

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Klasifikasi Jalan

Klasifikasi jalan merupakan langkah penting yang perlu dilakukan sebelum memulai perencanaan geometri jalan. Selain itu, klasifikasi ini berperan dalam mengakomodasi pergerakan orang maupun barang antar kota melalui kendaraan. Dalam sistem jaringan jalan, setiap ruas harus terhubung satu sama lain guna menciptakan konektivitas yang menyeluruh. Tak kalah penting, klasifikasi jalan juga harus disesuaikan dengan hierarki dan fungsi jalannya agar pengelolaan dan pengendaliannya dapat dilakukan secara lebih efektif dan efisien.

Berdasarkan Undang-Undang Nomor 38 Tahun 2004 tentang Jalan, jalan didefinisikan sebagai sarana transportasi darat yang mencakup seluruh bagian jalan beserta bangunan pelengkap, seperti jembatan, terowongan, ponton, jalan layang, jalan bertingkat, underpass, area parkir, drainase, dinding penahan tanah, dan saluran di tepi jalan yang digunakan untuk lalu lintas dan dapat berada di atas, di bawah, atau pada permukaan tanah maupun air. Pengecualian diberikan untuk jalur transportasi khusus seperti rel kereta api, jalan lori, dan jalan kabel. Dalam pengelompokan jalan, klasifikasi biasanya didasarkan pada beberapa kategori utama yang menyesuaikan kebutuhan di masing-masing wilayah, yaitu: fungsi jalan, sistem jaringan jalan, dan status jalan.

Dalam klasifikasi berdasarkan sistem jaringan jalan, secara umum terdapat dua jenis, yaitu sistem primer dan sistem sekunder. Sistem primer merupakan jaringan jalan yang berfungsi menghubungkan antarwilayah dalam skala nasional, dengan tujuan mendukung distribusi barang dan jasa dalam rangka pengembangan di berbagai daerah. Sementara itu, sistem sekunder berperan menghubungkan wilayah dalam skala lokal atau setempat, khususnya untuk mendukung distribusi barang dan jasa dalam konteks pengembangan di kawasan perkotaan atau daerah tertentu.

Klasifikasi menurut fungsi jalan berdasarkan UU No. 34 tahun 2004 tentang jalan, secara umum terbagi menjadi 4 jenis, yaitu: jalan arteri, jalan kolektor, jalan lokal, dan jalan lingkungan. Dalam pengertian secara umum, bahwa jalan arteri

merupakan klasifikasi jalan yang mempunyai kebutuhan akses akan transportasi massal dengan volume yang besar dengan karakteristik penggunaan bepergian jarak jauh, rata-rata pengguna memacu kecepatan kendaraan tinggi, dan terdapat pembatasan jalan masuk sesuai kebutuhan pengguna jalan. Dalam hal lain secara umum, pengertian jalan kolektor merupakan klasifikasi jalan yang mempunyai kebutuhan akses akan transportasi massal dengan volume sedang sebagai penerus dari jalan arteri dengan karakteristik penggunaan bepergian jarak sedang, rata-rata pengguna memacu kecepatan kendaraan sedang, dan terdapat pembatasan jumlah jalan masuk. Dalam pengertian secara umum, pengertian jalan lokal merupakan klasifikasi jalan yang mempunyai kebutuhan akses transportasi massal dengan volume kecil sebagai penerus dari jalan kolektor dengan karakteristik penggunaan bepergian jarak dekat, rata-rata pengguna memacu kecepatan rendah dan tidak terdapat pembatasan jalan masuk. Dalam hal lain secara umum, pengertian jalan lingkungan merupakan klasifikasi jalan yang mempunyai kebutuhan akses transportasi massal dengan volume kecil sebagai penerus dari jalan lokal dengan karakteristik penggunaan jarak dekat, rata-rata pengguna memacu kecepatan rendah.

Klasifikasi jalan menurut statusnya secara umum terbagi dalam beberapa jenis, yaitu: jalan nasional, jalan provinsi, jalan kabupaten, jalan kota, dan jalan desa. Jalan nasional termasuk dalam jaringan jalan primer yang berfungsi menghubungkan antarprovinsi, serta meliputi jalan strategis nasional seperti jalan tol, jalan arteri, dan jalan kolektor. Jalan provinsi juga merupakan bagian dari jaringan primer, dengan peran menghubungkan ibu kota provinsi dengan ibu kota kabupaten atau kota, serta mencakup jalan kolektor dan jalan strategis tingkat provinsi. Sementara itu, jalan kabupaten tergolong dalam jaringan jalan primer yang menghubungkan ibu kota kabupaten dengan ibu kota kecamatan, antar kecamatan, maupun antara ibu kota kabupaten dengan pusat kegiatan lokal. Jenis jalan ini juga mencakup jalan lokal dan jalan umum dalam jaringan jalan sekunder di wilayah kabupaten, serta jalan strategis kabupaten. Adapun jalan kota termasuk dalam jaringan jalan sekunder yang berfungsi menghubungkan pusat-pusat pelayanan dalam kota, antara pusat pelayanan dan fasilitas umum, antar pusat pelayanan, serta antar kawasan permukiman di dalam kota, dan digolongkan

sebagai jalan umum. Terakhir, jalan desa merupakan jalan yang menghubungkan antarwilayah atau permukiman dalam desa, termasuk jalan umum dan jalan lingkungan.

2.2 Bagian-bagian Jalan

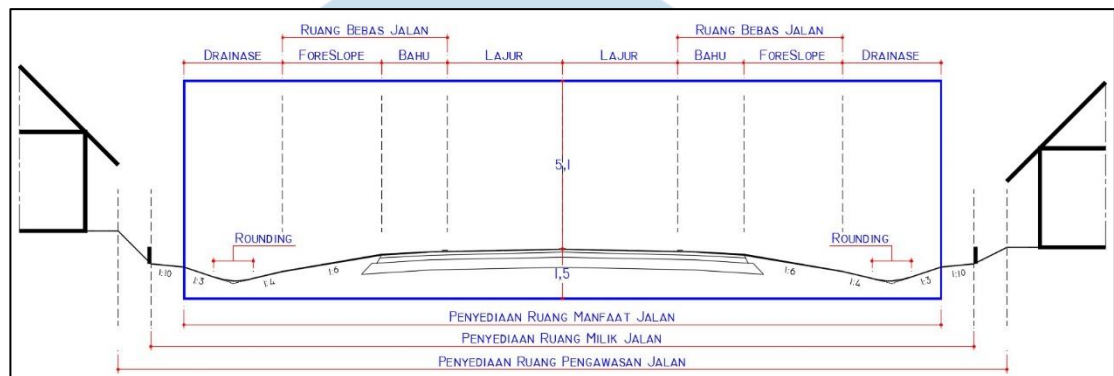
Sarana transportasi jalan raya terdiri dari beberapa komponen yang memiliki fungsi dan manfaat esensial untuk memenuhi kebutuhan para pengguna jalan. Dalam proses perencanaan jalan, perlu dilakukan peninjauan terhadap setiap bagian yang menjadi bagian dari ruas wilayah jalan yang akan dibangun. Selain itu, sesuai dengan ketentuan dalam Undang-Undang Nomor 38 Tahun 2004 tentang Jalan serta Peraturan Pemerintah Nomor 34 Tahun 2006, jalan terdiri atas tiga ruang utama, yaitu: Ruang Manfaat Jalan, Ruang Milik Jalan, dan Ruang Pengawasan Jalan.

Secara umum, Ruang Manfaat Jalan (Rumaja) merupakan area yang dibatasi berdasarkan dimensi lebar, tinggi, dan kedalaman yang ditentukan oleh instansi pengelola jalan, dengan fungsi utama untuk mendukung keberadaan konstruksi jalan. Area ini biasanya mencakup badan jalan, median, saluran drainase, serta elemen pengaman batas jalan. Untuk jalan arteri dan kolektor, standar minimum tinggi ruang bebas ditetapkan sebesar 5 meter, sedangkan kedalaman minimum ruang Rumaja diukur 1,5 meter dari permukaan jalan ke bawah, dengan mempertimbangkan kondisi lingkungan sekitar.

Secara umum, Ruang Milik Jalan (Rumija) merupakan bagian lahan dari jalan yang memiliki luas tertentu dengan batas-batas yang ditentukan secara jelas. Area ini digunakan untuk menjamin standar keselamatan bagi pengguna jalan serta mengakomodasi kebutuhan pelebaran atau pengembangan ruas jalan. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Pekerjaan Umum No. 34 Tahun 2006 Pasal 40 Ayat 1, ketentuan mengenai lebar minimum Rumija adalah: 30 meter untuk jalan bebas hambatan, 25 meter untuk jalan raya, 15 meter untuk jalan sedang, dan 11 meter untuk jalan kecil.

Secara umum, Ruang Pengawasan Jalan merupakan bagian lahan dengan luasan tertentu yang terletak di luar area Ruang Milik Jalan. Fungsi utama ruang ini adalah untuk memberikan jarak pandang yang memadai bagi pengemudi, menjaga keamanan struktur jalan, serta melindungi fungsi operasional jalan secara

keseluruhan. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Pekerjaan Umum No. 34 Tahun 2006 Pasal 44 Ayat 4, ketentuan mengenai lebar minimum ruang pengawasan yang diukur dari tepi badan jalan adalah sebagai berikut: jalan arteri primer 15 meter, jalan kolektor primer 10 meter, jalan lokal primer 7 meter, jalan lingkungan primer 5 meter, jalan arteri sekunder 15 meter, jalan kolektor sekunder 5 meter, jalan lokal sekunder 3 meter, dan jalan lingkungan sekunder 2 meter. Contoh bagian-bagian jalan tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Ruang Jalan pada Tipikal 2/2-TT
(Sumber: Gambar Standar Pekerjaan Jalan & Jembatan, Bina Marga, 2021)

2.3 Parameter Perancangan Geometrik

Parameter dalam perancangan geometrik jalan merujuk pada elemen fisik dan desain jalan yang berperan penting dalam memengaruhi kenyamanan penggunaan, efisiensi operasional, serta keselamatan lalu lintas. Adapun beberapa aspek utama yang perlu diperhatikan dalam perencanaan geometrik jalan antara lain sebagai berikut:

2.3.1 Kendaraan Desain

Kendaraan desain merupakan jenis kendaraan yang digunakan sebagai standar acuan dalam perencanaan geometrik jalan, berdasarkan dimensi serta radius putarnya. Parameter yang dijadikan referensi mencakup ukuran fisik kendaraan, kemampuan manuver saat berbelok, serta bagian kendaraan yang menonjol keluar saat berbelok. Selain itu, kendaraan desain juga mempertimbangkan jarak pandang pengemudi untuk memperkirakan kebutuhan ruang dari masing-masing tipe kendaraan. Tabel 2.1 memuat klasifikasi kendaraan rencana yang digunakan dalam perencanaan geometrik jalan, sebagaimana dijelaskan berikut ini,

Tabel 2. 1 Dimensi Kendaraan sesuai dengan kelas Jalan

No	Jenis-jenis Kendaraan	Dimensi kendaraan			Jarak Antar Sumbu	Jalur		RPM	RPK	R _{maks}	R _{min} pada sudut belok kendaraan				
		Panjang	Lebar	Tinggi		Depan	Belakang				25°	45°	90°	135°	180°
Jenis-jenis kendaraan, berdasarkan dimensi, yang dapat beroperasi pada jalan kelas 1, 2, dan 3															
1	Toyota Avanza	4,19	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	Toyota Hiace	5,38	1,88	2,29	3,11	1,07	1,20	6,44	5,61	6,95	4,30	4,09	3,91	3,91	3,70
3	Isuzu ELF NLR 55 BLX	6,17	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
4	Truk Pemadam Kebakaran 2"	7,73	2,40	-	4,28	1,25	2,20	7,77	6,66	8,31	4,90	4,60	4,32	4,19	3,95
5	Bus Angkutan Masal Sedang*	7,30	2,15	3,15	3,74	1,24	2,33	6,80	5,81	7,35	4,28	3,98	3,65	3,55	3,41
6	Bus Mitsubishi Kecil	7,05	2,10	3,30	3,78	1,48	2,00	6,86	5,88	7,52	4,37	4,07	3,76	3,64	3,50
7	Bus Sedang Mitsubishi FE84GBQ(4x2)*	7,68	2,10	3,05	3,85	1,48	2,35	7,00	5,99	7,73	4,44	4,16	3,82	3,71	3,59
8	Truk Hino 500 Cargo FG 280 JLM (T1.2)	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
9	Truk Isuzu Giga FVR 34 S 245 PS (T1.2)	7,60	2,49	2,97	4,30	1,25	2,05	7,69	6,69	8,38	4,89	4,59	4,25	4,10	3,92
Jenis-jenis kendaraan, berdasarkan dimensi, yang dapat beroperasi pada jalan kelas 1 dan 2															
10	Truk Pemadam Kebakaran 1"	9,93	2,49	-	4,60	1,40	2,48	9,31	8,17	9,93	6,24	5,89	5,46	5,36	5,08
11	Bus angkutan massal ukuran besar*	11,95	2,50	3,50	6,00	2,46	3,48	10,53	9,33	11,65	7,36	6,89	6,30	6,20	5,99
12	Truk Hino 500 Cargo FL 245 JW (T1.22)	11,95	2,49	2,78	5,83+1,35	1,28	3,49	11,11	10,06	11,83	8,03	7,60	7,08	6,83	6,59
13	Truk Isuzu Giga FVR 34 U (T1.2)	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
Jenis-jenis kendaraan, berdasarkan dimensi, yang dapat beroperasi pada jalan kelas 1															
14	Bus Besar	12,10	2,50	3,40	5,80	2,90	3,40	10,23	9,03	11,57	7,05	6,61	6,13	5,95	5,74
15	Truk Gandengan Hino 5 sumbu (T1.22+2.2)	16,80	2,50	2,50	3,20-7,50-1,40-1,40	1,70	3,70	11,37	10,13	11,75	7,53	6,70	5,79	4,54	3,89
16	Truk Gandengan Hino 4 sumbu (T1.2+2.2)	16,20	2,51	3,10	4,30-5,20-1,30	1,20	2,40	11,04	9,81	11,64	7,52	6,94	6,48	5,84	5,37
17	Truk Tempelan Hino 6 sumbu (T1.22+2.22)	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
Sumber: Lawafata dan Rahman, 2020															
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 _{maks} - Radius putar badan kendaraan depan terluar															

(Sumber: Pedoman Desain Geometrik Jalan, Dirjen Bina Marga, 2021)

2.3.2 Kecepatan Desain

Kecepatan desain (VD) merupakan kecepatan yang dijadikan dasar dalam perencanaan jalan, dengan asumsi bahwa kendaraan dapat melaju secara aman dan nyaman dalam kondisi ideal, seperti cuaca cerah, arus lalu lintas lancar, dan minim gangguan dari sisi jalan. Dalam perencanaan geometrik, nilai kecepatan desain ditentukan berdasarkan klasifikasi jalan dan karakteristik medannya. Tabel 2.2 berikut menyajikan contoh Sistem Jaringan Jalan (SJJ), fungsi, status, kelas, serta SPPJ primer beserta tipe jalan dan rentang nilai kecepatan desain yang digunakan.

Tabel 2. 2 Pembagian SJJ, Fungsi, Status, Kelas, dan SPPJ Primer

SJJ	Peran menghubungkan	Pengelompokan fungsi Jalan	Status dan Penyelenggara jalan	Kelas jalan			SPPJ	Tipe jalan (paling kecil)	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 Antarkota)	Jalan Tol	Jalan Arteri Primer	Jalan Nasional (Pemerintah Pusat)	X	-	-	JBH	4/2-T	80 - 120	70 - 110	60 - 100	-IKN=Ibu Kota Negara
	IKP - IKN		Jalan Nasional (Jalan Perintis dan Ex jalan daerah)	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		Jalan Kolektor Primer	-	-	X	JLR	2/2-TT	15 - 60	15 - 50	15 - 40	-KT=Kota
	IKP - IKP			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			-	-	X	JLR	2/2-TT				-DS=Desa (di pulau Jawa seperti Dukuh)
	IKK - IKK	Jalan Lokal Primer	Jalan Provinsi (Pemerintah Provinsi)	X	X	X	JSD	2/2-TT	40 - 80	30 - 70	20 - 60	-KP=Kawasan Primer
	KT - KT		Jalan Kabupaten (Pemerintah Kabupaten)	X	X	X	JSD	2/2-TT				-KS1=Kawasan Sekunder1
	IKK - IKC			-	X	X	JSD	2/2-TT				-KS2=Kawasan Sekunder2
	IKK - PD			-	X	X	JSD	2/2-TT				-KS3=Kawasan Sekunder3
	IKC - IKC			-	-	X	JKC	2/2-TT	20 - 60	20 - 50	20 - 40	-KS=Kawasan Sekunder ke-n;
	IKC - PD			-	-	X	JKC	2/2-TT				-Prm=Perumahan/Persil
	PD - PD			-	-	X	JLR	2/2-TT				-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
	PD - DS			-	-	X	JLR	1/2	15 - 30	15 - 30	15 - 30	
	DS - DS	Jalan Lingkungan Primer		-	-	X	JLR	1/2				

(Sumber: Pedoman Desain Geometrik Jalan, Dirjen Bina Marga, 2021)

Tabel 2.3 berikut menyajikan contoh Sistem Jaringan Jalan (SJJ) sekunder yang mencakup fungsi, status, kelas, serta SPPJ sekunder, lengkap dengan tipe jalan dan rentang kecepatan desain (VD) yang digunakan sebagai acuan dalam perencanaan geometrik,

Tabel 2. 3 Pembagian SJJ, Fungsi, Status, Kelas, dan SPPJ Sekunder

SJJ	Peran meng- hubungkan	Pengelompokan fungsi Jalan	Status dan Penyelenggara jalan	Kelas jalan			SPPJ	Tipe jalan <i>(paling kecil)</i>	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 (Pemerintah Pusat)	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 Kota (Pemerintah Kota)	x	x	x	JSD	2/2-TT	30 - 60				
	KS1 – KS1			x	x	x	JSD	2/2-TT					
	KS1 – KS2	Jalan Kolektor Sekunder		-	x	x	JSD	2/2-TT					
	KS2 – KS2			-	x	x	JSD	2/2-TT	20 - 40				
	KS2 – KS3	Jalan Lokal Sekunder		-	x	x	JSD	2/2-TT					
	KS1 – Prm			-	-	x	JKC	2/2-TT					
	KS2 – Prm	Jalan Lokal Sekunder		-	-	x	JKC	2/2-TT	10 - 30				
	KS3 – Prm			-	-	x	JKC	2/2-TT					
	KSn – Prm	Jalan Lingkungan Sekunder		-	-	x	JLR	2/2-TT					
Prm - Prm	-			-	x	JLR	2/2-TT	10 - 20					

(Sumber: Pedoman Desain Geometrik Jalan, Dirjen Bina Marga, 2021)

2.3.3 Volume Lalu Lintas

Volume Lalu Lintas Harian Rata-Rata (VLHR) merupakan estimasi jumlah kendaraan yang melintasi suatu titik pengamatan lalu lintas dalam satu hari,

dinyatakan dalam satuan mobil penumpang per satuan waktu (hari, jam, atau menit). Data volume lalu lintas ini menjadi faktor krusial dalam menentukan jumlah dan lebar lajur jalan yang akan direncanakan. Adapun berikut ini merupakan satuan-satuan yang digunakan dalam perhitungan volume lalu lintas:

a. Satuan Mobil Penumpang (SMP)

Satuan mobil penumpang adalah angka satuan kendaraan dalam hal kapasitas jalan, dari berbagai tipe kendaraan telah diubah menjadi kendaraan ringan (termasuk mobil penumpang) dengan menggunakan ekivalen mobil penumpang.

b. Ekivalen Mobil Penumpang (EMP)

Nilai faktor konservasi mencerminkan perbandingan antara jenis kendaraan tertentu dengan mobil penumpang atau kendaraan ringan lainnya, berdasarkan dampaknya terhadap perilaku lalu lintas. Rentang nilai ekivalen berbagai jenis kendaraan pada tipe jalan 2/2 – TT (dua lajur dua arah tak terbagi) dapat dilihat pada Tabel 2.4 berikut ini,

Tabel 2. 4 EMP untuk tipe jalan 2/2 - TT

Tipe Jalan	Volume Lalu lintas	EMP_{KS}	EMP_{SM}	
	Total dua arah (kend/jam)		Lajur ≤ 6 m	Lajur > 6 m
2/2 - TT	< 1800	1.3	0.5	0.4
	≥ 1800	1.2	0.35	0.25

(Sumber: Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia, Dirjen Bina Marga, 2023)

Adapun rentang nilai besaran ekivalen berbagai mobil dengan tipe jalan berbagi dengan beberapa lajur pada Tabel 2.5, sebagai berikut

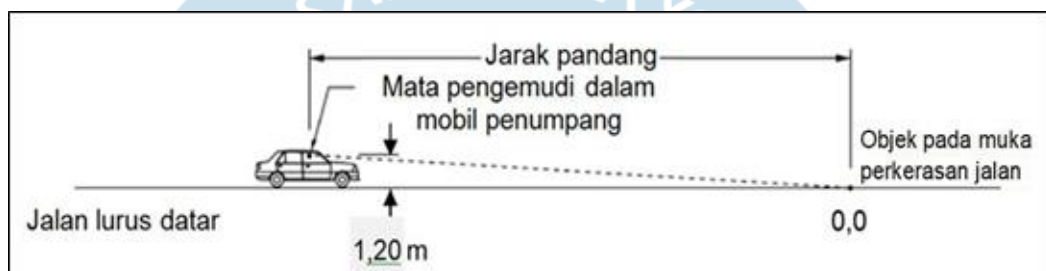
Tabel 2. 5 EMP untuk berbagai tipe jalan

Tipe Jalan	Volume Lalu lintas	EMP_{KS}	EMP_{SM}
	Total dua arah (kend/jam)		
4/2 - TT atau 2/1	< 1050	1.3	0.4
	≥ 1050	1.2	0.25
6/2 - T atau 3/1	< 1100	1.3	0.4
8/2 - T atau 4/1	≥ 1100	1.2	0.25

(Sumber: Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia, Dirjen Bina Marga, 2023)

2.3.4 Jarak Pandang

Kemudahan pandangan pengemudi terhadap kondisi jalan di depan merupakan aspek penting yang harus dipenuhi dalam perancangan geometrik jalan. Jika terjadi halangan di depan pengendara yang membahayakan, pengendara diharuskan untuk mampu menghindari dan dapat mengendalikan kendaraan pada posisi yang aman. Jarak pandang adalah jarak yang mencukupi bagi kendaraan di kecepatan desainnya dan berhenti pada posisi yang tepat sebelum mendekati objek halangan yang berada pada jalur yang dilalui oleh pengendara. Adapun Gambar 2.2 mengenai kendaraan dalam posisi yang aman untuk jarak pandang depan, sebagai berikut.



Gambar 2. 2 Jarak Pandang

(Sumber: Pedoman desain geometrik jalan, Dirjen Bina Marga, 2021)

Dalam perencanaan geometrik jalan, terdapat empat jenis jarak pandang yang diklasifikasikan berdasarkan fungsinya, dan masing-masing digunakan sesuai dengan kebutuhan pada setiap segmen trase jalan yang dirancang.

1. Jarak Pandang Henti

Jarak pandang henti (*stopping sight distance*) merupakan suatu ukuran minimum jarak kendaraan yang dibutuhkan setiap pengendara untuk menghentikan kendaraannya dalam keadaan aman ketika terdapat halangan yang terlihat oleh pengendara. Jarak pandang henti diukur berdasarkan asumsi tinggi mata pengemudi dan tinggi objek halangan yang berada di depan. Kondisi topografi medan jalan menjadi pengaruh yang besar dalam menentukan suatu nilai besaran pada suatu perencanaan jalan.

2. Jarak Pandang Mendahului

Jarak pandang mendahului (*passing sight distance*) merupakan ukuran minimum panjang ruas jalan yang harus terlihat oleh pengemudi untuk

memungkinkan melakukan manuver mendahului kendaraan di depannya, serta kembali ke lajur semula dengan aman tanpa mengganggu arus lalu lintas dari arah berlawanan. Penentuan jarak ini mengacu pada asumsi standar, yaitu tinggi mata pengemudi sebesar 120 cm dan tinggi objek halangan di jalan juga sebesar 120 cm. Persamaan yang digunakan untuk menghitung jarak pandang mendahului adalah sebagai berikut:

$$J_{PM} = d_1 + d_2 + d_3 + d_4$$

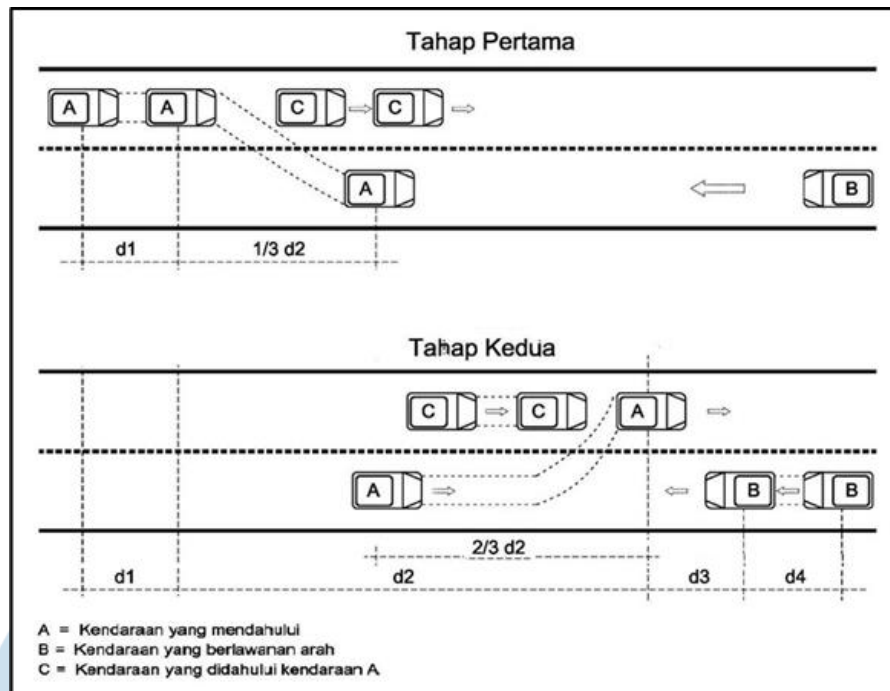
J_{PM} = Panjang lintasan yang dilalui untuk mendahului (m).

d_1 = Panjang lintasan yang dilalui kendaraan selama waktu reaksi pengemudi (m).

d_2 = Panjang lintasan yang dilalui kendaraan selama proses mendahului hingga kembali ke lajur semula secara aman (m).

d_3 = Jarak aman yang tersisa antara kendaraan yang telah menyelesaikan manuver mendahului dengan kendaraan dari arah berlawanan (m).

d_4 = Panjang lintasan yang dilalui oleh kendaraan dari arah berlawanan selama manuver mendahului berlangsung, yang secara umum ditetapkan sebesar $\frac{2}{3}$ dari jarak tempuh kendaraan yang mendahului ($\frac{2}{3} d_2$) (m). Adapun Gambar 2.3 mengenai kendaraan bermanuver mendahului kendaraan yang berada di depannya, sebagai berikut.



Gambar 2. 3 Jarak pandang mendahului

(Sumber: Pedoman desain geometrik jalan, Dirjen Bina Marga, 2021)

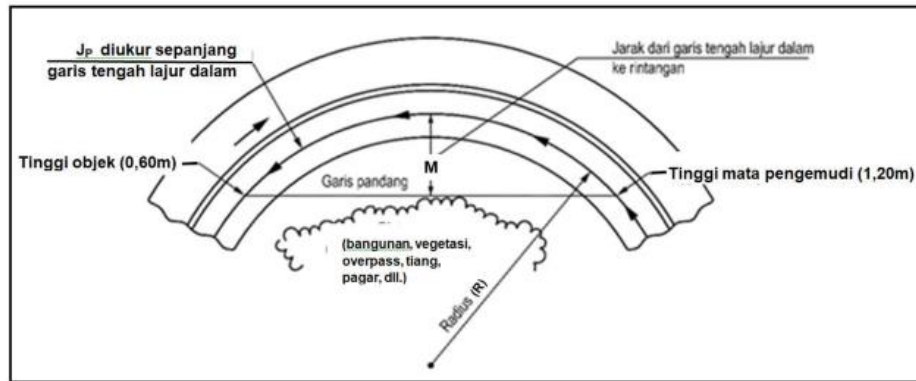
3. Jarak Pandang Aman

Jarak pandang aman merupakan suatu ukuran jarak pandang yang dibutuhkan pengemudi dalam mengamati keadaan secara kompleks, informasi yang dibutuhkan, kondisi yang membahayakan, pemilihan kecepatan kendaraan dan lajur, dan kemampuan kendaraan dalam bermanuver secara aman. Jarak pandang aman diharuskan memiliki ukuran yang lebih panjang dibandingkan jarak pandang henti, dikarenakan pengemudi memiliki kebutuhan yang lebih dari pada umumnya. Dalam ketentuan yang ada jarak pandang aman harus terpenuhi pada berbagai lokasi yang membutuhkan kendaraan untuk bermanuver, seperti persimpangan jalan, perubahan potongan melintang di plaza tol, area perhatian khusus bagi pengemudi, seperti lalu lintas yang padat, alat pengatur lalu-lintas, dan gambar iklan.

4. Jarak Bebas Samping pada Tikungan

Jarak bebas samping pada tikungan adalah ruang pandang yang diperlukan oleh pengemudi untuk dapat melihat kendaraan lain yang berada di sisi luar tikungan. Jarak pandang ini harus memiliki panjang minimal yang setara

dengan jarak pandang henti guna menjamin keselamatan berkendara. Ilustrasi mengenai ruang bebas samping di tikungan dapat dilihat pada Gambar 2.4 berikut ini.



Gambar 2. 4 Ruang Bebas Samping Tikungan

(Sumber: Pedoman desain geometrik jalan, Dirjen Bina Marga, 2021)

Dalam pedoman geometrik jalan yang berlaku, terdapat beberapa nilai yang ditentukan sebagai acuan dalam mengatur jarak bebas samping. Adapun Tabel 2.6 yang menyatakan dalam menentukan nilai M sebagai jarak dari garis tengah ke lajur dalam dengan menyesuaikan kecepatan desain yang direncanakan, sebagai berikut.

Tabel 2. 6 Nilai M pada jarak pandang bebas samping

VD (Km/Jam)		20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
JPH (m)		19	32	48	65	86	108	133	161	190	223	257
Radius (m)	5000										1,24	2,75
	3000									1,50	2,07	2,75
	2000								1,62	2,26	3,11	4,13
	1500							1,47	2,16	3,01	4,14	5,50
	1200							1,84	2,70	3,76	5,18	6,87
	1000						1,46	2,21	3,24	4,51	6,21	8,25
	800						1,82	2,76	4,05	5,63	7,76	10,30
	600					1,54	2,43	3,68	5,39	7,51	10,33	13,71
	500					1,85	2,91	4,42	6,47	9,00	12,38	
	400					2,31	3,64	5,52	8,07	11,23		
	300				1,76	3,08	4,85	7,34				
	250				2,11	3,69	5,81	8,79				
	200			1,44	2,64	4,61	7,25					
	175			1,64	3,01	5,26	8,27					

150			1,92	3,51	6,12					
140			2,05	3,76	6,55					
130			2,21	4,04	7,05					
120			2,39	4,37	7,62					
110			2,61	4,77	8,30					
100		1,28	2,87	5,24						
90		1,42	3,18	5,81						
80		1,59	3,57	6,51						
70		1,82	4,07	7,41						
60		2,12	4,74							
50		2,54	5,65							
40	1,12	3,16								
30	1,49	4,17								
20	2,21									

(Sumber: Pedoman desain geometrik jalan, Dirjen Bina Marga, 2021)

Tabel di atas memuat nilai-nilai yang berasal dari radius lengkung horizontal, jarak pandang henti (JPH), serta jarak ruang bebas samping di tikungan yang dibutuhkan agar pengemudi dapat melihat objek dalam jarak pandang hentinya secara aman. Parameter ini sangat penting dalam perencanaan geometrik jalan, khususnya pada wilayah dengan kontur perbukitan.

2.4 Alinemen Horizontal

Alinemen horizontal merupakan suatu bentuk jalan secara mendatar yang terdiri dari bagian yang lurus, perubahan terhadap lengkung peralihan atau tanpa lengkung peralihan, dan perubahan jalan yang membentuk lengkung busur. Dalam melakukan perencanaan geometri terkait alinemen horizontal ditentukan radius lengkungan yang dapat menyesuaikan kenyamanan pengendara ketika melaju kecepatan pada bagian lurus. Dalam hal ini, juga disesuaikan dengan kondisi topografi yang memungkinkan melakukan perubahan pada lengkung horizontal yang lebih ideal untuk dilanjutkan sebagai jalan raya. Sehingga, perencanaan desain alinemen horizontal harus mempertimbangkan berbagai faktor seperti visibilitas, kecepatan lalu lintas, dan keselamatan pengendara.

2.4.1 Radius Tikungan

Dalam melakukan perancangan geometrik jalan diperlukan tikungan yang aman dan nyaman untuk dilalui oleh pengendara. Perhitungan kemiringan pada saat

tikungan menjadi unsur yang harus diperhatikan. Dalam hal ini, kemiringan yang dimaksud adalah nilai superelevasi (e). Nantinya, perlu dipersiapkan kecepatan desain (V_D) dan beberapa faktor lain yang mempengaruhi dalam menentukan radius tikungan yang direncanakan. Berikut adalah Tabel 2.7 yang mengacu pada radius tikungan dan nilai superelevasi berdasarkan masing-masing kecepatan desain,

Tabel 2. 7 Penentuan Radius Tikungan & Superelevasi

	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	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h
e (%)	R (m)	R (m)	R (m)	R (m)	R (m)	R (m)	R (m)	R (m)	R (m)	R (m)	R (m)	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

2.4.2 Panjang bagian Jalan Lurus

Panjang segmen jalan lurus merupakan salah satu aspek penting yang berkaitan langsung dengan keselamatan pengemudi. Jalan lurus yang terlalu panjang dapat mendorong pengendara untuk melaju dalam kecepatan tinggi secara terus-menerus,

yang pada akhirnya meningkatkan kebutuhan akan konsentrasi tinggi dan berpotensi menyebabkan kelelahan atau rasa kantuk. Oleh karena itu, dalam merancang panjang jalan lurus, perlu dipertimbangkan beberapa faktor berikut:

- Sorotan lampu kendaraan dari arah berlawanan pada malam hari dapat menyebabkan gangguan penglihatan bagi pengemudi, terutama jika panjang jalan lurus kurang dari 3.000 meter.
- Pada jarak lebih dari 2.500 meter, pengemudi cenderung kesulitan dalam memperkirakan kecepatan kendaraan dari arah berlawanan.
- Pengemudi dapat mengalami silau akibat paparan sinar matahari saat pagi atau sore hari, terutama pada jalan yang memiliki sumbu alinyemen mengarah ke timur atau barat.

Sehingga dari beberapa hal diatas, ditentukan panjang bagian lurus maksimum dari Tabel 2.8, sebagai berikut.

Tabel 2. 8 Panjang Bagian Lurus Jalan

Fungsi	Panjang Bagian Lurus Maksimum (m)		
	Datar	Perbukitan	Pegunungan
Arteri	3000	2500	2000
Kolektor	2000	1750	1500

(Sumber: Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota, Dirjen Bina Marga, 1997)

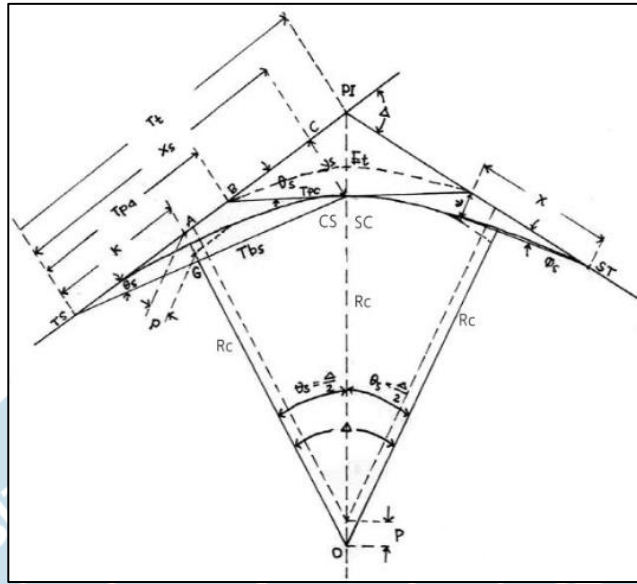
2.4.3 Jenis Tikungan

Dalam perencanaan geometrik jalan, khususnya pada alinemen horizontal, terdapat beberapa jenis tikungan yang digunakan sebagai acuan dalam menentukan bentuk trase jalan. Jenis-jenis tikungan tersebut mencakup *spiral-spiral* (SS), *spiral-circle-spiral* (SCS), dan *full-circle* (FC). Penjelasan masing-masing jenis tikungan disajikan sebagai berikut:

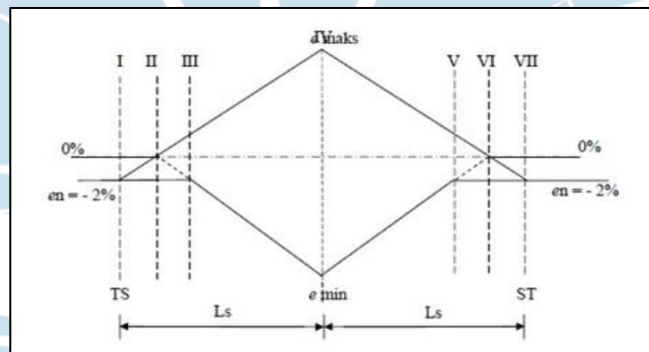
- Tikungan *spiral-spiral* (SS)

Spiral-spiral Merupakan jenis tikungan yang mempunyai dua lengkung spiral dengan sudut tangen (Δ) yang sangat besar. Titik SC dan CS berada pada kondisi yang berhimpit, dikarenakan tidak terdapat busur lingkaran pada lengkung. Berikut adalah gambaran jenis tikungan *spiral-spiral* dan diagram

superelevasinya yang dapat dilihat pada Gambar 2.5 dan Gambar 2.6,



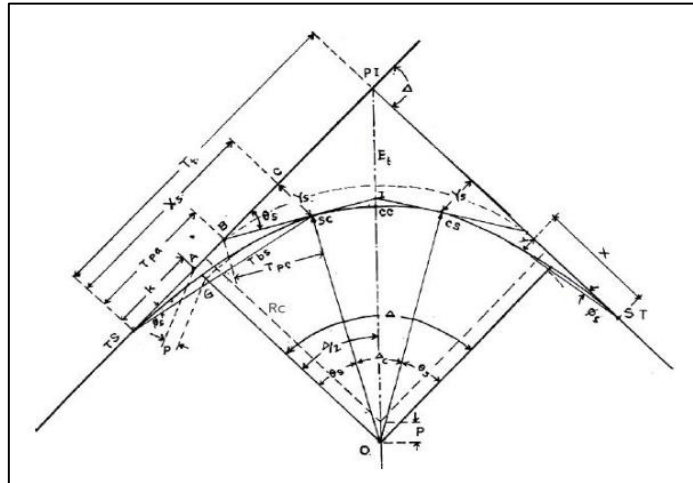
Gambar 2. 5 Tikungan *Spiral-spiral* (S-S)



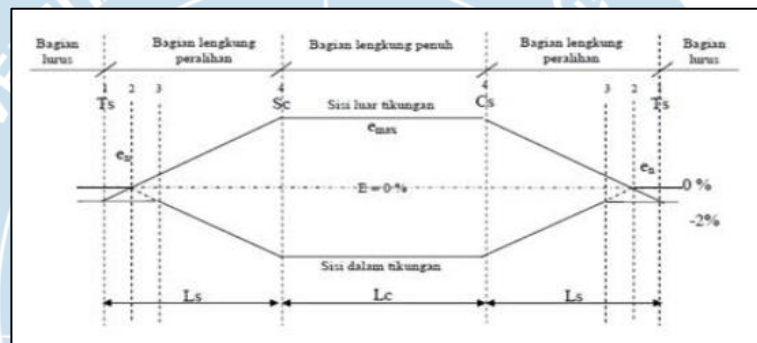
Gambar 2. 6 Diagram Superelevasi *Spiral-spiral* (S-S)

b. Tikungan *spiral-circle-spiral* (S-C-S)

Spiral-circle-spiral merupakan tikungan yang mempunyai satu lengkung circle dan dua lengkung spiral yang memiliki jari-jari serta besar sudut tangen (Δ) sedang. Hal ini difungsikan untuk mengatur perubahan alinemen jalan dari lurus hingga bagian lengkung jalan sampai berjari-jari tetap. Berikut adalah gambaran jenis tikungan *Spiral-circle-spiral* dan diagram superelevasinya yang dapat dilihat pada Gambar 2.7 dan Gambar 2.8,



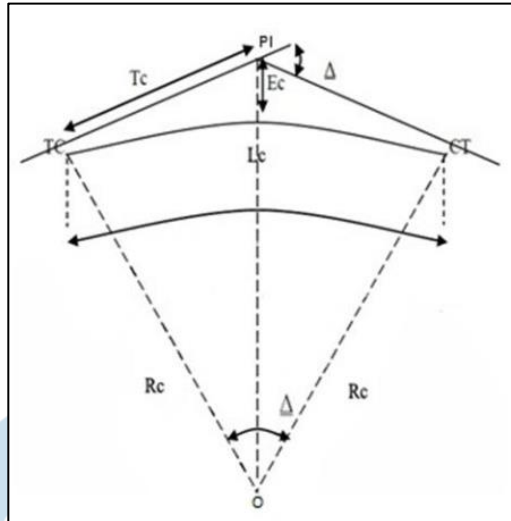
Gambar 2. 7 Tikungan *spiral-circle-spiral* (S-C-S)



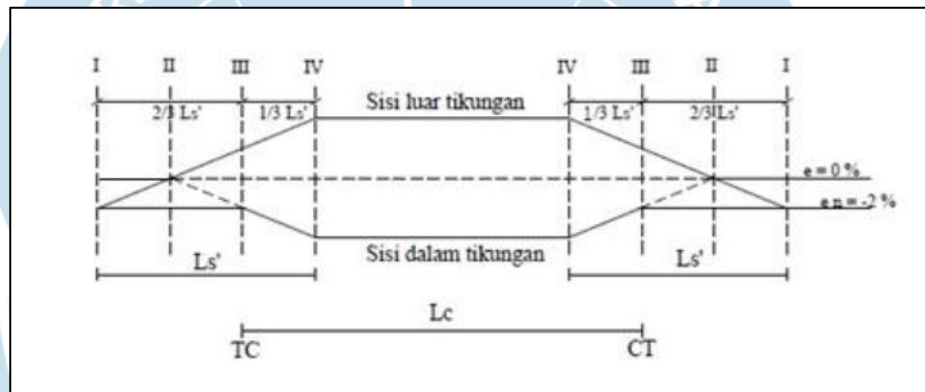
Gambar 2. 8 Diagram Superelevasi *spiral-circle-spiral* (S-C-S)

c. Tikungan *full-circle* (F-C)

Full-circle merupakan tikungan yang mempunyai busur lingkaran penuh dan nilai superelevasi dan jari-jari bernilai besar. Hal ini difungsikan untuk tidak terjadi lengkung yang dipatahkan. Pada jenis tikungan ini tidak membutuhkan lengkung peralihan (L_s). Berikut adalah gambaran jenis tikungan *full-circle* dan diagram superelevasinya yang dapat dilihat pada Gambar 2.9 dan Gambar 2.10,



Gambar 2. 9 Tikungan *full-circle* (F-C)



Gambar 2. 10 Diagram Superelevasi *full-circle* (F-C)

2.5 Alinemen Vertikal

Alinemen vertikal merupakan suatu bentuk segmen dengan kelandaian memanjang dan lengkung vertikal pada profil sepanjang trase jalan. Profil jalan dalam alinemen vertikal mempertimbangkan berupa topografi, desain alinemen, pekerjaan tanah, dan lain sebagainya. Dalam alinemen vertikal, topografi dibedakan menjadi beberapa kategori, seperti: datar, bukit, dan pegunungan. Perencanaan geometri pada trase jalan Protelon Ngondo Dos s/d Wedi Ombo Lagoon topografi dikategorikan sebagai perbukitan, sehingga dilakukan penyesuaian terhadap alinemen vertikal dan alinemen horizontal, terutama pada kondisi lereng curam. Sehingga, perencanaan desain alinemen vertikal diharuskan memperhatikan beberapa hal, seperti: topografi eksisting, kondisi geoteknis, jarak pandang, ruang bebas vertikal, dan lain sebagainya.

2.5.1 Kelandaian Memanjang Minimum

Kelandaian memanjang minimum merupakan salah satu aspek penting dalam perencanaan dan desain geometri jalan raya. Konsep ini berkaitan dengan batas minimum kemiringan yang perlu diperhatikan untuk memastikan kondisi jalan tetap ideal dalam berbagai aspek fungsional. Penentuan kelandaian ini disesuaikan dengan kebutuhan desain, seperti sistem drainase. Meskipun jalan yang relatif datar cenderung memberikan aliran air permukaan yang baik, kemiringan melintang tetap harus cukup agar air dapat mengalir secara lateral. Tabel 2.9 berikut menyajikan nilai kelandaian minimum yang harus dipenuhi dalam perancangan geometri jalan.

Tabel 2. 9 Kelandaian Memanjang Minimum

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

(Sumber: Pedoman Desain Geometrik Jalan, Dirjen Bina Marga, 2021)

2.5.2 Kelandaian Memanjang Maksimum

Kecepatan kendaraan pada suatu ruas jalan umumnya dirancang agar memiliki kecepatan operasi yang seragam. Namun, dalam merancang kelandaian memanjang maksimum, aspek keselamatan dan kenyamanan pengemudi harus menjadi perhatian utama, terutama bagi kendaraan berat seperti truk bermuatan yang memerlukan tenaga mesin maksimal saat melewati area jalan dengan kontur perbukitan atau pegunungan. Selain itu, klasifikasi jenis lalu lintas di wilayah tersebut juga perlu ditentukan agar dapat disesuaikan dengan kebutuhan perencanaan jalan. Tabel 2.10 berikut ini digunakan sebagai acuan dalam menetapkan nilai kelandaian berdasarkan jenis lalu lintas yang direncanakan.

Tabel 2. 10 Kelandaian Maksimum

SPPJ	Kelandaian Maksimum (%)		
	Medan Datar	Medan Bukit	Medan Gunung
JBH	4	5	6

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

(Sumber: Pedoman Desain Geometrik Jalan, Dirjen Bina Marga, 2021)

2.5.3 Panjang Kelandaian Kritis

Panjang kelandaian kritis merujuk pada panjang maksimum suatu tanjakan di mana kendaraan, khususnya kendaraan berat, masih dapat melaju tanpa mengalami penurunan kecepatan yang signifikan saat melewati kemiringan tertentu. Kelandaian atau gradien sendiri menggambarkan tingkat kemiringan jalan yang biasanya dinyatakan dalam persentase. Penentuan panjang kelandaian kritis dilakukan dengan mempertimbangkan toleransi pengurangan kecepatan pada truk, yaitu antara 15 km/jam hingga 25 km/jam. Tabel 2.11 berikut menyajikan data mengenai panjang kelandaian kritis yang dijadikan acuan dalam perencanaan.

Tabel 2. 11 Panjang Kelandaian Kritis

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

(Sumber: Pedoman Desain Geometrik Jalan, Dirjen Bina Marga, 2021)

2.5.4 Lengkung Vertikal

Lengkung vertikal merupakan transisi bertahap antara dua kelandaian berbeda yang dirancang untuk meningkatkan kenyamanan dan keselamatan pengemudi saat melintasinya. Dalam perencanaannya, terdapat sejumlah pertimbangan yang harus diperhatikan agar lengkung vertikal memenuhi kriteria ideal, seperti mengikuti kontur tanah alami, meminimalkan pekerjaan tanah, mempertahankan estetika

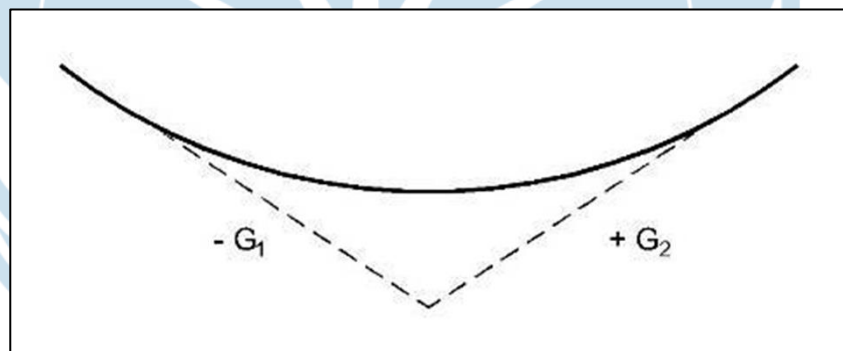
jalan, menjamin keselamatan, memenuhi kebutuhan drainase, serta memperhatikan batas maksimum dan minimum kelengkungan. Jenis-jenis lengkung vertikal diklasifikasikan berdasarkan posisi titik perpotongan antara dua garis lurus (tangen), sebagaimana dijelaskan berikut ini:

1. Lengkung vertikal cekung merupakan jenis lengkung di mana titik perpotongan antara dua garis tangen berada di bawah permukaan jalan. Desain lengkung ini mempertimbangkan empat kriteria utama untuk menentukan panjangnya, yaitu:

- a. Kenyamanan pengemudi
- b. Efek silau dari sorotan lampu kendaraan
- c. Pengendalian aliran air untuk drainase

Aspek visual atau estetika jalan

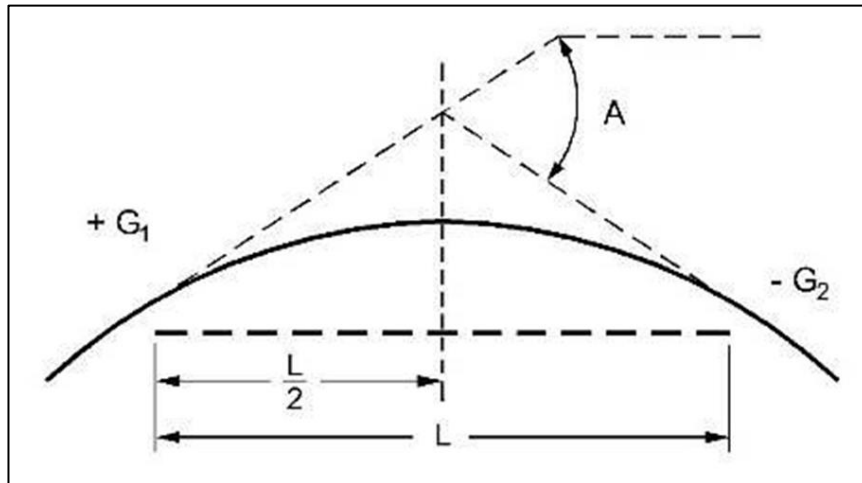
Ilustrasi dari bentuk lengkung vertikal cekung dapat dilihat pada Gambar 2.11 berikut ini.



Gambar 2. 11 Lengkung Vertikal Cekung

(Sumber: Pedoman Desain Geometrik Jalan, Dirjen Bina Marga, 2021)

2. Lengkung vertikal cembung merupakan jenis lengkung di mana titik perpotongan antara dua garis tangen terletak di atas permukaan jalan. Panjang minimum lengkung vertikal cembung ditentukan berdasarkan nilai perubahan kelandaian (A) yang mampu memberikan jarak pandang henti (JPH) minimum sesuai dengan kecepatan desain (VD) yang direncanakan. Ilustrasi mengenai hubungan ini dapat dilihat pada Gambar 2.12.

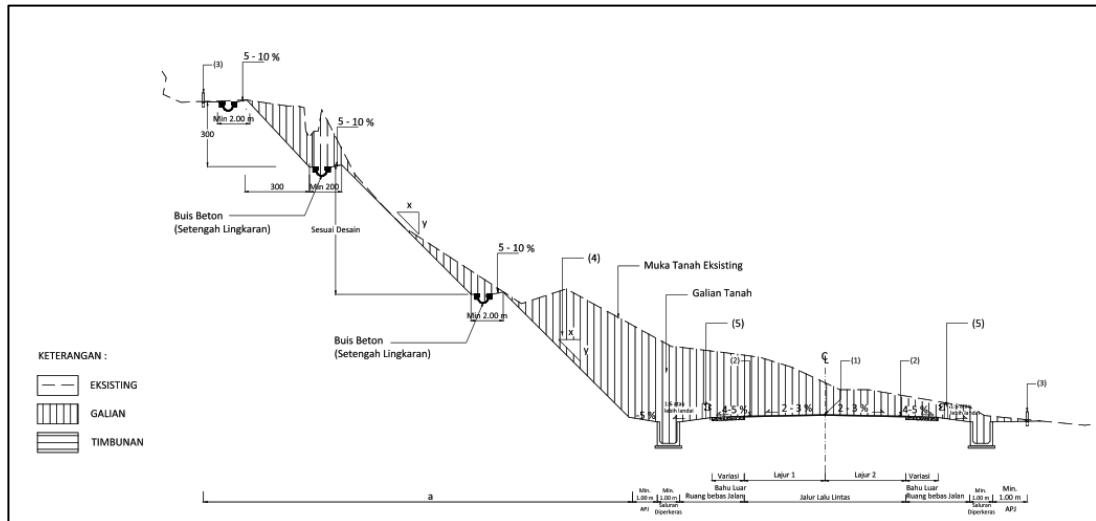


Gambar 2. 12 Lengkung Vertikal Cembung

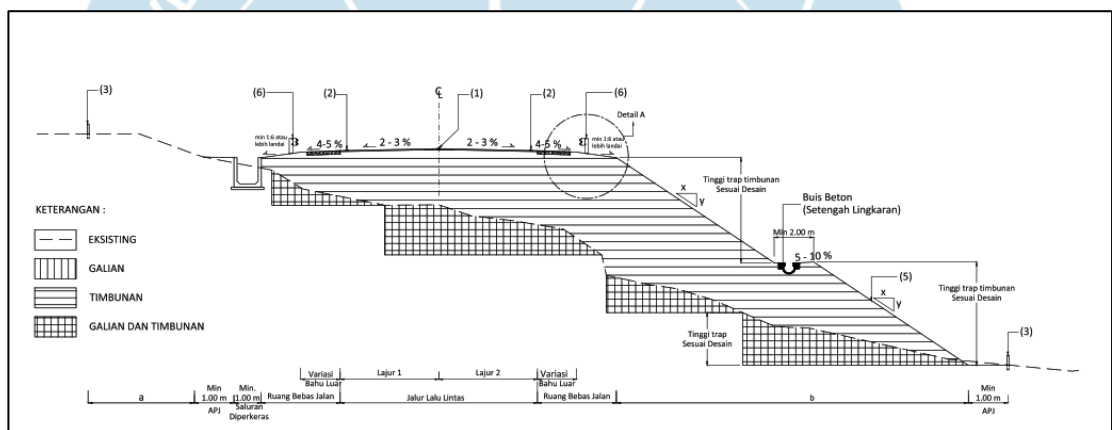
(Sumber: Pedoman Desain Geometrik Jalan, Dirjen Bina Marga, 2021)

2.6 Pekerjaan Tanah

Pekerjaan tanah merupakan bagian penting dalam konstruksi jalan, yang mencakup aktivitas penggalian (*cutting*) dan penimbunan (*filling*). Dalam proses perencanaan, upaya untuk meminimalkan volume total galian dan timbunan menjadi hal yang wajib dilakukan. Hal ini memerlukan koordinasi yang baik antara alinemen vertikal dan horizontal, dengan mempertimbangkan berbagai aspek yang memengaruhinya. Pada saat merancang jalan secara geometrik, penyederhanaan bentuk penampang jalan menjadi langkah penting guna mempermudah perhitungan volume tanah yang harus dipindahkan sesuai dengan trase jalan yang direncanakan. Seluruh volume pekerjaan tanah kemudian diakumulasi untuk menghitung selisih antara volume galian dan timbunan. Gambar 2.13 dan Gambar 2.14 berikut ini menggambarkan rancangan pekerjaan galian dan timbunan untuk wilayah perbukitan berdasarkan pedoman Bina Marga.



Gambar 2. 13 Potongan Melintang daerah Galian
(Sumber: Gambar Standar Jalan dan Jembatan, Dirjen Bina Marga, 2021)



Gambar 2. 14 Potongan Melintang daerah Timbunan
(Sumber: Gambar Standar Jalan dan Jembatan, Dirjen Bina Marga, 2021)

2.7 Perkerasan Jalan

Perencanaan perkerasan jalan memerlukan berbagai pertimbangan dalam menentukan jenis perkerasan yang akan digunakan pada ruas jalan yang direncanakan. Beberapa faktor penting yang harus diperhitungkan antara lain adalah ketersediaan anggaran pembangunan, biaya pemeliharaan, volume lalu lintas yang akan dilayani, serta durasi pelaksanaan konstruksi yang dapat memengaruhi kelancaran arus lalu lintas selama proyek berlangsung. Adapun jenis-jenis perkerasan yang umum diterapkan pada pembangunan jalan adalah sebagai berikut:

1. Perkerasan lentur (*flexible pavement*)
2. Perkerasan kaku (*rigid pavement*)
3. Perkerasan komposit (*composite pavement*)
4. Jalan tanpa penutup (*unpaved road*)

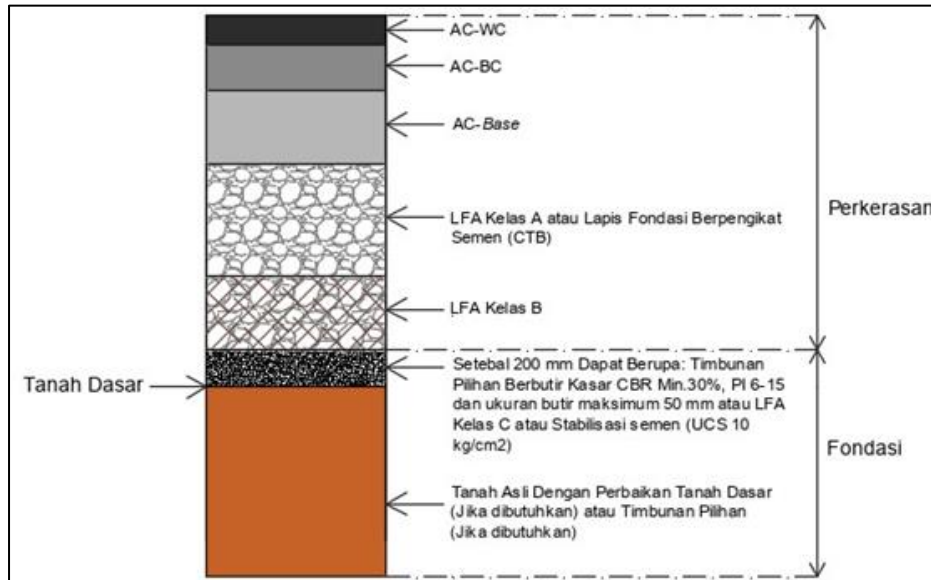
Dalam perencanaan ruas jalan Protelon Ngondo Dos – Wedi Ombo Lagoon, akan diterapkan jenis perkerasan lentur dan perkerasan kaku berdasarkan berbagai pertimbangan teknis dan kondisi lapangan yang relevan.

2.7.1 Perkerasan Jalan Lentur (Flexible Pavement)

Perkerasan lentur, yang umum dikenal sebagai perkerasan aspal, adalah struktur perkerasan jalan yang terdiri dari lapisan permukaan beraspal yang diletakkan di atas lapisan pondasi dan pondasi bawah yang umumnya terbuat dari material granular dan dibangun di atas tanah dasar. Secara umum, struktur perkerasan lentur terdiri dari beberapa lapisan utama, yaitu:

1. Lapis permukaan (*surface course*)
2. Lapis pondasi (*base course*)
3. Lapis pondasi bawah (*subbase course*)

Dalam kondisi tertentu, lapisan pondasi bawah tidak disertakan karena seluruh ketebalan perkerasan menggunakan material aspal, yang dikenal sebagai full depth asphalt pavement. Di sisi lain, terdapat pula tipe perkerasan lentur yang menggunakan lapisan pondasi bawah yang telah distabilisasi dengan bahan seperti aspal atau semen. Nilai CBR dari tanah dasar menjadi salah satu faktor penting dalam menentukan perlunya perbaikan pada lapisan tanah tersebut. Struktur lapisan perkerasan lentur dapat dilihat pada Gambar 2.15 berikut ini.



Gambar 2. 15 Perkerasan Lentur pada Tanah Asli

(Sumber: Manual Desain Perkerasan Jalan, Dirjen Bina Marga, 2024)

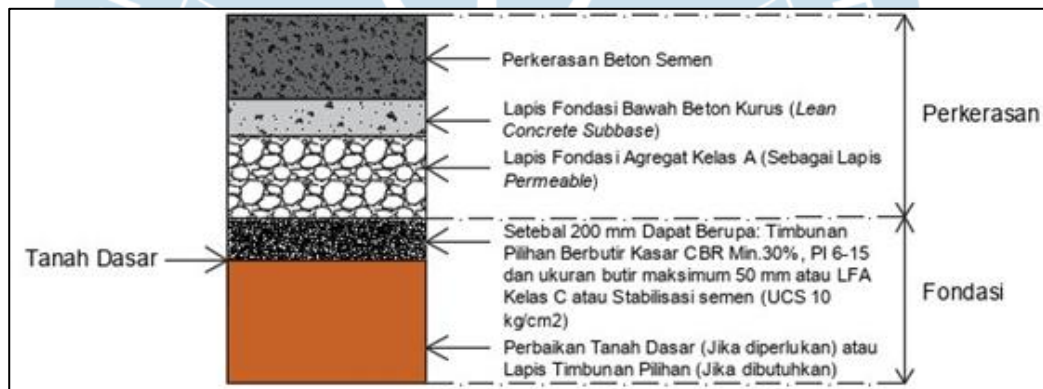
Dalam gambar tersebut terdapat beberapa istilah, yaitu:

- **AC-WC (*Asphalt Concrete – Wearing Course*)**: Merupakan lapisan paling atas dari perkerasan aspal yang bergradasi padat dan berfungsi sebagai lapis aus atau lapis penutup permukaan jalan.
- **AC-BC (*Asphalt Concrete – Binder Course*)**: Lapisan perantara antara lapis pondasi atas dan lapis aus, menggunakan agregat dengan gradasi khusus untuk memberikan ikatan struktural.
- **AC-Base**: Lapisan aspal yang berperan sebagai lapis pondasi, menggunakan agregat berukuran maksimum tertentu. Fungsi utamanya adalah menopang lapis permukaan dan menyebarkan beban ke lapisan di bawahnya.
- **Base Course**: Lapis pondasi yang berada tepat di bawah lapis permukaan. Biasanya menggunakan agregat kelas A atau material yang telah distabilisasi seperti *Cement Treated Base (CTB)*.
- **Subbase Course**: Merupakan lapisan pondasi bawah yang ditempatkan di bawah base course. Bertugas membentuk struktur perkerasan yang tebal dan menyebarkan beban secara efektif. Umumnya menggunakan agregat kelas B.
- **Lapis Perbaikan Tanah Dasar**: Lapisan tambahan yang digunakan untuk meningkatkan kualitas tanah dasar agar memiliki stabilitas dan kekuatan yang

cukup. Biasanya terdiri dari timbunan pilihan dengan nilai CBR tertentu, agregat kelas C, atau material yang distabilisasi dengan semen.

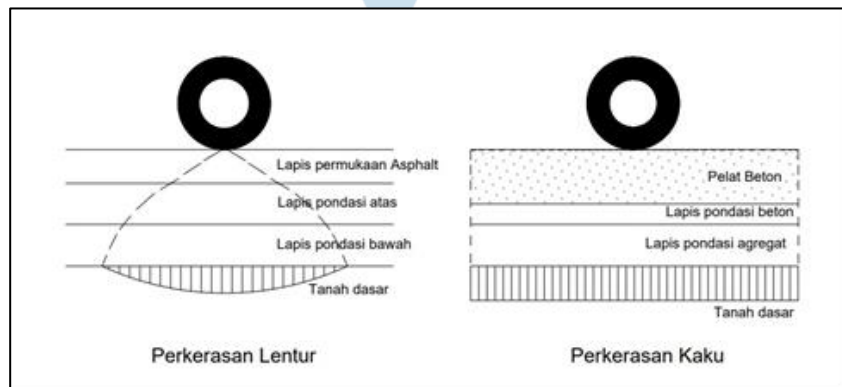
2.7.2 Perkerasan Kaku (Rigid pavement)

Perkerasan kaku, atau yang lebih dikenal sebagai perkerasan beton, merupakan lapisan permukaan jalan yang tersusun dari pelat beton semen Portland—baik bertulang maupun tidak—di atas lapis pondasi bawah dan tanah dasar. Dalam beberapa kasus, lapisan aspal dapat ditambahkan pada permukaannya untuk meningkatkan kenyamanan berkendara. Jenis perkerasan ini sangat sesuai untuk digunakan pada jalan raya dengan volume lalu lintas tinggi dan beban kendaraan berat yang melaju pada kecepatan tinggi. Pada sistem perkerasan ini, kekuatan utama terletak pada lapisan beton yang bersifat kaku, sehingga beban lalu lintas dapat disalurkan secara lebih merata ke area yang lebih luas di atas tanah dasar. Struktur lapisan perkerasan kaku dapat dilihat pada Gambar 2.16 berikut ini.



Gambar 2. 16 Perkerasan Kaku pada Tanah Asli

(Sumber: Manual Desain Perkerasan Jalan, Dirjen Bina Marga, 2024)



Gambar 2. 17 Perbedaan Penyebaran Tekanan pada Perkerasan

(Sumber: Hardiyatmo, 2015)

Melalui Gambar 2.17, terlihat perbedaan karakteristik antar jenis perkerasan berdasarkan cara distribusi beban. Pada perkerasan lentur, daya dukung jalan sangat bergantung pada kombinasi ketebalan lapisan permukaan, pondasi atas, dan pondasi bawah, dengan sebaran beban yang relatif terbatas. Sebaliknya, perkerasan kaku mengandalkan kekuatan utama dari lapisan permukaan beton yang bersifat kaku, sehingga beban lalu lintas dapat tersebar ke area yang lebih luas hingga ke tanah dasar. Oleh karena itu, dalam menentukan jenis perkerasan yang tepat, perlu juga mempertimbangkan berbagai faktor lain yang dapat memengaruhi performa dan efektivitas struktur perkerasan.

2.7.3 Umur Rencana

Pemilihan umur rencana atau periode masa layak digunakan sangat dibutuhkan dalam melakukan perencanaan perkerasan jalan. Umur rencana merupakan masa lapis perkerasan mampu melayani kendaraan yang lewat sampai pada sebelum memasuki masa layanan pakai berakhir atau sebelum dilakukannya pekerjaan rehabilitasi. Umur rencana perkerasan jalan dihitung sejak jalan mulai digunakan untuk lalu lintas hingga saat diperlukan perbaikan besar atau penambahan lapisan permukaan baru. Penentuan umur rencana ini mempertimbangkan beberapa faktor, seperti volume lalu lintas yang akan dilayani, fungsi jalan dalam jaringan transportasi, serta nilai keekonomian jalan di wilayah tersebut. Secara umum, perencanaan perkerasan jalan direncanakan dengan masa pakai 20 tahun – 40 tahun dengan berbagai jenis tipe perkerasan. Berikut Tabel 2.12 mengenai rincian umur rencana berdasarkan tabel yang digunakan sebagai acuan pada perkerasan jalan baru.

Tabel 2. 12 Umur Rencana Perkerasan Jalan Baru (UR)

Jenis Perkerasan	Elemen Perkerasan	Umur Rencana (tahun) ⁽¹⁾
Perkerasan Lentur	Lapisan aspal dan lapisan berbutir ⁽²⁾	20
	Lapis Fondasi jalan	40
	Semua perkerasan untuk lokasi yang tidak dimungkinkan pelapisan ulang	

	(<i>overlay</i>), seperti: jalan perkotaan, underpass, jembatan, dan terowongan	
	Lapis Fondasi Berpengikat Semen, <i>Cement Treated Based (CTB)</i>	
Perkerasan kaku	Lapis fondasi atas, lapis fondasi bawah, lapis beton semen, dan fondasi jalan	
Jalan tanpa penutup	Semua elemen (termasuk fondasi jalan)	10

(Sumber: Manual Desain Perkerasan Jalan, Dirjen Bina Marga, 2024)

2.7.4 California Bearing Rasio (CBR)

California Bearing Ratio (CBR) merupakan nilai yang dinyatakan dalam bentuk persentase dan digunakan untuk mengukur kemampuan tanah dalam menopang beban lalu lintas. Umumnya, nilai CBR diperoleh melalui pengambilan sampel tanah dari lokasi konstruksi pada kedalaman tertentu, kemudian dilakukan pengujian di laboratorium untuk menentukan tingkat daya dukung tanah pada lokasi tersebut. Dalam perencanaan ini, digunakan pendekatan CBR karakteristik dengan metode persentil, di mana data CBR dianggap terdistribusi secara normal dalam satu segmen seragam. Nilai yang digunakan adalah nilai pada persentil ke-10 (10th percentile), yang berarti 10% dari data memiliki nilai lebih kecil atau sama dengan nilai tersebut, sementara 90% sisanya lebih besar atau sama. Metode perhitungan ini dilakukan menggunakan perangkat lunak Microsoft Excel dengan memanfaatkan rumus `=PERCENTILE(array, k)`, di mana 'array' merupakan kumpulan data dan 'k' menunjukkan tingkat persentil dalam bentuk desimal. Contoh penggunaan:

$$=PERCENTILE(A1:A10, 0.1)$$

Rumus tersebut akan menghasilkan nilai CBR karakteristik dari data dalam rentang sel A1 hingga A10, yang kemudian dijadikan dasar dalam perencanaan tebal perkerasan jalan.

2.7.5 Pertumbuhan Lalu-Lintas

Pertumbuhan lalu lintas merupakan salah satu aspek penting yang menjadi dasar dalam perencanaan struktur perkerasan jalan. Secara umum, proyeksi pertumbuhan lalu lintas didasarkan pada data historis atau disesuaikan dengan formulasi korelasi

terhadap faktor-faktor pertumbuhan lain yang relevan. Perhitungan volume lalu lintas selama umur rencana dilakukan dengan menggunakan Faktor Pertumbuhan Kumulatif (*Cumulative Growth Factor*), yang dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$R = \frac{(1 + 0,01)^{UR} - 1}{0,01 i}$$

Keterangan:

- R : Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif
- i : Laju pertumbuhan lalu lintas tahunan (%)
- UR : Umur rencana (tahun)

Penentuan nilai R dilakukan dengan mengacu pada perhitungan *Equivalent Standard Axle for Asphalt* (ESA), yang merepresentasikan kumulatif beban sumbu kendaraan selama umur rencana untuk menentukan jenis perkerasan yang tepat. Nilai i dalam rumus pertumbuhan lalu lintas disesuaikan berdasarkan tingkat pertumbuhan di masing-masing wilayah regional, sebagaimana tercantum dalam Tabel 2.13 tentang laju pertumbuhan lalu lintas.

Tabel 2. 13 Laju Pertumbuhan Lalu Lintas

	Jawa	Sumatera	Kalimantan	Rata-rata Indonesia
Arteri dan perkotaan	4,80	4,83	5,14	4,75
Kolektor rural	3,50	3,50	3,50	3,50
Jalan desa	1,00	1,00	1,00	1,00

(Sumber: Manual Desain Perkerasan Jalan, Dirjen Bina Marga, 2024)

2.7.6 Distribusi Arah dan Lajur

Beban gandar ekivalen menggambarkan total lalu lintas dari seluruh lajur dalam dua arah yang dihitung berdasarkan jumlah keseluruhan kendaraan. Dalam perencanaan perkerasan jalan, beban ini didistribusikan sesuai dengan arah dan jumlah lajur kendaraan, serta dihitung sebagai beban gandar standar kumulatif (ESA). Perhitungan ini mempertimbangkan dua faktor penting, yaitu faktor

distribusi arah (DD) dan faktor distribusi lajur (DL), yang penentuannya mengacu pada ketentuan dari peraturan Bina Marga.

Faktor distribusi arah (DD) umumnya bernilai 0,50 untuk jalan dua arah, kecuali ada kondisi khusus seperti ketidakseimbangan jumlah kendaraan berat yang signifikan antara dua arah. Sementara itu, faktor distribusi lajur (DL) digunakan untuk menyesuaikan nilai kumulatif beban sumbu standar (CESAL) pada jalan dengan dua lajur atau lebih dalam satu arah. Meskipun idealnya nilai DL diperoleh dari data survei lalu lintas aktual, dalam perencanaan awal dapat digunakan acuan dari Tabel 2.14 yang memuat nilai-nilai DL sesuai standar.

Tabel 2. 14 Faktor Distribusi Lajur

Jumlah Lajur Setiap Arah	Kendaraan Niaga pada Lajur Desain (% terhadap Populasi Kendaraan Niaga)
1	100
2	80
3	60
4	50

(Sumber: Manual Desain Perkerasan Jalan, Dirjen Bina Marga, 2024)

2.7.7 Faktor Ekuivalen Beban (Vehicle Damage Factor)

Dalam perencanaan perkerasan jalan, *Vehicle Damage Factor* (VDF) atau faktor ekuivalen beban digunakan sebagai acuan untuk menunjukkan besarnya kerusakan yang ditimbulkan oleh beban gandar dari tiap kendaraan niaga. Nilai beban lalu lintas berdasarkan VDF akan dikonversi menjadi beban standar atau *Equivalent Standard Axle* (ESA). Melalui pendekatan ini, perhitungan beban lalu lintas mencakup kombinasi dari berbagai jenis kendaraan dengan konfigurasi dan beban sumbu yang berbeda. Seluruh analisis tersebut tetap mengacu pada data Lalu Lintas Harian Rata-rata (LHR). Tabel 2.15 berikut menyajikan data beban gandar berdasarkan klasifikasi jalan yang akan direncanakan.

Tabel 2. 15 Data Beban Gandar

Spesifikasi Penyediaan Prasarana Jalan	Sumber Data Beban Gandar
Jalan Bebas Hambatan	1 atau 2
Jalan Raya	1 atau 2 atau 3
Jalan Sedang	2 atau 3
Jalan Kecil	2 atau 3

(Sumber: Manual Desain Perkerasan Jalan, Dirjen Bina Marga, 2024)

2.8 Stabilitas Tanah

2.8.1 Klasifikasi Tanah

Tanah merupakan suatu landasan konstruksi infrastruktur dengan memperhatikan karakteristik dan mekaniknya, antara lain: kadar air, kepadatan, serta kekuatan gesernya yang digunakan dalam suatu infrastruktur untuk memastikan keamanan dan kestabilan pada saat difungsikan (Sukandar, 2017). Tanah terbentuk dari hasil pelapukan batuan dan bahan organik, serta memiliki sifat yang sangat bervariasi yang tergantung pada asal usul dan proses geologisnya. Tanah dengan tekstur kasar seperti kerikil dan pasir biasanya memiliki daya dukung yang lebih tinggi dibandingkan tanah bertekstur halus seperti lanau dan lempung. Kekuatan tanah dapat dipengaruhi oleh ikatan antar butir yang terbentuk seperti: karbonat, bahan organik, atau oksida yang mengendap pada partikel antar butiran tanah. Secara umum tanah memiliki sifat yang terkandung, seperti: kadar air, kepadatan, permeabilitas, kompresibilitas, dan kekuatan geser.

Dalam perancangan geoteknik untuk jalan, kondisi karakteristik tanah sangat diperlukan dalam mendukung beban yang terjadi. Klasifikasi tanah di Indonesia secara umum mengacu pada sistem seperti *Unified Soil Classification System (USCS)* (Hardiyatmo, 2014). Dalam sistem ini digunakan pengelompokan tanah berdasarkan karakteristik ukuran butir dan sifat plastisitas. USCS membagi tanah ke dalam dua kelompok utama, yaitu tanah berbutir kasar (seperti kerikil dan pasir) dan tanah berbutir halus (seperti lanau dan lempung). Pada tanah berbutir halus dilakukan uji batas Atterberg untuk mengetahui kondisi batas cair (*liquid limit*) dan indeks plastisitas. Penggambaran jenis dan sifat tanah pada umumnya diberikan simbol klasifikasi seperti GW (*gravel well-graded*), CL (*clay of low plasticity*), MH (*silt of high plasticity*) dan lain sebagainya. Hal ini digunakan dalam memastikan keamanan pondasi dan stabilitas lereng yang nantinya akan dilakukan proses konstruksi.

A. Klasifikasi tanah berdasarkan pengujian *Standard Penetration Test (SPT)*

Standard Penetration Test (SPT) merupakan metode pengujian tanah yang dilakukan bersamaan dengan aktivitas pengeboran, dengan tujuan untuk

mengetahui daya tahan dinamis tanah serta memperoleh sampel tanah terganggu melalui teknik penumbukan. Pengujian ini dilakukan dengan menumbuk split spoon sampler (tabung belah berdinding tebal) secara vertikal ke dalam tanah hingga kedalaman 300 mm. Proses penumbukan dilakukan menggunakan sistem palu jatuh seberat 63,5 kg yang dijatuhkan berulang kali dari ketinggian 0,76 meter.

Pelaksanaan SPT dibagi menjadi tiga tahap penetrasi masing-masing sedalam 150 mm. Tahap pertama berfungsi sebagai tahap dudukan awal dan tidak dihitung dalam penentuan nilai akhir. Nilai pukulan dihitung dari jumlah tumbukan yang diperlukan untuk menumbuk tanah pada tahap kedua dan ketiga (total 300 mm), yang kemudian dijumlahkan untuk menghasilkan nilai pukulan N atau nilai SPT, dengan satuan pukulan per 0,3 meter. Nilai N ini digunakan sebagai indikator tingkat kekompakan atau konsistensi tanah di lapangan dan menjadi dasar dalam analisis geoteknik, seperti estimasi daya dukung tanah serta perencanaan fondasi (Badan Standardisasi Nasional, 2017). Rumus pengolahan data disajikan sebagai berikut.

- Menghitung nilai N koreksi terhadap Pelaksanaan (N_{60})

Skempton (1986) mengusulkan sebuah formula untuk menyesuaikan nilai N berdasarkan kondisi lapangan, dengan mempertimbangkan diameter dan panjang batang bor yang digunakan dalam prosedur pengujian, sebagai berikut.

$$N_{60} = \frac{1}{60} \times E_f \times C_b \times C_s \times C_r \times N_v$$

Dimana,

N_{60} : nilai N-SPT yang telah dikoreksi

E_f : efisiensi pemukul = 0,55 (tabel efisiensi pemukul) (Clayton, 1990)

C_b : koreksi diameter lubang bor

C_s : koreksi oleh tabung sampler bor SPT

C_r : koreksi untuk panjang batang bor

N_v : nilai N-SPT hasil uji lapangan

- Menghitung nilai N koreksi untuk kedalam (N'_{60})

Dalam beberapa hubungan korelatif, nilai pukulan terkoreksi N_{60} , yang telah disesuaikan terhadap pengaruh tegangan efektif vertikal (*overburden*), dinyatakan sebagai N'_{60} . Nilai ini diperoleh melalui proses normalisasi terhadap tekanan tanah yang bekerja, sebagaimana ditunjukkan dalam persamaan berikut.

$$N'_{60} = N_M \times C_N \times C_E \times C_B \times C_R \times C_S$$

$$C_N = \frac{2,2}{1,2 + \sigma'_{v0}/P_A}$$

Dimana,

N'_{60} : nilai SPT yang dikoreksi terhadap pengaruh efisiensi tenaga 60%

N_M : hasil uji SPT di lapangan

C_N : faktor koreksi terhadap tegangan vertikal efektif (nilainya $\leq 1,70$)

C_E : faktor koreksi terhadap rasio tenaga palu

C_B : faktor koreksi terhadap diameter bor

C_R : faktor koreksi untuk panjang batang SPT

C_S : koreksi oleh tabung sampler bor

σ'_{v0} : tegangan vertical efektif (kPa)

P_A : 100 kPa

Berikut Tabel 2.16 mengenai koreksi yang digunakan sebagai perhitungan dalam uji SPT.

Tabel 2. 16 Korelasi yang digunakan dalam Uji SPT

Faktor	Jenis Alat	Parameter	Koreksi
Tegangan vertikal efektif		C_N	$2,2 / (1,2 + (\sigma'_{vo}/Pa))$
Tegangan vertikal efektif		C_N	$C_N \leq 1,7$
Rasio tenaga	Palu donat (<i>Donut hammer</i>)	C_E	0,5 s.d 1,0
Rasio tenaga	Palu pengaman (<i>Safety hammer</i>)	C_E	0,7 s.d 1,2
Rasio tenaga	Palu otomatis (<i>Automatic-trip Donut-type hammer</i>)	C_E	0,8 s.d 1,3
Diameter bor	65 s.d 115 mm	C_B	1,0
Diameter bor	150 mm	C_B	1,05
Diameter bor	200 mm	C_B	1,15
Panjang batang	< 3 m	C_R	0,75
Panjang batang	3 s.d 4 m	C_R	0,8
Panjang batang	4 s.d 6 m	C_R	0,85
Panjang batang	6 s.d 10 m	C_R	0,95
Panjang batang	10 s.d 30 m	C_R	1,0
Pengambilan contoh	tabung standar	C_S	1,0
Pengambilan contoh	tabung dengan pelapis (<i>liner</i>)	C_S	1,1 s.d 1,3

(Sumber: SNI 4153 Tahun 2008)

B. Klasifikasi tanah berdasarkan pengujian *Cone Penetration Test* (CPT)

Cone Penetration Test (CPT) merupakan metode investigasi tanah di bawah permukaan. Berdasarkan SNI 2827:2008, metode ini dilakukan dengan cara menekan alat berbentuk kerucut (*cone*) secara vertikal ke dalam tanah. Pengujian bertujuan untuk mengukur tahanan ujung kerucut (*cone resistance/qc*), tahanan selubung (*sleeve friction/fs*), dan kedalaman penetrasi.

Pengujian dilakukan dengan lokasi yang stabil dan datar agar alat dapat dipasang secara vertikal. Alat sondir yang digunakan harus memenuhi spesifikasi teknis standar, yaitu luas kerucut 10 cm² dan sudut kerucut 60°, serta dilengkapi sistem pembacaan gaya yang telah dikalibrasi. Penetrasi dilakukan secara kontinu tanpa rotasi, dan pembacaan data dilakukan setiap interval kedalaman secara umum, yaitu 20 cm. Data hasil pengujian dianalisis dalam bentuk grafik perlawanan terhadap kedalaman, untuk mengidentifikasi stratifikasi tanah, klasifikasi jenis tanah, dan memperkirakan parameter seperti kekuatan geser tanah dan nilai korelasi terhadap uji SPT. Rumus berikut digunakan dalam proses pengolahan data tanah, khususnya untuk menganalisis parameter-parameter geoteknik berdasarkan hasil uji lapangan maupun laboratorium.

- Menentukan nilai F

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

- Menentukan nilai A_{pi} , A_c , dan A_s

$$A_{pi} = \pi \times \frac{(D_{pi})^2}{4}$$

$$A_c = \pi \times \frac{(D_c)^2}{4}$$

$$A_s = \pi \times D_s \times L_s$$

- Menentukan nilai q_c

$$q_c = C \times \frac{A_{pi}}{A_c}$$

- Menentukan nilai f_s

$$f_s = F \times \frac{A_{pi}}{A_s}$$

- Menentukan nilai R_f (*friction ratio*)

$$R_f = \left(\frac{f_s}{q_c} \right) \times 100$$

- Menentukan Q_u (*Q ultimate*)

$$Q_u = \frac{q_c}{50} \times \left(\frac{B + 30}{B} \right)^2$$

Keterangan:

C : Pembacaan manometer untuk nilai perlawanan konus (kg/cm²)

C+F : Pembacaan manometer untuk nilai perlawanan konus geser (kg/cm²)

F : Pembacaan manometer untuk nilai perlawanan geser (kg/cm²)

A_{pi} : Luas penampang piston (cm²)

A_c : Luas penampang konus (cm²)

A_s : Luas selimut geser (cm²)

D_{pi} : Diameter piston (cm)

D_c : Diameter konus (cm)

- D_s : Diameter selimut geser (cm)
- L_s : Panjang selimut geser (cm)
- f_s : Nilai perlawanan konus (kg/cm^2)
- q_c : Nilai perlawanan geser local (kg/cm^2)
- R_f : angka banding geser (%)
- B : lebar jalan (m)
- Q_u : Q ultimate ($\text{kg}/\text{cm}^2 \rightarrow \text{kN}/\text{m}^2$)

2.8.2 Stratigrafi Tanah

Stratigrafi tanah merupakan salah satu aspek dalam studi geoteknik yang berfokus pada analisis susunan dan urutan lapisan tanah maupun batuan di bawah permukaan tanah yang ada saat ini. Dalam penggambaran stratigrafi tanah mempunyai tujuan untuk mengetahui identifikasi jenis tanah, ketebalan, karakteristik fisik, serta distribusi lapisan secara horizontal maupun vertikal (Budhu, 2011). Dalam penggambaran stratigrafi tanah akan memperlihatkan kondisi dibawah permukaan yang dapat mempengaruhi pada saat perencanaan, perancangan, maupun pelaksanaan proyek-proyek geoteknik seperti pondasi, konstruksi jalan, bendungan, hingga kestabilan lereng.

2.8.3 Penurunan Tanah

Penurunan tanah merupakan suatu kondisi yang disebabkan oleh beban yang bekerja berada pada permukaan, perubahan volume air tanah, dan kondisi pori pada tanah. Umumnya terdapat tiga jenis penurunan tanah yang biasa terjadi, antara lain: penurunan segera, penurunan konsolidasi, dan penurunan sekunder. Dalam penjelasan secara umum, penurunan segera diartikan bahwa kondisi tanah dengan karakteristik berbutir kasar yang mengalami perubahan elevasi ataupun ketinggian lapisan yang terjadi secara seketika diakibatkan oleh beban yang diterapkan. Dalam konteks ini, tanah termasuk dalam kategori berbutir kasar, seperti kerikil dan pasir.

Penurunan konsolidasi secara umum dapat diartikan bahwa kondisi tanah dengan karakteristik berbutir halus dengan air pori yang jenuh yang mengalami perubahan elevasi ataupun ketinggian lapisan yang terjadi secara lama diakibatkan

oleh beban yang diterapkan. Dalam hal ini, jenis tanah berbutir halus, seperti: lanau dan lempung. Sedangkan, penurunan sekunder terjadi apabila fase penurunan konsolidasi telah selesai yang disebabkan oleh penyatuan struktur tanah tingkat mikroskopis (Bowles, 1997). Proses ini cenderung terjadi secara bertahap dalam jangka waktu yang cukup lama.

1. Penurunan Segera (S_i)

Penurunan segera (immediate settlement) adalah jenis penurunan tanah yang terjadi langsung setelah beban diberikan, tanpa membutuhkan waktu lama karena tidak melibatkan proses keluarnya air pori dari dalam struktur tanah. Penurunan ini umumnya terjadi pada tanah berbutir kasar seperti pasir, atau pada tanah berbutir halus yang cukup kaku dan memiliki permeabilitas tinggi. Das (2010) menyatakan bahwa penurunan segera disebabkan oleh deformasi elastis dari tanah yang kering, tidak jenuh, atau jenuh, dan tanpa perubahan kadar air dalam tanah. Berikut adalah rumusan yang digunakan dalam pengolahan data tanah berdasarkan beberapa teori.

A. Teori Harr (1966)

Teori Harr merupakan teori pendekatan yang digunakan dalam menghitung penurunan segera pada pondasi dangkal berbentuk persegi panjang maupun lingkaran yang terletak langsung di bawah permukaan tanah. Pemilihan teori ini didasarkan pada kesesuaiannya dalam menganalisis penurunan akibat beban yang tersebar secara luas, terutama pada jenis tanah granular. Selain itu, Teori Harr dapat diterapkan pada struktur pondasi lentur maupun kaku, dengan membedakan pengaruh jenis perkerasan melalui penggunaan koefisien koreksi 'I'. Adapun rumus yang digunakan dalam perhitungan penurunan segera berdasarkan Teori Harr disajikan sebagai berikut.

$$S_i = \frac{q \cdot B (1 - \mu^2)}{E_u} I_1$$

Keterangan:

S_i = penurunan seketika (m)

q = tekanan kontak (kN/m²)

B = lebar fondasi (m)

E = modulus elastisitas tanah (kN/m²) (dapat dilihat pada Tabel 2.18)

μ = angka poisson's tanah

I_1 = faktor koreksi dari harr, yang nilainya dibedakan antara pondasi “lentur” dan pondasi “kaku” (Tabel 2.17 mengenai faktor pengaruh I di pusat penurunan pondasi)

Tabel 2. 17 Tabel Faktor Pengaruh I Penurunan di Pusat Pondasi Fleksibel

Tabel Faktor Pengaruh I Penurunan di Pusat Pondasi Fleksibel								
H/B	B.Sangkar (B) Lingkaran (D)	Pondasi Persegi Panjang (B x L)						Menerus (L/B=∞)
		L/B=1	L/B=1.5	L/B=2	L/B=3	L/B=5	L/B=10	
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
0.25	0.26	0.26	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
0.5	0.5	0.51	0.51	0.51	0.51	0.25	0.51	0.51
1	0.72	0.77	0.85	0.87	0.88	0.25	0.88	0.88
1.5	0.81	0.88	1	1.07	1.12	0.25	1.13	1.13
2.5	0.89	0.98	1.14	1.24	1.36	0.25	1.45	1.45
3.5	0.92	1.02	1.2	1.32	1.47	0.25	1.64	1.65
5	0.94	1.05	1.25	1.39	1.56	0.25	1.87	1.88
∞	1	1.12	1.36	1.52	1.78	0.25	2.53	∞

(Sumber: Harr, 1966)

Tabel 2. 18 Nilai Modulus Elastisitas dan Rasio Poisson secara umum

Soil Type	Typical Elastic Modulus Values, E (kN/m ²)		Poisson's Ratio, v	
Clay: Soft sensitive	2392.481	14341.095	0.4	0.5
Clay: Medium stiff to stiff	14341.095	47849.616		
Clay: Very stiff	47849.616	95768.179		
Silt	1916.743	19167.425	0.3	0.35
Fine Sand: Loose	7653.181	11514.245	0.25	
Fine Sand: Medium dense	11514.245	19167.425		
Fine Sand: Dense	19167.425	28751.138		
Sand: Loose	9583.713	47849.616	0.2	0.36
Sand: Medium dense	28751.138	47849.616	0.25	0.4
Sand: Dense	47849.616	76531.806	0.3	0.4
Gravel: Loose	28751.138	76600.753	0.2	0.35
Gravel: Medium dense	76600.753	95768.179	0.25	0.4
Gravel: Dense	95768.179	191536.357	0.3	0.4

(Sumber: Geotechnical Design Manual, 2022)

B. Teori Bowles

Teori Bowles merupakan teori yang digunakan dalam menghitung penurunan segera pada pondasi fleksibel. Teori ini dapat digunakan dalam menganalisis pondasi berbentuk persegi panjang hingga pondasi strip dengan panjang tak terhingga. Dalam teori ini terdapat pendekatan berupa koefisien koreksi yang dapat disesuaikan dengan kondisi pondasi dan karakteristik tanah di lapangan. Adapun rumus yang digunakan dalam perhitungan penurunan segera berdasarkan Teori Bowles disajikan sebagai berikut.

$$S_i = \frac{qB}{E} (1 - \mu^2) I_p$$

Keterangan:

S_i = penurunan segera (m)

q = tekanan pada dasar fondasi (kN/m²)

B = lebar fondasi (m)

E = modulus elastisitas tanah (kN/m²) (dapat dilihat pada Tabel 2.19)

μ = rasio poisson

I_p = faktor pengaruh

Faktor pengaruh didapatkan melalui teori Terzaghi (1943) yang dinyatakan dengan:

$$I_p = \frac{1}{4\pi} \left(\frac{2mn(m^2 + n^2 + 1)^{\frac{1}{2}}}{m^2 + n^2 + m^2n^2 + 1} \times \frac{m^2 + n^2 + 2}{m^2 + n^2 + 1} + \tan^{-1} \frac{2mn(m^2 + n^2 + 1)^{\frac{1}{2}}}{m^2 + n^2 - m^2n^2 + 1} \right)$$

Dimana,

$$m = \frac{B}{z} \text{ and } n = \frac{L}{z}$$

Tabel 2. 19 Nilai Modulus Elastisitas dan Rasio Poisson secara umum

Soil Type	Typical Elastic Modulus Values, E (kN/m ²)		Poisson's Ratio, v	
Clay: Soft sensitive	2392.481	14341.095	0.4	0.5
Clay: Medium stiff to stiff	14341.095	47849.616		
Clay: Very stiff	47849.616	95768.179		
Silt	1916.743	19167.425	0.3	0.35
Fine Sand: Loose	7653.181	11514.245	0.25	
Fine Sand: Medium dense	11514.245	19167.425		
Fine Sand: Dense	19167.425	28751.138		
Sand: Loose	9583.713	47849.616	0.2	0.36
Sand: Medium dense	28751.138	47849.616	0.25	0.4
Sand: Dense	47849.616	76531.806	0.3	0.4
Gravel: Loose	28751.138	76600.753	0.2	0.35
Gravel: Medium dense	76600.753	95768.179	0.25	0.4
Gravel: Dense	95768.179	191536.357	0.3	0.4

(Sumber: Geotechnical Design Manual, 2022)

2. Penurunan Konsolidasi (S_c)

Penurunan konsolidasi merupakan jenis penurunan tanah yang terjadi akibat proses keluarnya air dari pori-pori tanah jenuh, terutama pada tanah berbutir halus seperti lempung. Penurunan ini tidak terjadi seketika, melainkan membutuhkan waktu yang bervariasi tergantung pada permeabilitas tanah dan jarak aliran air

keluar dari lapisan tanah. Das (2010) menyatakan penurunan konsolidasi terjadi secara bertahap akibat berkurangnya tekanan air pori berlebih yang timbul akibat beban luar, di mana air tidak dapat langsung keluar dari pori-pori tanah, sehingga proses penurunan berlangsung dalam kurun waktu tertentu. Berikut adalah rumusan yang digunakan dalam pengolahan data tanah.

$$S_c = \left\{ \left[\frac{C_c \cdot H}{(1 - e_0)} \right] \cdot \log \left(\frac{P_0 + \Delta P_{av}}{P_0} \right) \right\}$$

Keterangan:

- S_c = penurunan konsolidasi (m)
- C_c = koefisien kompresibilitas (kN/m^2) (dapat dilihat pada Tabel 2.20)
- H = ketebalan lapis penetrasi (m)
- e_0 = angka pori awal (kN/m^2)
- P_c = tekanan prakonsolidasi
- P_0 = tekanan efektif rata-rata
- ΔP_{av} = penambahan tekanan rata-rata akibat beban pondasi

Tabel 2. 20 Korelasi Empiris untuk Nilai C_c

Korelasi	Keterangan	Referensi
$C_c = 0.009 (LL-10)$	<i>Undisturbed clay of sensitivity less than 4. Reliability $\pm 30\%$</i>	Terzaghi and Peck (1948)
$C_c = 0.007 (LL-10)$	<i>Remoulded clay</i>	Skempton (1944)
$C_c = 0.0046 (LL-9)$	<i>Sao Paulo, Brazil clays</i>	Cozzolino (1961)
$C_c = 0.0186 (LL-30)$	<i>Soft silty Brazilian clays</i>	Cozzolino (1961)
$C_c = 0.01 (LL-13)$	<i>All clays</i>	USACE (1990)
$C_c = 0.008 (LL-8.2)$	<i>Indiana soils</i>	Lo and Lovell (1982)
$C_c = 0.21 + 0.009 LL$	<i>Weathered & soft Bangkok clays</i>	Balasubramaniam and Brenner (1981)
$C_c = 0.30 (e_0-0.27)$	<i>Inorganic silty clay</i>	Hough (1957)
$C_c = 1.15 (e_0-0.35)$	<i>All clays</i>	Azzouz et al. (1976)
$C_c = 0.75 (e_0-0.50)$	<i>Soil of very low plasticity</i>	Azzouz et al. (1976)
$C_c = 0.4 (e_0-0.25)$	<i>Clays from Greece & part of US</i>	Azzouz et al. (1976)
$C_c = 0.141 G_s^{1.2} \left(\frac{1+e_0}{G_s} \right)^{2.382}$	<i>90 samples; Bowles (1988) suggest e_0 be less than 0.8</i>	Rendon-Herrero (1980)
$C_c = 0.256 + 0.43(e_0-0.84)$	<i>Brazilian clays</i>	Cozzolino (1961)
$C_c = 0.54 (e_0-0.35)$	<i>All clays</i>	Nishida (1956)
$C_c = 0.22 + 0.29 e_0$	<i>Weathered and soft Bangkok clays</i>	Balasubramaniam and Brenner (1981)
$C_c = 0.575 e_0 - 0.241$	<i>French clays</i>	Balasubramaniam and Brenner (1981)
$C_c = 0.5363(e_0 - 0.411)$	<i>Indiana soils</i>	Goldberg et al. (1979)
$C_c = 0.496 e_0 - 0.195$	<i>Indiana soils</i>	Lo and Lovell (1982)
$C_c = 0.40(e_0 - 0.25)$	<i>Clays from Greece & parts of US</i>	Azzouz et al. (1976)
$C_c = 0.01 w_n$	<i>Chicago clays</i>	Azzouz et al. (1976)
$C_c = 0.01 w_n$	<i>Canada clays</i>	Koppula (1981)
$C_c = 0.0115 w_n$	<i>Organic soils, peat</i>	USACE (1990) and Azzouz et al. (1976)
$C_c = 0.012 w_n$	<i>All clays</i>	USACE (1990)
$C_c = 0.01 (w_n - 5)$	<i>Clays from Greece & parts of US</i>	Azzouz et al. (1976)
$C_c = 0.0126 w_n - 0.162$	<i>Indiana soils</i>	Lo and Lovell (1982)
$C_c = 0.008 w_n + 0.20$	<i>Weathered soft Bangkok clays</i>	Balasubramaniam and Brenner (1981)
$C_c = 0.0147 w_n - 0.213$	<i>French clays</i>	Balasubramaniam and Brenner (1981)
$C_c = (1 + e_0)[0.1 + 0.006 (w_n - 25)]$	<i>Varved clays</i>	USACE (1990)

2.8.4 Daya Dukung Tanah

Daya dukung tanah adalah salah satu parameter utama dalam perencanaan fondasi yang menunjukkan besarnya tekanan maksimum yang dapat ditahan oleh tanah tanpa menimbulkan kegagalan geser atau penurunan melebihi batas toleransi yang diizinkan. Menurut Bowles (1992), daya dukung tanah (*bearing capacity*) didefinisikan sebagai tekanan maksimum yang dapat dipikul oleh tanah sebelum mengalami keruntuhan geser (shear failure) dalam massa tanah. Daya dukung tanah dibedakan daya dukung ultimit (*ultimate bearing capacity*) sebagai batas maksimum kekuatan tanah dan daya dukung izin (*allowable bearing capacity*)

sebagai nilai yang telah dibatasi oleh faktor keamanan dalam menghindari kegagalan struktur dan menjadi batas penurunan (settlement). Faktor keamanan ini umumnya berkisar antara 2 hingga 3, tergantung pada jenis tanah dan tingkat data tanah yang tersedia.

A. Daya dukung tanah berdasarkan teori Hansen

Metode Hansen merupakan pendekatan empiris yang digunakan untuk menghitung daya dukung ultimit tanah pada perencanaan pondasi dangkal. Daya dukung ini cocok sebagai metode perhitungan dengan kondisi lapisan tanah berlapis dengan beban eksentris. Daya dukung tanah menurut Hansen dihitung berdasarkan tiga komponen utama, yaitu kontribusi dari kohesi tanah, tekanan tanah di atas pondasi, dan berat isi tanah terhadap lebar pondasi. Perbedaan dari teori sebelumnya adalah dengan terdapatnya faktor koreksi terhadap bentuk pondasi (*shape factor*), kedalaman pondasi (*depth factor*), dan kemiringan beban (*inclination factor*). Persamaan umum daya dukung ultimit dalam metode Hansen dirumuskan sebagai berikut.

$$q_{ult} = cN_c s_c d_c i_c g_c b_c + qN_q s_q d_q i_q g_q b_q + 0,5\gamma B' N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma g_\gamma b_\gamma$$

Dengan,

$$N_q = e^{\pi \tan \theta} \tan^2 \left(45 + \frac{\theta}{2} \right)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \theta$$

$$N_\gamma = 1,5 (N_q - 1) \tan \phi$$

Dimana,

Q_{ult} : daya dukung ultimit

N_c, N_q, N_γ : faktor daya dukung untuk fondasi memanjang

s_c, s_q, s_γ : faktor bentuk fondasi

d_c, d_q, d_γ : faktor kedalaman fondasi

i_c, i_q, i_γ : faktor kemiringan beban

B : lebar fondasi

D : kedalaman fondasi

γ : berat volume tanah

Dalam menentukan perhitungan daya dukung berdasarkan hansen terdapat beberapa faktor-faktor yang mendukung. Berikut rumus yang digunakan dalam menentukan faktor-faktor daya dukung yang disarankan oleh hansen.

- Faktor bentuk (S_q , S_c , S_γ)

$$S_c = 0,2 \left(\frac{B}{L} \right) \quad \text{untuk } \phi = 0$$

$$S_c = 1,0 + \left(\frac{N_c}{N_q} \right) \times \left(\frac{B}{L} \right) \quad \text{untuk } \phi > 0$$

$$S_c = 1,0 \quad \text{untuk pondasi menerus}$$

$$S_q = 1 + \left(\frac{B}{L} \right) \sin \phi \quad \text{untuk semua } \phi$$

$$S_\gamma = 1,0 - 0,4 \frac{B}{L} \quad \text{untuk } \phi = 0$$

- Faktor kedalaman (d_q , d_c , d_γ)

$$d_c = 0,4k \quad \text{untuk } \phi = 0$$

$$d_c = 1,0 + 0,4k \quad \text{untuk } \phi > 0$$

Nilai k (dalam radius) didapatkan dari rumus sebagai berikut.

$$k = \frac{D}{B} \quad \text{untuk } \frac{D}{B} \leq 1$$

$$k = \tan^{-1} \left(\frac{D}{B} \right) \quad \text{untuk } \frac{D}{B} > 1$$

$$d_q = 1 + 2 \tan \phi (1 + \sin \phi)^2 k \quad \text{untuk semua } \phi$$

$$d_\gamma = 1 \quad \text{untuk semua } \phi$$

- Faktor kemiringan (i_q , i_c , i_γ)

$$i_c = 0,5 - \sqrt{1 - \frac{H_i}{A_f C_a}} \quad \text{untuk } \phi = 0$$

$$i_c = i_q - \left(\frac{1-i_q}{N_q-1} \right) \quad \text{untuk } \phi > 0$$

$$i_q = \left[1 - \frac{0,5H_i}{V+A_f C_a \cot \phi} \right]^{a_1} \quad \text{untuk } 2 \leq a_1 \leq 5$$

$$i_\gamma = \left[1 - \frac{0,7H_i}{V+A_f C_a \cot \phi} \right]^{a_2}$$

$$i_\gamma = \left[1 - \frac{(0,7\eta^\circ/450^\circ)H_i}{V+A_f C_a \cot \phi} \right]^{a_2} \quad \text{untuk } 2 \leq a_2 \leq 5$$

- Faktor permukaan berdasarkan kemiringan (g_q, g_c, g_γ)

$$\beta = 45^\circ - \frac{\phi}{2}$$

$$g_c = \frac{\beta^\circ}{147^\circ} \quad \text{untuk } \phi = 0$$

$$g_c = 1 - \frac{\beta^\circ}{147^\circ} \quad \text{untuk } \phi > 0$$

$$g_q = g_\gamma = (1 - 0,5 \tan \beta)^5$$

- Faktor alas berdasarkan kemiringan (b_q, b_c, b_γ)

$$\eta = 90^\circ - \phi$$

$$b_c = \frac{\beta^\circ}{147^\circ} \quad \text{untuk } \phi = 0$$

$$b_c = 1 - \frac{\beta^\circ}{147^\circ} \quad \text{untuk } \phi > 0$$

$$b_q = \exp(-2\eta \tan \phi) \quad \text{untuk semua } \phi$$

$$b_\gamma = \exp(-2,7\eta \tan \phi) \quad \text{untuk semua } \phi$$

(Nilai η dalam radian)

B. Daya dukung tanah berdasarkan teori Meyerhof

Metode Meyerhof adalah pendekatan empiris yang banyak digunakan dalam analisis daya dukung tanah untuk pondasi dangkal. Metode ini adalah bentuk perkembangan dengan menambahkan faktor-faktor koreksi terhadap teori dasar yang telah dikemukakan oleh Terzaghi. Daya dukung ini cocok sebagai perhitungan dengan beban secara vertikal lurus maupun miring pada permukaan. Dalam daya

dukung ini, terdapat pengaruh bentuk pondasi (*shape factor*), kedalaman pondasi (*depth factor*), dan kemiringan beban (*inclination factor*) terhadap perhitungan daya dukung ultimit. Persamaan dalam teori Meyerhof untuk menghitung daya dukung ultimit pondasi dangkal adalah sebagai berikut.

Beban vertikal:

$$q_{ult} = cN_c s_c d_c + qN_q s_q d_q + 0,5\gamma B' N_\gamma s_\gamma d_\gamma$$

Beban miring:

$$q_{ult} = cN_c s_c i_c + qN_q d_q i_q + 0,5\gamma B' N_\gamma d_\gamma i_\gamma$$

Dengan,

$$N_q = e^{\pi \tan \theta} \tan^2 \left(45 + \frac{\theta}{2} \right)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \theta$$

$$N_\gamma = (N_q - 1) \tan(1,4\theta)$$

Dimana,

Q_{ult} : daya dukung ultimit

N_c, N_q, N_γ : Faktor daya dukung untuk fondasi memanjang

s_c, s_q, s_γ : faktor bentuk fondasi

d_c, d_q, d_γ : faktor kedalaman fondasi

B : lebar fondasi

D : kedalaman fondasi

γ : berat volume tanah

Dalam menentukan perhitungan daya dukung berdasarkan mayerhof terdapat beberapa faktor-faktor yang mendukung. Berikut rumus yang digunakan dalam menentukan faktor-faktor daya dukung yang disarankan oleh mayerhof.

- Faktor bentuk (s_q, s_c, s_γ)

$$s_c = 1 + 0,2Kp \left(\frac{B}{L} \right) \quad \text{untuk semua } \phi$$

$$S_q = S_\gamma = 1 + 0,1Kp \left(\frac{B}{L} \right) \quad \text{untuk } \phi > 10^\circ$$

$$S_q = S_\gamma = 1 \quad \text{untuk } \phi = 0$$

Nilai K_p didapatkan dari rumus sebagai berikut.

$$K_p = \tan^2 + (\phi/2)$$

- Faktor kedalaman (d_q , d_c , d_γ)

$$d_c = 1 + 0,2\sqrt{Kp} \left(\frac{B}{L} \right) \quad \text{untuk semua } \phi$$

$$d_q = d_\gamma = 1 + 0,1\sqrt{Kp} \left(\frac{B}{L} \right) \quad \text{untuk } \phi > 10^\circ$$

$$d_q = d_\gamma = 1 \quad \text{untuk } \phi = 0$$

- Faktor kemiringan (i_q , i_c , i_γ)

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

$$i_\gamma = \left(1 - \frac{\theta^\circ}{\phi^\circ} \right)^2 \quad \text{untuk } \phi > 0^\circ$$

$$i_\gamma = 0 \text{ untuk } \theta > 0 \quad \text{untuk } \phi = 0$$

2.8.5 Stabilitas Lereng

Dalam geoteknik, stabilitas lereng merupakan kemampuan suatu lereng dalam memberikan gaya ketahanan struktur tanah atau batuan dalam kondisi miring akibat gaya geser yang terjadi (Abramson et al, 2002). Pada umumnya, stabilitas lereng dianalisis dengan prinsip keseimbangan antara gaya penahan (seperti kohesi, gesekan dalam tanah, dan kekuatan batuan) dengan gaya penggerak (seperti berat tanah, air pori, dan beban tambahan di atas lereng). Keruntuhan struktur tanah dapat berpotensi terjadi, ketika besaran gaya penggerak telah lebih besar dibandingkan dengan gaya penahan.

Dalam analisis stabilitas lereng terdapat faktor aman yang menjadi acuan dalam perhitungan yang dilakukan. Faktor keamanan merupakan parameter yang digunakan untuk mengevaluasi tingkat kestabilan suatu lereng terhadap potensi terjadinya longsor atau kegagalan massa tanah. Analisis kestabilan kontur lereng umumnya didasarkan pada konsep keseimbangan batas plastis (*limit plastic*

equilibrium), yaitu suatu pendekatan yang menggunakan prinsip kesetimbangan statis dengan mengabaikan hubungan tegangan-regangan material lereng. Dalam penerapannya, metode ini membandingkan momen penahan terhadap momen penggerak yang bekerja pada tubuh lereng. Dengan demikian, diperoleh rasio antara gaya atau momen penstabil (*stabilizing forces*) terhadap gaya atau momen penggerak (*driving forces*) yang menjadi indikator utama dalam menilai keamanan lereng. Adapun rumus dalam perhitungan stabilitas lereng, sebagai berikut.

$$F = \frac{\text{Momen Penahan}}{\text{Momen Penggerak}}$$

Dengan besaran angka aman dalam stabilitas lereng, sebagai berikut.

$F < 1,5$ (Lereng tidak stabil)

$F = 1,5$ (Lereng dalam keadaan kritis)

$F > 1,5$ (Lereng stabil)