiringan Dasar	Nilai	Keterangan
b_c	$1 - \frac{\alpha^\circ}{147^\circ}$	α = kemiringan dasar fondasi
b_c'	$\frac{\alpha^\circ}{147^\circ}$	
b_q	$e^{-2\alpha \operatorname{tg}\phi}$	
b_y	$e^{-2,7\alpha \operatorname{tg}\phi}$	

Sumber : Hansen (1961)

6. Menentukan faktor kemiringan permukaan

Tabel 2. 30 Faktor Kemiringan Permukaan

Faktor Kemiringan Dasar	Nilai	Keterangan
g_c	$1 - \frac{\beta^\circ}{147^\circ}$	β = kemiringan permukaan tanah
g_c'	$\frac{\beta^\circ}{147^\circ}$	
$g_q = g_y$	$(1 - 0,5 \operatorname{tg} \beta)^5$	$\alpha + \beta \leq 90^\circ$

Sumber : Hansen (1961)

7. Menentukan nilai B' dan L' Eksentris searah sumbu x

$$B' = B - 2e ; L' = L$$

Eksentris searah sumbu

y

$$B' = B ; L' = L - 2e$$

8. Menentukan berat tanah di atas dasar fondasi

$$P_o = D_f \times \gamma$$

Keterangan:

P_o = berat tanah di atas dasar fondasi (kN/m³)

D_f = kedalaman fondasi (m)

γ = berat volume tanah (kN/m³)

9. Menentukan beban terbagi rata

$$q = h \times \gamma$$

Keterangan:

q = beban terbagi rata (kN/m²)

h = tinggi timbunan (m)

γ = berat volume tanah (kN/m³)

10. Menentukan kapasitas dukung ultimit

$$q_u = \frac{Q_u}{B' \times L'} = s_c d_c i_c b_c g_c N_c + s_q d_q i_q b_q g_q P_o N_q + s_y d_y i_y b_y g_y 0,5 B' \gamma N_y$$

Keterangan:

q_u = kapasitas dukung ultimit (kN/m²)

Q_u = beban vertikal ultimit (kN)

L', B' = panjang dan lebar efektif fondasi

N_c, N_q, N_y = faktor kapasitas dukung

Hansen s_c, s_q, s_y = faktor pengaruh bentuk

fondasi

d_c, d_q, d_y = faktor pengaruh kedalaman

fondasi i_c, i_q, i_y = faktor kemiringan beban

b_c, b_q, b_y = faktor kemiringan dasar

g_c, g_q, g_y = faktor kemiringan permukaan

B' = lebar fondasi efektif

D_f = kedalaman fondasi (m)

γ = berat volume tanah (kN/m^3)

P_o = berat tanah di atas dasar fondasi (kN/m^2)

c = kohesi tanah (kN/m^2)

11. Menentukan kapasitas dukung ultimit neto

$$q_{un} = q_u - P_o$$

keterangan:

q_{un} = kapasitas dukung ultimit neto (kN/m^2)

q_u = kapasitas dukung ultimit (kN/m^2)

P_o = berat tanah di atas dasar fondasi

12. Menentukan tekanan fondasi neto

$$q_n = q - P_o$$

Keterangan:

q_n = tekanan fondasi neto

q = beban terbagi rata

P_o = berat tanah di atas dasar fondasi

13. Menentukan kapasitas dukung izin yang diizinkan

$$q_{all} = q_{un}/SF$$

Keterangan:

q_{un} = kapasitas dukung ultimit neto

SF = faktor keamanan terhadap kapasitas dukung, yaitu 3.

2.10.3 Daya Dukung Tanah dari Hasil Uji SPT

Teori daya dukung tanah berdasarkan hasil uji SPT (*Standard Penetration Test*) merupakan metode menentukan kapasitas daya dukung

tanah berupa pendekatan empiris dengan menggunakan nilai N-SPT. Uji SPT memberikan indikasi kepadatan relatif untuk tanah pasir dan konsistensi untuk tanah lempung. Dari data hasil uji SPT, ditemukan korelasi empiris yang telah dikembangkan untuk memperkirakan daya dukung tanah secara langsung.

Berikut merupakan langkah – langkah menghitung daya dukung tanah dari hasil uji SPT.

1. Menentukan nilai N-SPT telah dikoreksi (N_{60})

$$N_{60} = (E_f \times C_b \times C_s \times C_r \times N) / 0,6$$

Keterangan:

N_{60} = N-SPT telah dikoreksi.

N_v = nilai N-SPT hasil uji lapangan

E_f = efisiensi pemukul (Tabel 2.31)

C_b = koreksi diameter lubang bor (Tabel 2.32)

C_s = koreksi untuk panjang batang bor (Tabel 2.32)

C_r = koreksi oleh tipe tabung sampler SPT (Tabel 2.3.2)

2. Menentukan nilai N_{60}'

$$N_{60}' = N_{60} \times C_N$$

Keterangan:

N_{60}' = nilai N yang dikoreksi akibat pengaruh prosedur pelaksanaan di lapangan dan *overbuden*

N_{60} = N-SPT telah dikoreksi.

C_N = koreksi *overbuden*

3. Mencari Nilai Faktor Kedalaman Fondasi (K_d)

$$K_d = (1 + 0,33 \times (D / B))$$

Keterangan:

K_d = Nilai faktor kedalaman fondasi

D = Kedalaman fondasi

B = Lebar fondasi

4. Menghitung Kapasitas Dukung Ultimit (q_u)

$$q_u = N_{60}' \times \left(\frac{B+0,3}{B} \right)^2 \times K_d$$

Keterangan:

q_u = Kapasitas dukung ultimit

N_{60}' = nilai N yang dikoreksi akibat pengaruh prosedur pelaksanaan di lapangan dan overburden

B = Lebar fondasi

K_d = Nilai faktor kedalaman fondasi

5. Menentukan kapasitas dukung ultimit neto

$$q_{un} = q_u - P_o$$

keterangan:

q_{un} = kapasitas dukung ultimit neto (kN/m^2)

q_u = kapasitas dukung ultimit (kN/m^2)

P_o = berat tanah di atas dasar fondasi

6. Menentukan tekanan fondasi neto

$$q_n = q - P_o$$

Keterangan:

q_n = tekanan fondasi neto

q = beban terbagi rata

P_o = berat tanah di atas dasar fondasi

7. Menentukan kapasitas dukung izin yang diizinkan

$$q_{all} = q_{un}/SF$$

Keterangan:

q_{un} = kapasitas dukung ultimit neto

SF = faktor keamanan terhadap kapasitas dukung, yaitu 3.

2.11 Perkuatan Tanah

Perencanaan timbunan yang dilengkapi sistem perkuatan bertujuan utama untuk menghindari terjadinya kegagalan struktur. Beberapa mekanisme kegagalan yang mungkin terjadi pada timbunan tanah meliputi keruntuhan daya dukung, keruntuhan rotasi, dan keruntuhan akibat pergeseran lateral (Bina Marga, 2009). Masing – masing jenis keruntuhan ini menjadi dasar dalam pemilihan metode analisis kestabilan yang sesuai. Selain itu, aspek penurunan timbunan serta potensi deformasi jangka panjang pada elemen perkuatan juga harus dievaluasi secara menyeluruh.

Untuk kondisi timbunan yang dibangun di atas tanah lunak, pendekatan analisis stabilitas yang umum digunakan adalah metode tengangan total, karena bersifat konservatif dan tidak memperhitungkan perubahan kekuatan tanah akibat konsolidasi. Sebagai alternatif, analisis tegangan efektif dapat digunakan dengan memanfaatkan parameter kekuatan efektif tanah. Namun, metode ini memerlukan perkiraan tekanan air pori yang akurat, serta hasil uji laboratorium seperti uji triaksial terkonsolidasi tak terdrainase (CU) untuk memperoleh parameter yang relevan. Mengingat estimasi tekanan air pori di lapangan sering kali menimbulkan tantangan, maka selama proses konstruksi perlu dilakukan pemasangan pisometer guna memantau kecepatan penimbunan secara *real time* (Bina Marga, 2009).

Dalam studi perancangan ini, hasil perhitungan kapasitas dukung tanah menunjukkan bahwa pada beberapa titik STA, nilai daya dukung tanah berada di bawah ambang batas aman. Kondisi tersebut mengindikasikan perlunya penerapan metode perkuatan tanah guna meningkatkan kestabilan dan menjamin keamanan struktur yang akan dibangun.

Salah satu metode perkuatan tanah yang bisa digunakan untuk memperbaiki tanah yang kapasitas dukungnya belum memenuhi syarat adalah dengan metode geosintetik. Geosintetik merupakan produk berbentuk lembaran yang terbuat dari material polimer fleksibel yang digunakan dengan batuan, tanah, atau material geoteknik lainnya dalam suatu sistem, struktur, atau konstruksi buatan manusia (ASTM D 4439). Kemampuan bahan geosintetik dalam menahan gaya tarik dimanfaatkan untuk mengatasi tegangan serta deformasi pada konstruksi tanah.

Berikut merupakan langkah-langkah perencanaan perkuatan timbunan di atas tanah lunak dengan menggunakan geosintetik:

1. Menentukan kondisi pembebanan serta dimensi timbunan.
2. Menentukan kriteria penurunan timbunan serta faktor keamanan minimum.

Berikut merupakan faktor keamanan minimum yang diisyaratkan:

- a. Kapasitas daya dukung global : 1,5
- b. Stabilitas internal jangka panjang : 1,5
- c. Pergerakan lateral (gelincir) : 1,5
- d. Stabilitas geser global (rotasional) pada akhir konstruksi : 1,3
- e. Pembebanan dinamik : 1,1
- f. Kriteria penurunan timbunan : tergantung pada persyaratan proyek
3. Cek kapasitas daya dukung
 - a. Menghitung kapasitas daya dukung ultimit
 - b. Menghitung beban maksimum dengan kondisi tanpa geosintetik

$$P_{\max} = \gamma_m H + q$$

dengan,

$P_{\max}$: beban maksimum (kN/m^2)

γ_m : berat isi tanah timbunan (kN/m^3)

H : tinggi timbunan (m)

q : beban merata (kN/m^2)

- c. Menghitung faktor keamanan daya dukung (tanpa perkuatan geosintetik)

$$FK_U = \frac{q_{ult}}{P_{\max}}$$

Keterangan:

FK_U : faktor keamanan daya dukung tanpa perkuatan

q_{ult} : kapasitas daya dukung ultimit (kN/m^2)

$P_{\max}$: beban maksimum (kN/m^2)

- d. Menghitung beban maksimum pada kondisi dengan geosintetik

$$P_{\sigma vg} = \frac{(A_g \times \gamma_m) + (q \times W)}{B}$$

Keterangan:

$P_{\sigma vg}$: beban maksimum pada kondisi dengan geosintetik (kN/m^2)

A_g : luas penampang melintang timbunan (m^2)

q : beban merata (kN/m^2)

W : Lebar atas/puncak timbunan (m)

B : lebar dasar timbunan (m)

- e. Menghitung faktor keamanan daya dukung dengan perkuatan geosintetik

$$FK_R = \frac{q_{ult}}{P_{avg}}$$

Keterangan:

FK_R :faktor keamanan daya dukung dengan perkuatan geotekstil

q_{ult} :kapasitas daya dukung ultimit (kN/m^2)

P_{avg} :beban maksimum pada kondisi dengan geosintetik (kN/m^2)

- f. Solusi jika daya dukung tidak memenuhi syarat

Solusi yang bisa dilakukan jika nilai FK_R belum memenuhi syarat ($FK_R < \text{Kapasitas Daya Dukung Global}$) yaitu dengan cara memperbesar lebar dimensi pada timbunan, lalu ulangi langkah perkuatan tanah dengan geosintetik dari awal.

2.12 Stabilitas Lereng

Menurut Hardiyatmo (2014), stabilitas lereng adalah kemampuan suatu lereng dalam menahan gaya-gaya yang bekerja padanya, terutama gaya gravitasi dan gaya luar lainnya, sehingga tidak mengalami pergeseran atau kelongsoran. Stabilitas ini dinilai dari rasio antara gaya penahan (*resisting forces*) terhadap gaya penggerak (*driving forces*), yang dinyatakan dalam bentuk faktor keamanan (*safety factor*). Apabila faktor keamanan lebih besar dari satu, maka lereng dianggap dalam kondisi stabil.

2.12.1 Stabilitas Lereng metode Komputer

Analisis stabilitas lereng berbasis komputer merupakan pendekatan yang banyak digunakan dalam rekayasa geoteknik modern untuk mengevaluasi potensi kelongsoran suatu lereng secara lebih komprehensif dan efisien. Salah satu perangkat lunak yang banyak diaplikasikan dalam analisis ini adalah GeoSlope, khususnya modul Slope/W, yang dirancang untuk

melakukan analisis kestabilan lereng berdasarkan prinsip keseimbangan batas (*limit equilibrium method*).

GeoSlope menyediakan beragam metode analisis numerik seperti Fellenius, Bishop Simplified, Janbu, Spencer, hingga Morgenstern-Price, dengan kemampuan untuk mengintegrasikan data geoteknik secara detail, termasuk parameter tanah, geometri lereng, kondisi muka air tanah, serta beban luar. Aplikasi ini memfasilitasi proses iteratif dan kompleks secara otomatis, sehingga menghasilkan nilai faktor keamanan (*safety factor*) serta bidang gelincir kritis dengan tingkat akurasi yang tinggi.

Melalui visualisasi grafik dan kontur hasil analisis, GeoSlope memungkinkan pengguna untuk menginterpretasikan hasil perhitungan secara lebih informatif, serta melakukan analisis sensitivitas terhadap variasi parameter. Dengan demikian, perangkat lunak ini menjadi alat bantu yang esensial dalam pengambilan keputusan teknis terkait desain dan penanganan lereng.

2.12.2 Stabilitas Lereng metode Culmann

Metode Culmann merupakan salah satu metode grafis klasik yang digunakan dalam analisis stabilitas lereng, terutama untuk lereng tanah kering dan tanpa tekanan air pori. Metode ini pertama kali dikembangkan oleh Karl Culmann pada abad ke-19 dan didasarkan pada prinsip keseimbangan gaya dalam bidang mekanika tanah.

Menurut Hardiyatmo (2014), metode Culmann adalah pendekatan grafis yang digunakan untuk menentukan bidang gelincir kritis dan menghitung faktor keamanan terhadap kelongsoran, berdasarkan asumsi bahwa kelongsoran terjadi di sepanjang satu bidang datar.

Menurut Culmann (1875), stabilitas lereng dapat dianalisis melalui pendekatan dimana pada kondisi kritis, ketika faktor keamanan $F=1$ dan dengan mensubstitusikan $cd=c$ serta $\phi d=\phi$, maka dapat diturunkan persamaan untuk menentukan tinggi kritis lereng (H_c) sebagai berikut:

$$H_c = \frac{4cd}{\gamma} \times \frac{\sin \beta \cos \phi}{1 - \cos(\beta - \phi)}$$

dengan,

H_c = tinggi lereng kritis (m)

α = sudut longsor terhadap horisontal

β = sudut lereng tanah (derajat)

c_d = kohesi (kN/m²)

2.12.3 Stabilitas Lereng metode Simplified Bishop

Metode Bishop Simplified adalah salah satu metode keseimbangan batas yang lebih kompleks dibandingkan Fellenius, dikembangkan oleh A.W. Bishop (1955). Metode ini mempertimbangkan keseimbangan momen dan sebagian dari interaksi antar irisan, yaitu hanya gaya normal antar irisan, tanpa mempertimbangkan gaya geser antar irisan. Rumus Simplified Bishop dinyatakan sebagai berikut

$$F_s = \frac{\sum (c b_n + W_n \tan \phi) \times \frac{1}{\text{man}}}{\sum W_n \sin \alpha}$$
$$\text{man} = \cos \alpha + \frac{\tan \phi \sin \alpha}{F_s}$$

dengan,

F_s = Faktor aman

c = kohesi tanah efektif (kN/m²)

ϕ' = sudut gesek dalam tanah efektif (derajat)

b_n = lebar irisan ke-i (m)

W = berat irisan tanah ke-i (kN)

2.12.4 Stabilitas Lereng metode Fellenius

Metode Fellenius, atau dikenal juga sebagai Ordinary Method of Slices, merupakan salah satu metode keseimbangan batas (limit equilibrium method) paling sederhana yang digunakan dalam analisis stabilitas lereng. Metode ini dikembangkan oleh Wolmar Fellenius pada awal abad ke-20 dan hanya mempertimbangkan keseimbangan gaya vertikal dan horizontal pada irisan tanah, tanpa memperhitungkan gaya antar irisan.

Menurut Hardiyatmo (2014), metode Fellenius mengasumsikan bahwa bidang gelincir berbentuk lingkaran dan gaya geser antar irisan

diabaikan. Faktor keamanan (safety factor) dihitung dengan membandingkan gaya penahan terhadap gaya penggerak pada setiap irisan, kemudian dijumlahkan secara keseluruhan. Rumus Fellenius dinyatakan sebagai berikut

$$F_s = \frac{\sum Cbn + \tan \phi' \sum W \cos \alpha}{\sum W \sin \alpha}$$

dengan,

Fs = Faktor aman

c = kohesi tanah efektif (kN/m²)

φ' = sudut gesek dalam tanah efektif (derajat)

bn = lebar irisan ke-i (m)

W = berat irisan tanah ke-i (kN)