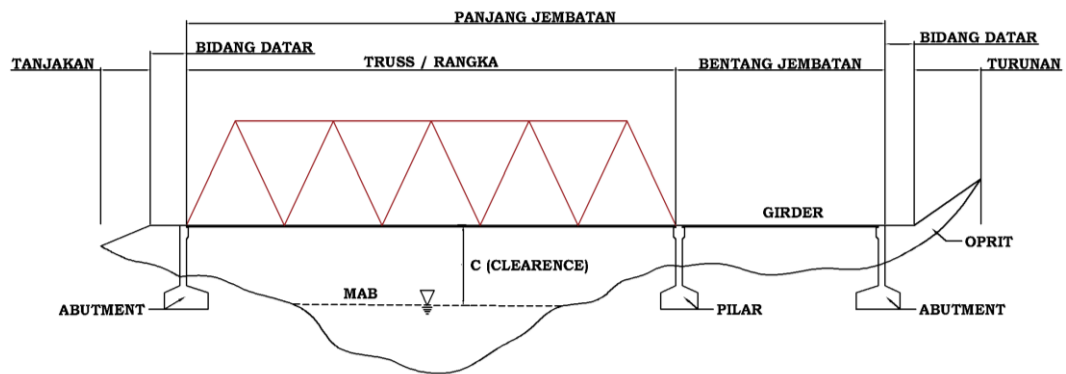


2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Jembatan

Jembatan merupakan bangunan pelengkap jalan yang berfungsi sebagai penghubung dua ujung jalan yang terpisah oleh sungai, saluran, lembah dan selat atau laut, serta jalan raya dan jalan kereta api (Pedoman Bahan Konstruksi Bangunan Dan Rekayasa Sipil Persyaratan Umum Perencanaan Jembatan, 2015). Jembatan terdiri dari bangunan atas dan bangunan bawah, dan bangunan pelengkap dan pengaman. Berdasarkan (Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018) potongan memanjang jembatan dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Potongan Memanjang Jembatan

Sumber: (Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018)

2.1.1 Bangunan Atas (*Upper Structure*)

Bangunan atas jembatan (*Upper Structure*) adalah bagian dari konstruksi jembatan yang berfungsi memikul beban berupa beban hidup, yang bekerja pada bangunan atas yang disebabkan oleh kendaraan, arus lalu lintas dan selanjutnya disalurkan pada bangunan bawah. Bagian – bagian dari bangunan atas yaitu, lantai kendaraan, struktur pemikul utama, struktur pendukung dan perletakan.

2.1.2 Bangunan Bawah (*Sub Structure*)

Bangunan bawah jembatan (*Sub Structure*) adalah bagian dari suatu konstruksi jembatan yang berfungsi untuk memikul beban bangunan atas yang

selanjutnya disalurkan ke fondasi jembatan. Berikut merupakan konstruksi bangunan bawah jembatan.

2.1.2.1 Fondasi

Fondasi adalah struktur bawah jembatan yang berfungsi untuk memikul beban bangunan atas untuk disalurkan ke tanah. Fondasi terdiri dari dua jenis yaitu fondasi dangkal dan fondasi dalam. Bentuk bangunan fondasi disesuaikan dengan jenis tanah dasar, hal tersebut dilakukan untuk mengatasi masalah penurunan dan daya dukung tanahnya.

2.1.2.2 Pilar

Pilar jembatan adalah bangunan bawah jembatan yang berfungsi untuk memikul beban yang bekerja pada jembatan dan meneruskan beban ke fondasi. Pilar jembatan harus mempertimbangkan pola aliran sungai untuk mempertimbangkan kekuatan dan keamanan dalam perencanaan. Jenis pilar yang digunakan disesuaikan dengan kondisi lingkungan, beban yang bekerja pada jembatan dan pertimbangan ekonomi.

2.1.2.3 Abutment

Abutment atau kepala jembatan adalah struktur penghubung antara jalan dengan jembatan yang berfungsi untuk meneruskan beban struktur atas ke fondasi, dan tembok penahan tekanan tanah aktif. Dalam satu jembatan *abutment* berjumlah 2, *abutment* berada di masing – masing ujung jembatan terletak pada dinding/lereng sungai yang stabil dan berada pada alur air yang lurus untuk menghindari tidak berfungsinya sungai akibat perpindahan alur sungai.

2.1.3 Bangunan Pelengkap

2.1.3.1 Trotoar dan Sandaran

Trotoar dan sandaran adalah bangunan pelengkap jembatan yang berfungsi untuk menjamin keamanan dan kenyamanan pejalan kaki yang melewati jembatan. Terdapat beberapa ketentuan yang perlu diperhatikan dalam perencanaan trotoar, ketentuan yang perlu diperhatikan diantaranya sebagai berikut.

1. Trotoar dibuat lebih tinggi dari lantai jembatan minimum 0,25 m dari permukaan lantai kendaraan.

2. Tepi trotoar bagian luar dipasang kerb minimum setinggi 0,25 m.
3. Lebar trotoar minimum 0,50 m.
4. Trotoar dipasang sandaran untuk menjaga keamanan dan kenyamanan pejalan kaki.
5. Tinggi sandaran minimum setinggi pinggang manusia setinggi $\pm 0,9$ m.
6. Sandaran harus dibuat mampu menahan beban orang yang bekerja pada bagian atas sandaran sebesar 0,1 ton.

2.1.3.2 Suar Muai (*Expansion Joint*)

Suar muai merupakan bangunan pelengkap jembatan yang berfungsi untuk mengizinkan pembebanan lalu lintas dan gerakan akibat perubahan suhu, rangkai dan susut dari suatu material agar tidak terjadi tegangan berlebih pada struktur.

2.1.3.3 Drainase

Drainase merupakan bangunan pelengkap yang berfungsi mengalirkan kelebihan air baik pada permukaan maupun dibawah permukaan. Dalam perencanaan suatu drainase diperlukan analisis hidrologi untuk mendapatkan data besar aliran air permukaan ataupun pembuangan yang harus ditampung.

2.1.3.4 Timbunan Oprit Jembatan

Oprit jembatan atau jalan pendekat yaitu segmen yang menghubungkan antara kepala jembatan dengan konstruksi perkerasan jalan raya. Oprit merupakan konstruksi timbunan tanah yang dipadatkan secara khusus untuk menghindari penurunan dan kelongsoran. Timbunan oprit jembatan berada di belakang abutment jembatan.

Kondisi tanah pada timbunan oprit perlu diperhatikan untuk menghindari dari penurunan dan kelongsoran. Apabila timbunan oprit berdiri diatas tanah lunak perlu dilakukan penanganan berupa perbaikan atau perkuatan tanah. Perkuatan timbunan sebaiknya dilakukan sebelum pembangunan abutment, hal tersebut dilakukan untuk mendapatkan kondisi tanah dasar yang baik. Perkuatan dapat dilakukan dengan menggunakan cerucuk, *mini pile* dan tiang pancang. Timbunan oprit perlu diperhatikan dalam perencanaannya sehingga dapat mendukung konstruksi jembatan sesuai dengan perencanaan.

2.2 Jalan

Jalan merupakan infrastruktur transportasi darat yang mencakup seluruh komponen jalur lalu lintas beserta struktur pendukungnya, seperti jembatan, terowongan dan fasilitas penunjang lainnya. Jalan dapat dibangun diatas permukaan tanah, dibawah tanah maupun diatas perairan, namun tidak termasuk jalan rel, jalan lori dan jalan kabel (Undang - Undang Nomor 2 Tahun 2022 Tentang Perubahan Kedua Atas Undang - Undang Nomor 38 2004 Tentang Jalan, 2022).

2.3 Tanah

Tanah merupakan sekumpulan mineral, bahan organik, dan endapan yang relative lepas (*loose*), yang berada diatas batuan dasar (*bedrock*) (Hardiyatmo, 2019). Pembentukan tanah diakibatkan proses pelapukan batuan atau proses geologi lainnya yang terjadi didekat permukaan bumi. Proses pembentukan tanah dapat terjadi secara fisik maupun kimia. Proses pembentukan tanah secara fisik terjadi dengan mengubah batuan menjadi partikel – partikel lebih kecil yang diakibatkan oleh perubahan suhu, pengaruh erosi, angin, dan manusia. Proses pembentukan tanah secara kimia terjadi akibat pengaruh oksigen, karbon dioksida, dan air yang mengandung asam atau alkali.

Berdasarkan sifat lekatnya tanah diklasifikasikan menjadi tanah kohesif, tanah non – kohesif dan tanah organik. Tanah kohesif adalah tanah dengan butir halus dengan daya lekat satu sama lain seperti tanah lempung. Tanah non–kohesif merupakan tanah yang tidak memiliki daya lekat atau memiliki sedikit daya lekat antar butir atau hampir tidak mengandung lempung seperti tanah pasir. Sedangkan tanah organik adalah tanah yang memiliki sifat sangat terpengaruh oleh bahan – bahan organik seperti tumbuhan dan sisa hewani (Fahriana et al., 2019).

Pada analisis timbunan dan stabilitas diperlukan parameter tanah dasar. Parameter tanah dapat diperoleh dari hasil pengujian tanah di lapangan, seperti Uji *Standard Penetration* (SPT), Uji *Cone Penetration Test with Pore Pressure Measurement* (CPTu) dan Uji Laboratorium. Apabila proses pengambilan data memiliki keterbatasan, data yang diperoleh dapat digunakan untuk mencari data yang tidak ada dengan menggunakan analisis nilai korelasi dengan nilai tipikal.

2.4 Klasifikasi Tanah

Klasifikasi tanah merupakan pengelompokan tanah berdasarkan kesamaan dan kemiripan sifat dan ciri morfologi, fisika, kimia, dan mineralogi. Hal tersebut dilakukan dengan tujuan untuk memudahkan dalam mengenali, mengingat, memahami, menggunakan dan membedakan antara satu dengan yang lain melalui pemberian nama (S et al., 2014).

Klasifikasi tanah menurut USCS, MT, AASTHO, USDHA, dan ASTM terdiri atas kerikil (*gravel*), pasir (*sand*), lanau (*silt*), lempung (*clay*), dan koloid (Hardiyatmo, 2019).

Tabel 2.1 Klasifikasi Butir Tanah Berdasarkan USCS, ASTM, AASTHO, MIT, USDA

No	Nama Organisasi	Ukuran Butiran (mm)				
		Kerikil (<i>Gravel</i>)	Pasir (<i>Sand</i>)	Lempung (<i>Clay</i>)	Lanau (<i>Silt</i>)	Koloid
1	<i>Unified Soil Classification System</i> (USCS)	75–4,75	4,75–0,075	<0,075	<0,075	
2	<i>American Society for Testing and Materials</i> (ASTM)	75–4,75	4,75–0,075	0,005–0,001	0,075–0,005	<0,001
3	<i>American Association of Highway and Transportation Officials</i> (AASTHO)	75–2	2–0,075	0,005–0,001	0,075–0,005	<0,001
4	<i>Massachusetts Institute of Technology</i> (MIT)	60–2	2–0,06	< 0,002	0,06–0,002	

No	Nama Organisasi	Ukuran Butiran (mm)				
		Kerikil (Gravel)	Pasir (Sand)	Lempung (Clay)	Lanau (Silt)	Koloid
5	United State Department of Agriculture (USDA)	75–2	2–0,05	< 0,002	0,05–0,001	

Sumber: (Hardiyatmo, 2019)

Pengembangan sistem klasifikasi dilakukan oleh berbagai yang organisasi di atas. Pada umumnya sistem pengklasifikasian yang digunakan yaitu sistem klasifikasi *Unified Soil Classification System* (USCS) dan *American Association of Highway and Transportation Officials* (AASHTO).

2.4.1 Klasifikasi Tanah *Unified Soil Classification System* (USCS)

Klasifikasi tanah *Unified Soil Classification System* (USCS) merupakan sistem klasifikasi yang dikembangkan oleh Casagrande pada tahun 1942 (Das & Sobhan, 2014). Pada sistem klasifikasi ini, tanah berbutir kasar (kerikil dan pasir) diklasifikasikan berdasarkan tingkatan butirnya. Tanah berbutir halus (lanau dan lempung) dan tanah organik diklasifikasikan berdasarkan plastisitas tanah tersebut. Klasifikasi tanah berdasarkan *Unified Soil Classification System* (USCS) secara lebih rinci dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Pada klasifikasi tanah *Unified Soil Classification System* (USCS), tanah diklasifikasikan berdasarkan dua kategori sebagai berikut.

1. Tanah berbutir kasar yang terdiri dari kerikil dan pasir, dengan < 50 % tanah yang lolos dari saringan No. 200. Simbol dari kelompok ini yaitu G untuk *gravel* dan S untuk *sand*.
2. Tanah berbutir halus terdiri dari > 50 % tanah yang lolos dari saringan No. 200. Simbol dari kelompok ini yaitu C untuk *clay*, O untuk lanau organik, dan Pt untuk *peat* atau tanah gambut, dengan kandungan organik tanah yang tinggi.

UNIFIED SOIL CLASSIFICATION AND SYMBOL CHART		
COARSE-GRAINED SOILS (more than 50% of material is larger than No. 200 sieve size.)		
GRAVELS More than 50% of coarse fraction larger than No. 4 sieve size	Clean Gravels (Less than 5% fines)	
	GW	Well-graded gravels, gravel-sand mixtures, little or no fines
	GP	Poorly-graded gravels, gravel-sand mixtures, little or no fines
	Gravels with fines (More than 12% fines)	
	GM	Silty gravels, gravel-sand-silt mixtures
	GC	Clayey gravels, gravel-sand-clay mixtures
SANDS 50% or more of coarse fraction smaller than No. 4 sieve size	Clean Sands (Less than 5% fines)	
	SW	Well-graded sands, gravelly sands, little or no fines
	SP	Poorly graded sands, gravelly sands, little or no fines
	Sands with fines (More than 12% fines)	
	SM	Silty sands, sand-silt mixtures
	SC	Clayey sands, sand-clay mixtures

FINE-GRAINED SOILS (50% or more of material is smaller than No. 200 sieve size.)		
SILTS AND CLAYS Liquid limit less than 50%	ML	Inorganic silts and very fine sands, rock flour, silty of clayey fine sands or clayey silts with slight plasticity
	CL	Inorganic clays of low to medium plasticity, gravelly clays, sandy clays, silty clays, lean clays
	OL	Organic silts and organic silty clays of low plasticity
SILTS AND CLAYS Liquid limit 50% or greater	MH	Inorganic silts, micaceous or diatomaceous fine sandy or silty soils, elastic silts
	CH	Inorganic clays of high plasticity, fat clays
	OH	Organic clays of medium to high plasticity, organic silts
HIGHLY ORGANIC SOILS	PT	Peat and other highly organic soils

Gambar 2.2 Klasifikasi Tanah dan Simbol Berdasarkan USCS
Sumber: (Khander et al., 2015)

Berikut merupakan simbol – simbol huruf yang digunakan pada pengklasifikasian *Unified Soil Classification System* (USCS).

- G = kerikil (*gravel*)
- S = pasir (*sand*)
- C = lempung (*clay*)
- M = lanau (*silt*)
- O = lanau atau lempung organik (*organic silt or clay*)
- Pt = tanah gambut dan tanah organik tinggi (*peat and highly organic soil*)
- W = gradasi baik (*well graded*)
- P = gradasi buruk (*poorly graded*)
- H = plastisitas tinggi (*high plasticity*)
- L = plastisitas rendah (*low plasticity*)

Pengaruh kadar air pada sifat mekanis tanah perlu diketahui dalam permasalahan geoteknik untuk memastikan akurasi dalam analisis kuat geser daya dukung, dan kompresibilitas tanah yang menjadi dasar perhitungan desain struktur. Batas cair, batas plastis, batas susut dan indeks plastisitas tanah diuraikan berikut.

1. Batas Cair (*Liquid Limit*)

Batas cair (LL) merupakan keadaan dimana kadar air tanah berada pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis, yaitu berada pada batas atas dari daerah plastis (Hardiyatmo, 2019).

2. Batas Plastis (*Plastic Limit*)

Batas plastis (PL) merupakan keadaan dimana kadar air berada pada kedudukan antara daerah plastis dan semi padat (Hardiyatmo, 2019).

3. Batas Susut (*Shrinkage Limit*)

Batas susut (SL) merupakan kondisi dimana keadaan tanah berada pada keadaan semi padat dan padat. Dengan persentase pengurangan kadar air tidak mengakibatkan perubahan volume pada tanah (Hardiyatmo, 2019).

4. Indeks Plastisitas (*Plasticity Index*)

Indeks plastisitas (PI) merupakan selisih batas cair dan batas plastis. Indeks plastisitas dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan (2.1).

$$PI = LL - PL \quad (2.1)$$

Dimana:

PI = indeks plastisitas

LL = batas cair

PL = batas plastis

Tanah dengan indeks plastisitas tinggi, mengandung banyak tanah lempung. Tanah dengan indeks plastisitas rendah, terdapat sedikit pengurangan kadar air yang mengakibatkan tanah kering seperti lanau. Atterberg mendefinisikan Batasan mengenai indeks plastisitas, sifat, macam tanah dan kohesi seperti pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Batasan Nilai *Plasticity Index*

No	PI	Sifat	Macam Tanah	Kohesi
1	0	Tidak Plastis	Pasir	Tidak Kohesif
2	<7	Plastis Rendah	Lanau	Kohesif Sebagian
3	7 – 17	Plastis Sedang	Lempung Berlanau	Kohesif
4	>17	Plastis Tinggi	Lempung	Kohesif

Sumber: (Hardiyatmo, 2019)

Tabel 2.3 Sistem Klasifikasi *Unified Soil Classification System* (USCS)

Divisi Utama			Simbol	Nama Jenis		Kriteria Laboratorium	
Tanah berbutir kasar 50% atau lebih tertahan saringan No. 200(0.075 mm)	Kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar tertahan saringan no. 4 (4.75 mm)	Kerikil bersih (sedikit atau tak ada butiran halus)	GW	Kerikil gradasi baik dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	Klasifikasi berdasarkan persentase butiran halus : Kurang dari 5% lolos saringan no. 200 : GM, GP, SW, SP. 5% - 12% lolos saringan no. 200 : Batasan Klasifikasi yang mempunyai simbol ganda	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4, C_u = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3	
			GP	Kerikil gradasi buruk dan campuran kerikil-pasir, atau tidak mengandung butiran halus		Tidak memenuhi kriteria GW	
		Kerikil banyak kandungan butiran halus	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lempung		Batas – batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI < 4$	Bila batas <i>Atterberg</i> berada di daerah arsir dari diagram plastisitas,
			GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung		Batas – batas <i>Atterberg</i> di	

Divisi Utama			Simbol	Nama Jenis		Kriteria Laboratorium	
	Pasir lebih dari 50% fraksi kasar lolos saringan no 4 (4.75 mm)	Kerikil bersih (sedikit atau tak ada butiran halus)			Lebih dari 12% lolos saringan no. 200 : GM, GC, SM, SC.	bawah garis A atau PI>7	maka dipakai simbol ganda
			SW	Pasir bergradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus		$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6, C_u = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3	
			SP	Pasir bergradasi buruk, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus		Tidak memenuhi kriteria SW	
		Kerikil banyak kandungan butiran halus	SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau		Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau PI<4	Bila batas <i>Atterberg</i> berada di daerah arsir
			SC	Pasir berlempung, campuran pasir-lempung		Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau PI>7	dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol ganda

Divisi Utama		Simbol	Nama Jenis	Kriteria Laboratorium
Tanah berbutir halus 50% atau lebih tertahan saringan No. 200 (0.075 mm)	Lanau dan lempung batas cair 50% atau kurang	ML	Lanau tak organik dan pasir sangat halus, serbuk batuan atau pasir halus berlanau atau berlempung	<p>The figure is a plasticity chart with Plasticity Index (PI) on the y-axis (0 to 60) and Liquid Limit (LL) on the x-axis (0 to 100). It defines regions for soil classification: CL-ML (low plasticity clay/fine sand), ML & OL (medium plasticity clay/fine sand), CL (clay), CH (clay of high plasticity), and MH & OH (silt of high plasticity). Two boundary lines are shown: the A-line ($PI = 0.73(LL - 20)$) and the U-line (approximate upper limit for natural soils, $PI = 0.9(LL - 8)$).</p>
		CL	Lempung tak organik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung kurus (<i>lean clays</i>)	
		OL	Lanau organik dan lempung berlanau <i>organic</i> dengan plastisitas rendah	
	Lanau dan lempung batas cair > 50%	MH	Lanau tak organik atau pasir halus diatomae, atau lanau diatomae, lanau yang elastis	

Divisi Utama		Simbol	Nama Jenis		Kriteria Laboratorium
		CH	Lempung tak organik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk (<i>fat clays</i>)		
		OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi		
Tanah dengan kadar organik tinggi		PT	Gambut (<i>peat</i>) dari tanah lain dengan kandungan organik tinggi	Manual untuk identitas visual dapat dilihat di ASTM <i>Designation</i> D – 2488	

Sumber: (Hardiyatmo, 2019)

2.4.2 Klasifikasi Tanah *American Association of Highway and Transportation Officials* (AASHTO)

Sistem klasifikasi tanah *American Association of Highway and Transportation Officials* (AASHTO) digunakan untuk menentukan kualitas tanah pada perencanaan timbunan jalan, *subbase* dan *subgrade* (Hardiyatmo, 2019). Sistem klasifikasi ini mengklasifikasikan tanah menjadi 8 kelompok. Terdapat beberapa sub kelompok dari A – 1 sampai dengan A – 8. Tanah pada setiap kelompoknya dievaluasi terhadap indeks kelompoknya yang dihitung dengan rumus – rumus empiris. Pengujian pada klasifikasi AASHTO menggunakan analisis saringan dan batas – batas *Atterberg*.

Indeks kelompok (*group index*) digunakan untuk mengevaluasi lebih lanjut tanah yang ada dalam kelompoknya. Indeks kelompok dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2.2) berikut.

$$GI = (F - 35)[0,2 + 0,005(LL - 40) + 0,01(F - 15)(PI - 10)] \quad (2.2)$$

Dimana:

GI = indeks kelompok (*group index*)

F = persen butiran lolos saringan no. 200 (0.075 mm)

LL = batas cair

PI = indeks plastisitas

Apabila nilai indeks kelompok (GI) semakin tinggi, maka ketepatan penggunaan tanah akan semakin berkurang. Detail dari sistem klasifikasi *American Association of Highway and Transportation Officials* (AASHTO) dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Sistem Klasifikasi AASHTO

Klasifikasi Umum	Material Granular ($\leq 35\%$ Lolos Saringan No. 200)							Tanah Lanau – Tanah Lempung ($> 35\%$ Lolos Saringan No. 200)			
Klasifikasi Kelompok	A – 1		A – 3	A – 2				A – 4	A – 5	A – 6	A – 7
	A – 1a	A – 1b		A – 2 – 4	A – 2 – 5	A – 2 – 6	A – 2 – 7				A – 7 – 5 ^a A – 7 – 5 ^b
Analisis Saringan (% lolos)											
No. 10	50 maks	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
No. 40	30 maks	50 maks	51 min	-	-	-	-	-	-	-	-
No. 200	15 maks	25 maks	10 maks	35 maks	35 maks	35 maks	35 maks	35 maks	35 maks	35 maks	35 maks
Sifat Fraksi Lolos Saringan No. 40 <i>Liquid Limit</i> (LL)	-		-	40 maks	41 min	40 maks	41 min	40 maks	41 min	40 maks	41 min

Klasifikasi Umum	Material Granular (≤ 35% Lolos Saringan No. 200)						Tanah Lanau – Tanah Lempung (> 35% Lolos Saringan No. 200)				
Klasifikasi Kelompok	A – 1		A – 3	A – 2				A – 4	A – 5	A – 6	A – 7
	A – 1a	A – 1b		A – 2 – 4	A – 2 – 5	A – 2 – 6	A – 2 – 7				A – 7 – 5 ^a A – 7 – 5 ^b
Plasticity Index (PI)	6 maks		NP	10 maks	10 maks	11 min	11 min	10 maks	10 maks	11 min	11 min
Tipe material pokok pada umumnya	Pecahan batu, kerikil, dan pasir		Pasir halus	Kerikil berlanau atau berlempung dan pasir				Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Penilaian umum sebagai tanah dasar	Sangat baik sampai baik						Sedang sampai buruk				

Catatan:

Kelompok A – 7 dibagi atas A – 7 – 5 dan A – 7 – 6 bergantung pada batas plastisnya (PL)

Untuk $PL > 30$, klasifikasi A – 7 – 5

Untuk $PL < 30$, klasifikasi A – 7 – 6

Sumber: (Hardiyatmo, 2019)

2.5 Parameter tanah

2.5.1 Berat Jenis Tanah

Berat jenis tanah merupakan perbandingan antara berat tanah dengan volume tanah. Tujuan dari pengujian berat jenis tanah adalah untuk mengetahui kepadatan suatu tanah baik dalam kondisi normal maupun tersaturasi. Berat isi tanah dapat diklasifikasikan berdasarkan kondisi tanah, dimana berat jenis tanah tersaturasi dan berat jenis tanah kering dapat diperoleh dari pendekatan pada Tabel 2.5 berikut ini.

Tabel 2.5 Berat Isi Tanah (γ_n) dan Berat Isi Tanah Tersaturasi (γ_{sat})

		Bulk unit weight (kN/m^3)		Saturated unit weight (kN/m^3)	
		<i>Loose</i>	<i>Dense</i>	<i>Loose</i>	<i>Dense</i>
<i>Granular soil</i>	<i>Gravel</i>	16,0	18,0	20,0	21,0
	<i>Well grade sand and gravel</i>	19,0	21,0	21,5	23,0
	<i>Coarse and medium sand</i>	16,5	18,5	20,0	21,5
	<i>Well graded sand</i>	18,0	21,0	20,5	22,5
	<i>Fine or silty sand</i>	17,0	19,0	20,0	21,5
	<i>Rock fill</i>	15,0	17,5	19,5	21,5
	<i>Brick hardcore</i>	13,0	17,5	16,5	19,0
	<i>Slag fill</i>	12,0	15,0	18,0	20,0
	<i>Ash fill</i>	6,5	10,0	13,0	15,0
<i>Cohesive Soil</i>	<i>Peat (high variability)</i>	12,0		12,0	
	<i>Organic clay</i>	15,0		15,0	
	<i>Soft clay</i>	17,0		17,0	
	<i>Firm clay</i>	18,0		18,0	
	<i>Stiff clay</i>	19,0		19,0	
	<i>Hard clay</i>	20,0		20,0	
	<i>Stiff or hard glacial clay</i>	21,0		21,0	

Sumber: (Ameratunga et al., 2016)

2.5.2 Angka Pori (e_0)

Angka pori merupakan perbandingan volume rongga (V_v) dengan volume butiran (V_s) dan biasanya dinyatakan dalam desimal. Angka pori tanah dikategorikan berdasarkan kondisi tanah seperti pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Angka Pori (e_0)

<i>Type of Soil</i>	<i>Void Ratio (e)</i>	<i>Natural Moisture Content in a saturated state (%)</i>	<i>Dry Uniy Weight (γ_{dry})</i>
			kN/m³
<i>Loose uniform sand</i>	0,8	30	14,5
<i>Dense uniform sand</i>	0,45	16	18
<i>Loose angular – grained silty sand</i>	0,65	25	16
<i>Dense angular – grained silty sand</i>	0,4	15	19
<i>Stiff clay</i>	0,6	21	17
<i>Soft clay</i>	0,9 – 1,4	30 – 50	11,5 – 14,5
<i>Loess</i>	0,9	25	13,5
<i>Soft organic clay</i>	2,5 – 3,2	90 – 120	6 – 8
<i>Glacial till</i>	0,3	10	21

Sumber: (Das & Sobhan, 2014)

2.5.3 Indeks Pemampatan (C_c)

Indeks pemampatan atau *compression index* merupakan salah satu parameter yang digunakan untuk memprediksi penurunan (*settlement*) tanah yang mengalami pemampatan akibat dari beban yang terjadi di atasnya (Rostikasari et al., 2016). Nilai indeks kompresi didapatkan dengan melakukan pengujian laboratorium menggunakan *oedometer*, selain itu didapatkan berdasarkan perhitungan menggunakan rumus empiris yang melibatkan parameter tanah lainnya atau menggunakan korelasi nilai tipikal.

Nilai indeks kompresi untuk tanah lempung *normally consolidated* dapat ditentukan dengan menggunakan rumus empiris yang dikemukakan oleh Skempton (1944) yang ditunjukkan oleh Persamaan (2.3) atau menggunakan nilai tipikal seperti pada Tabel 2.7.

$$C_c = 0,007(LL-10) \quad (2.3)$$

Tabel 2.7 Indeks Kompresi (Cc)

<i>Type Of Clay</i>	<i>Descriptive Term ^a</i>	<i>Coefficient Of Volume Compressibility, m_v (m^2/MN)</i>	<i>Compression Indeks, C_c^b</i>
<i>Hard, heavily overconsolidated Glacial Till (Boulder Clay), stiff weathered rocks (e.g. completely weathered mudstone) and hard clays</i>	<i>Very low compressibility</i>	<i><0,05</i>	<i>0,025</i>
<i>Stiff Glacial Till (Boulder Clay), marls, very stiff tropical residual clays</i>	<i>Low compressibility</i>	<i>0,05 – 0,1</i>	<i>0,025 – 0,05</i>
<i>Firm clays, glacial outwash clays, consolidated lake deposits, weathered marls, firm glacial till, normally consolidated clays at depth, firm tropical residual clays</i>	<i>Medium compressibility</i>	<i>0,1 – 0,3</i>	<i>0,05 – 0,15</i>
<i>Poorly consolidated alluvial clays such as</i>	<i>High compressibility</i>	<i>0,3 – 1,5</i>	<i>0,15 -0,75</i>

<i>Type Of Clay</i>	<i>Descriptive Term ^a</i>	<i>Coefficient Of Volume Compressibility, m_v (m^2/MN)</i>	<i>Compression Indeks, Cc^b</i>
<i>estuarine deposits, and sensitive clays</i>			
<i>Highly organic alluvial clays and peats</i>	<i>Very High compressibility</i>	<i>>1,5</i>	<i>0,75 – 5+</i>
^a <i>Related to the coefficient of volume compressibility m_v.</i> ^b <i>Based on an initial voids ratio of 0,5 and initial and final pressures of 100 kPa and 200 kPa, respectively.</i>			

Sumber: (Michael Carter; Stephen P. Bentley, 2016)

2.5.4 Indeks Pengembangan (Cs)

Indeks pengembangan atau *swell index* merupakan kemampuan tanah untuk mengembang ketika menyerap air. Nilai dari indeks swelling umumnya lebih kecil dibandingkan indeks kompresi dan diperoleh dari hasil pengujian laboratorium. Indeks pengembangan (Cs) dapat dihitung menggunakan Persamaan (2.4) berikut.

$$C_s = \frac{1}{5} \text{ sampai } \frac{1}{10} C_c \quad (2.4)$$

2.5.5 Modulus Elastisitas (E)

Modulus elastisitas merupakan gambaran kekakuan material tanah terhadap bentuk atau deformasi yang disebabkan oleh adanya daya yang diberikan pada tanah. Nilai modulus elastisitas dapat diperoleh dari pengujian *Unconfined Compression Test*, *Triaxial* di laboratorium atau melalui korelasi nilai tipikal berdasarkan jenis tanah. Perkiraan nilai modulus elastisitas tanah pada material tanah dapat dilihat pada Tabel 2.8 berikut.

Tabel 2.8 Modulus Elastisitas Tanah (E)

<i>Type</i>	<i>Strength of soil</i>	<i>Elastic Modulus (Mpa)</i>	
		<i>Short Term</i>	<i>Long term</i>
<i>Gravel</i>	<i>Loose</i>	25 – 50	
	<i>Medium</i>	50 – 100	
	<i>Dense</i>	100 – 200	
<i>Medium to coarse sand</i>	<i>Very loose</i>	<5	
	<i>Loose</i>	3 – 10	
	<i>Medium dense</i>	8 – 30	
	<i>Dense</i>	25 – 50	
	<i>Very dense</i>	40 – 100	
<i>Fine sand</i>	<i>Loose</i>	5 – 10	
	<i>Medium</i>	10 – 25	
	<i>Dense</i>	25 – 50	
<i>Silt</i>	<i>Soft</i>	<10	<8
	<i>Stiff</i>	10 – 20	8 – 15
	<i>Hard</i>	>20	>15
<i>Clay</i>	<i>Very soft</i>	<3	<2
	<i>Soft</i>	2 – 7	1 – 5
	<i>Firm</i>	5 – 12	4 – 8
	<i>Stiff</i>	10 – 25	7 – 20
	<i>Very stiff</i>	20 – 50	15 – 35
	<i>Hard</i>	40 – 80	30 – 60

Sumber: (Look, 2007)

Modulus elastisitas rata – rata dihitung untuk mewakili kondisi tanah secara keseluruhan. Modulus elastisitas rata – rata dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2.5) berikut.

$$\bar{E}_s = \frac{\sum E_s(i) \times \Delta z}{\bar{z}} \quad (2.5)$$

Dimana:

$E_s(i)$ = modulus elastisitas lapisan i

z = kedalaman lapisan

2.5.6 Angka Poisson's (μ)

Angka poisson's atau poisson's ratio yaitu nilai perbandingan antara regangan lateral dengan tegangan aksial yang digunakan untuk menghubungkan besar modulus elastisitas dengan modulus geser. Rentang yang dapat digunakan untuk menentukan nilai angka poisson's disajikan pada Tabel 2.9.

Tabel 2.9 Angka poisson's (μ)

<i>Type Of Soil</i>	Angka Poisson (μ)
<i>Loose sand</i>	0,2 – 0,4
<i>Medium sand</i>	0,25 – 0,4
<i>Dense sand</i>	0,3 – 0,45
<i>Silty sand</i>	0,2 – 0,4
<i>Soft clay</i>	0,15 – 0,25
<i>Medium clay</i>	0,2 – 0,5

Sumber: (Das & Sobhan, 2014)

Angka poisson's rata – rata dihitung untuk mewakili kondisi tanah secara keseluruhan. Angka poisson's rata – rata dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2.6) berikut.

$$\bar{\mu}_s = \frac{\sum \mu_s(i) \times \Delta z}{\bar{z}} \quad (2.6)$$

Dimana:

$\mu_s(i)$ = Angka poisson's lapisan i

z = kedalaman lapisan

2.5.7 Koefisien Konsolidasi Arah Vertikal (C_v)

Koefisien konsolidasi vertikal (C_v) merupakan kecepatan pengaliran air pada arah vertikal di dalam tanah. Pada umumnya konsolidasi berlangsung satu arah pada arah vertikal. Koefisien konsolidasi berpengaruh pada kecepatan

konsolidasi yang akan terjadi. Nilai koefisien arah vertikal disajikan pada Tabel 2.10 sebagai berikut.

Tabel 2.10 Koefisien Konsolidasi Arah Vertikal (C_v)

<i>Soil type (Unified Classification)</i>	C_v	
	cm^2/s	m^2/a
<i>Low plasticity clays (CL)</i>	0,001 – 0,006	3 – 19
<i>Low plasticity glacial lake clays (CL)</i>	0,0006 – 0,0009	2 – 3
<i>Low plasticity mud (CL)</i>	0,0002 – 0,0004	0,6 – 1,2
<i>Medium plasticity clays (CL – CH)</i>	<0,0001 – 0,00015	<0,3 – 0,9
<i>Volcanic silt (MH)</i>	0,0001 – 0,00015	0,3 – 0,5
<i>Organic silt (OL)</i>	0,0002 – 0,001	0,6 – 0,3

Sumber: (Carter & Bentley, 2016)

2.5.8 Kohesi (C_u)

Kohesi (C_u) yaitu gaya tarik menarik antar partikel tanah. Ketahanan tanah terhadap deformasi akibat tegangan yang bekerja pada tanah dipengaruhi oleh besarnya nilai kohesi. Kohesi dibedakan menjadi dua yaitu kohesi tak terdrainase (C_u) dan kohesi efektif (c'). Kohesi pada tanah dapat diperoleh melalui uji laboratorium berupa uji triaksial, uji kuat tekan bebas dan uji geser langsung, korelasi nilai tipikal berdasarkan jenis tanah atau menggunakan Persamaan (2.7) berikut (Look, 2007).

$$C_u = 5 \times N - SPT \quad (2.7)$$

2.5.9 Sudut Geser

Sudut geser tanah merupakan gaya perlawanan tanah untuk menahan tarikan maupun desakan (Hardiyatmo, 2019). Nilai sudut geser pada tanah perlu diketahui karena diperlukan dalam analisis daya dukung tanah, stabilitas lereng, gaya dorong dinding penahan tanah dan analisis lainnya (Hardiyatmo, 2019). Nilai sudut geser pada tanah pasir Nilai sudut geser dapat diperoleh secara langsung dari uji laboratorium. Apabila nilai sudut geser tidak diketahui maka dapat ditentukan menggunakan korelasi nilai tipikal berdasarkan jenis tanah dengan Tabel 2.11 berikut.

Tabel 2.11 Nilai Korelasi Sudut Geser

<i>State of Packing</i>	N-SPT	ϕ (degrees)
<i>Very Loose</i>	<4	<30 °
<i>Loose</i>	4 – 10	30 – 35 °
<i>Medium Dense</i>	10 – 30	35 – 40 °
<i>Dense</i>	30 – 50	40 – 45 °
<i>Very Dense</i>	>50	> 45 °

Sumber: (Look, 2007)

2.5.10 Kohesi Efektif (c') dan Sudut Geser Efektif (ϕ')

Nilai kohesi efektif (c') dan sudut geser efektif (ϕ') dapat diperoleh secara langsung melalui uji laboratorium. Apabila nilai kohesi efektif dan sudut geser efektif tidak diketahui maka dapat ditentukan melalui korelasi nilai tipikal berikut yang disajikan pada Tabel 2.12.

Tabel 2.12 Korelasi Nilai c' dan ϕ' dengan Jenis Tanah

<i>Soil group</i>	<i>Typical soils in group</i>	<i>Soil parameters</i>	
		c' (kPa)	ϕ' (degrees)
<i>Poor</i>	<i>Soft and firm clay of medium to high plasticity; silty clays; loose variable clayey fills; loose sandy silt</i>	0 – 5	17 – 25
<i>Average</i>	<i>Stiff sandy clays; gravelly clays; compact clayey sands and sandy silt; compacted clay fills</i>	0 – 10	26 – 32
<i>Good</i>	<i>Gravelly sands, compacted sands, controlled crushed sandstone and graveled fills, dense well graded sands</i>	0 – 5	32 – 37

<i>Soil group</i>	<i>Typical soils in group</i>	<i>Soil parameters</i>	
		<i>c' (kPa)</i>	<i>φ' (degrees)</i>
<i>Very good</i>	<i>Weak weathered rock, controlled fills of road base, gravel and recycled concrete</i>	0 – 25	36 – 43

Sumber: (Ameratunga et al., 2016)

2.5.11 Permeabilitas Tanah (K)

Permeabilitas tanah merupakan kemampuan dan kecepatan air mengalir pada tanah. Permeabilitas dari setiap jenis tanah berbeda-beda bergantung pada angka pori, derajat kejenuhan. Nilai permeabilitas tanah dapat diperoleh dari uji laboratorium, jika tidak diketahui maka dapat ditentukan dengan menggunakan korelasi Tabel 2.13 sebagai berikut.

Tabel 2.13 Korelasi Permeabilitas dengan Jenis Tanah

<i>Soil Type</i>	<i>Description</i>		<i>K (m/s)</i>	<i>Drainage</i>
<i>Cobbles and boulders</i>	<i>Flow may be trubulent, Darcy law may not be valid</i>		1	<i>Very good</i>
<i>Gravels</i>	<i>Coarse</i> <i>Clean</i>	<i>Uniformly graded</i> <i>coarse aggregate</i>	10^{-1} 10^{-2} 10^{-3}	
<i>Gravel sand mixtures</i>	<i>Clean</i>	<i>Well graded without fines</i>	10^{-4}	
<i>Sands</i>	<i>Clean, very fine</i> <i>Silty</i> <i>Stratified</i> <i>clay/silts</i>	<i>Fissured, desiccated, weathered clays</i> <i>Compacted clays – dry of optimum</i>	10^{-5} 10^{-6} 10^{-7} 10^{-8} 10^{-9} 10^{-10}	<i>Good</i>
<i>Silts</i>	<i>Homogeneous</i> <i>below zone of weathering</i>	<i>Compacted clays – wet of optimum</i>	10^{-11} 10^{-12}	<i>Poor</i>
<i>Clays</i>				<i>Practically impermeable</i>

<i>Soil Type</i>	<i>Description</i>	K (m/s)	<i>Drainage</i>
<i>Artificial</i>	<i>Bituminous, cements stabilized soil geosynthetic clay liner / Bentonite enriched soil concrete</i>		

Sumber: (Look, 2007)

Permeabilitas tanah terbagi menjadi 2 (dua) arah yaitu permeabilitas arah vertikal dan permeabilitas arah horizontal. Permeabilitas tanah arah vertikal (K_v) merupakan kemampuan tanah untuk mengalirkan air secara vertikal melalui pori – pori tanah. Permeabilitas tanah arah vertikal (K_v) dipengaruhi oleh ukuran butir, distribusi ukuran butir, struktur tanah, tingkat kejenuhan dan material penyusun tanah.

Tanah dengan pori – pori yang besar memiliki nilai koefisien permeabilitas tanah arah vertikal yang tinggi seperti pada tanah berbutir kasar, hal tersebut disebabkan oleh ruang pori pada tanah dengan butir kasar seperti pasir dan kerikil memiliki ruang pori yang cukup besar. Sedangkan pada tanah berbutir halus nilai koefisien permeabilitas tanah arah vertikal relatif kecil, hal tersebut disebabkan oleh ruang pori yang dimiliki oleh tanah berbutir halus seperti tanah lempung lebih rapat.

Permeabilitas tanah arah horizontal (K_h) adalah kemampuan tanah untuk mengalirkan air pada arah horizontal. Nilai Permeabilitas Tanah Arah Horizontal (K_h) lebih besar dibandingkan Permeabilitas Arah Vertikal (K_v) hal tersebut disebabkan oleh kondisi tanah yang anisotropik (Hamdan et al., 2018). Permeabilitas Tanah Arah Horizontal (K_h) dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2.8) atau menggunakan Persamaan (2.9) berikut.

$$K_h = 2 \text{ sampai } 10 \times K_v \quad (2.8)$$

$$K_h \approx \left(\frac{1}{251 \times t_{50}} \right)^{1,25} \quad (2.9)$$

Dimana:

K_h = Permeabilitas Arah Horizontal (m/hari)

K_v = Permeabilitas Arah Vertikal (m/hari)

2.6 Daya Dukung

2.6.1 Daya Dukung Tanah

Daya dukung tanah adalah kemampuan tanah untuk menahan beban yang diberikan tanpa mengalami keruntuhan atau penurunan yang berlebihan. Daya dukung ini sangat penting dalam perencanaan dan konstruksi bangunan, jembatan, serta infrastruktur lainnya. Semakin besar nilai daya dukung yang dimiliki maka semakin tinggi kemampuan tanah dalam menahan beban struktur. Faktor yang mempengaruhi daya dukung tanah meliputi jenis tanah, data properti tanah (uji sampel laboratorium) serta data sondir. Teori daya dukung menurut Terzaghi dapat digunakan untuk menghitung daya dukung tanah dengan Persamaan (2.10) sebagai berikut (Das & Sobhan, 2014).

$$Q_{ult} = C \cdot N_c + D_f \cdot N_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \quad (2.10)$$

Keterangan:

Q_{ult} = daya dukung ultimate (kN/m²)

C = nilai kohesi tanah (kN/m²)

γ = berat jenis tanah (kN/m³)

B = lebar timbunan (m)

N_c, N_q, N_γ = koefisien daya dukung tanah

Berdasarkan persamaan di atas, parameter N_c, N_q, N_γ dapat ditentukan dengan menggunakan korelasi sebagai berikut.

Tabel 2.14 Koefisien Daya Dukung Tanah

ϕ'	N_c	N_q	N_γ	ϕ'	N_c	N_q	N_γ
0	5,70	1,00	0,00	26	27,09	14,21	9,84
1	6,00	1,10	0,01	27	29,24	15,90	11,60
2	6,30	1,22	0,04	28	31,61	17,81	13,70
3	6,62	1,35	0,06	29	34,24	19,98	16,18

ϕ'	Nc	Nq	N γ	ϕ'	Nc	Nq	N γ
4	6,97	1,49	0,10	30	37,16	22,46	19,13
5	7,34	1,64	0,14	31	40,41	25,28	22,65
6	7,73	1,81	0,20	32	44,04	28,52	26,87
7	8,15	2,00	0,27	33	48,09	32,23	31,04
8	8,60	2,21	0,35	34	52,64	36,50	38,04
9	9,09	2,44	0,44	35	57,75	41,44	45,41
10	9,61	2,69	0,56	36	63,53	47,16	54,36
11	10,16	2,98	0,69	37	70,01	53,80	65,27
12	10,76	3,29	0,85	38	77,50	61,55	78,61
13	11,41	3,63	1,04	39	85,97	70,61	95,03
14	12,11	4,02	1,26	40	95,66	81,27	115,31
15	12,86	4,45	1,52	41	106,81	93,85	140,51
16	13,68	4,92	1,82	42	119,67	108,75	171,99
17	14,60	5,45	2,18	43	134,58	126,50	211,56
18	15,12	6,04	2,59	44	151,95	147,74	261,60
19	16,56	6,70	3,07	45	172,28	173,28	325,34
20	17,69	7,44	3,64	46	196,22	204,19	407,11
21	18,92	8,26	4,31	47	224,55	241,80	512,84
22	20,27	9,19	5,09	48	258,28	287,85	650,67
23	21,75	10,23	6,00	49	298,71	344,63	831,99
24	23,36	11,40	7,08	50	347,50	415,14	1072,80
25	25,13	12,72	8,34				

Sumber : (Das, 2016)

2.6.2 Daya Dukung Izin

Daya dukung izin merupakan perbandingan daya dukung ultimit tanah dengan faktor keamanan yang cukup terhadap kemungkinan keruntuhan (SNI 8460:2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik, 2017). Nilai daya dukung izin dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2.11) sebagai berikut.

$$Q_{all} = \frac{Q_{ult}}{FK} \quad (2.11)$$

Dimana:

Q_{all} = daya dukung izin (kN/m^2)

Q_{ult} = daya dukung ultimit (kN/m^2)

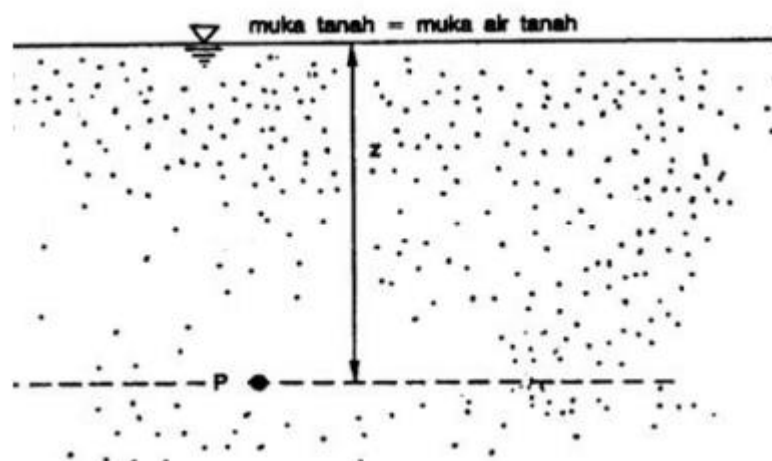
FK = faktor keamanan timbunan = 1,5 (SNI 8460:2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik, 2017)

Setelah mengetahui besar nilai beban rencana yang ditanggung oleh lapisan tanah dasar, maka dapat disimpulkan daya dukung berada dalam kategori aman apabila beban total timbunan lebih kecil dari kapasitas daya dukung ijin (Q_{all}) tanah.

2.7 Tegangan Dalam Tanah

2.7.1 Tegangan Efektif Akibat Berat Tanah

Tegangan efektif merupakan tegangan yang diakibatkan oleh berat tanah efektif di dalam tanah. Tegangan efektif mempengaruhi kuat geser dan perubahan volume atau penurunan tanah. Untuk menentukan tegangan efektif akibat beban tanah ditinjau dari massa tanah dan muka air tanah dipermukaan tanah yang ditinjau.



Gambar 2.3 Tegangan Efektif Lapisan Tanah
Sumber: (Hardiyatmo, 2019)

2.7.1.1 Tegangan Vertikal Total (σ_v)

Tegangan vertikal total merupakan tegangan normal yang bekerja pada bidang horizontal pada kedalaman z sama dengan berat seluruh tanah persatuan luas. Tegangan vertikal total dapat dihitung menggunakan Persamaan (2.12) berikut.

$$\sigma_v = \gamma_{sat} \times z \quad (2.12)$$

Dimana:

σ_v = tegangan vertikal total

γ_{sat} = berat volume tanah tersaturasi

z = kedalaman tanah

2.7.1.2 Tekanan Air Pori (u)

Tekanan air pori terjadi di antara butiran tanah dalam ruang pori yang terisi air. Tekanan air pori dapat dihitung menggunakan Persamaan (2.13) dan (2.14) berikut.

Tekanan Air Pori Di Atas Muka Air Tanah (MAT)

$$u = 0 \quad (2.13)$$

Tekanan Air Pori Di Bawah Muka Air Tanah (MAT)

$$u = \gamma_w \times z \quad (2.14)$$

Dimana:

u = tekanan air pori

γ_w = berat volume air

z = kedalaman tanah

2.7.1.3 Tegangan Vertikal Efektif (σ_v')

Tegangan vertikal efektif pada kedalaman z dapat dihitung menggunakan Persamaan (2.15) sebagai berikut.

$$\sigma_v' = \sigma_v - u \quad (2.15)$$

$$\sigma'_v = (\gamma_{sat} - \gamma_w) \times z \quad (2.16)$$

$$\sigma'_v = \gamma' \times z \quad (2.17)$$

Dimana:

σ'_v = tegangan vertikal efektif

σ_v = tegangan vertikal total

u = tekanan air pori

γ_{sat} = berat volume tanah tersaturasi

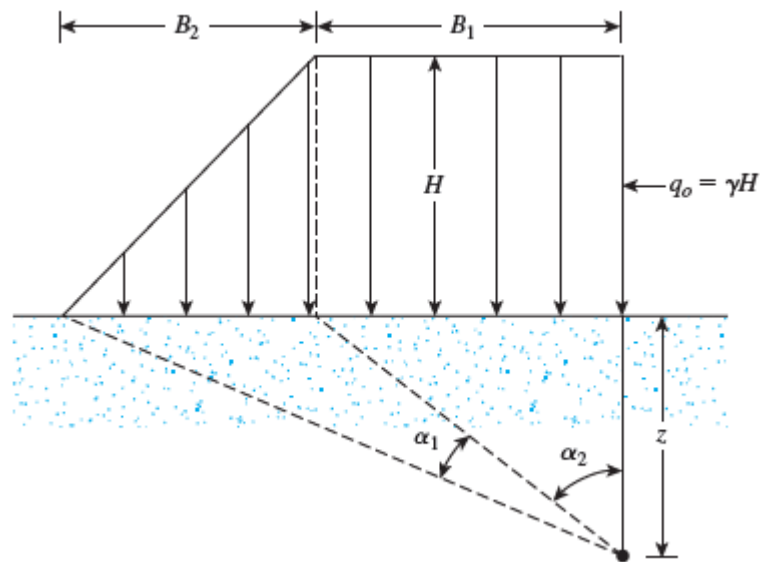
γ_w = berat volume air

γ' = berat volume efektif

z = kedalaman tanah

2.7.2 Distribusi Tegangan

Besarnya distribusi tegangan tanah yang diakibatkan oleh beban timbunan akan bervariasi sesuai dengan letak titik tinjau. Timbunan dapat menyebabkan peningkatan tegangan pada tanah dasar.



Gambar 2.4 Tegangan Tanah Akibat Beban Timbunan
Sumber: (Das, 2016)

Tegangan tanah akibat beban timbunan dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2.18) berikut.

$$\Delta\sigma_z = \frac{q_0}{\pi} \times \left[\left(\frac{B_1 + B_2}{B_2} \right) \times (\alpha_1 \alpha_2) - \left(\frac{B_1}{B_2} \times \alpha_2 \right) \right] \quad (2.18)$$

$$\alpha_1 = \tan^{-1} \left(\frac{B_1 + B_2}{z} \right) - \tan^{-1} \left(\frac{B_1}{z} \right) (radian) \quad (2.19)$$

$$\alpha_2 = \tan^{-1} \left(\frac{B_1}{z} \right) (radian) \quad (2.20)$$

$$q_0 = \gamma_{\text{timb}} \times h_{\text{timb}} \quad (2.21)$$

Dimana:

- q_0 = beban timbunan (kN/m^2)
- γ_{timb} = berat jenis timbunan (kN/m^3)
- h_{timb} = tinggi timbunan (m)
- $\Delta\sigma'$ = besar tegangan akibat pengaruh beban timbunan yang ditinjau di tengah – tengah lapisan (kN/m^2)
- B_1 = 1/2 lebar timbunan (m)
- B_2 = panjang proyeksi horizontal kemiringan timbunan (m)
- z = kedalaman yang ditinjau (m)

2.8 Penurunan Tanah

Salah satu permasalahan yang terjadi pada suatu pekerjaan konstruksi yang berdiri pada tanah lunak adalah penurunan tanah yang cukup besar. Penurunan (*settlement*) terjadi ketika tanah diberikan beban di atasnya, sehingga menyebabkan terjadinya peningkatan tegangan efektif dan peningkatan regangan. Peningkatan regangan terjadi akibat berkurangnya rongga pori pada tanah (Hakim, 2022).

Penurunan tanah akibat pembebanan yaitu akumulasi dari penurunan seketika dan penurunan konsolidasi. Penurunan tanah dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2.22) sebagai berikut.

$$S_t = S_i + S_c + S_s \quad (2.22)$$

Dimana:

- S_t = penurunan total

S_i = penurunan seketika

S_c = penurunan konsolidasi primer

S_s = penurunan konsolidasi sekunder

2.8.1 Penurunan Seketika (*Immediate Settlement*)

Penurunan seketika terjadi diakibatkan oleh adanya deformasi elastis pada tanah dalam kondisi kering, kondisi basah, maupun kondisi jenuh air, serta tidak terdapat perubahan kadar air. Penurunan seketika dapat dihitung menggunakan teori elastis. Persamaan (2.23) dapat digunakan untuk menghitung penurunan seketika sebagai berikut.

$$S_e = q_0 (\alpha B') \frac{1-\mu^2}{E_s} I_s I_f \quad (2.23)$$

Dimana:

S_i = penurunan seketika (m)

q_0 = beban timbunan (kN/m^2)

E_s = modulus elastisitas rata - rata

μ = angka poisson's

B' = lebar timbunan efektif

I_s = faktor bentuk

I_f = Faktor Kedalaman

a. Persamaan Faktor Bentuk

$$I_s = F_1 + \frac{1-2\mu}{1-\mu} F_2 \quad (2.24)$$

1. Nilai F_1

$$F_1 = \frac{1}{\pi} (A_0 + A_1) \quad (2.25)$$

2. Nilai F_2

$$F_2 = \frac{n'}{2\pi} \tan^{-1} A_2 \quad (2.26)$$

3. Nilai A_0

$$A_0 = m' \ln \frac{(1 + \sqrt{m'^2 + 1}) \sqrt{m'^2 + n'^2}}{m' + \sqrt{m'^2 + n'^2 + 1}} \quad (2.27)$$

4. Nilai A_1

$$A_1 = \ln \frac{(m'^2 + \sqrt{m'^2 + 1}) \sqrt{1 + n'^2}}{m' + \sqrt{m'^2 + n'^2 + 1}} \quad (2.28)$$

5. Nilai A_2

$$A_2 = \frac{m'}{n' \sqrt{m'^2 + n'^2 + 1}} \quad (2.29)$$

6. Nilai m'

$$m' = \frac{L}{B} \quad (2.30)$$

7. Nilai n'

$$n' = \frac{H}{B/2} \quad (2.31)$$

b. Persamaan Faktor Kedalaman

Persamaan penurunan faktor kedalaman didapatkan dari tabel fox (1948). Faktor kedalaman dapat dilihat pada Tabel 2.15 berikut.

Tabel 2.15 Faktor Kedalaman

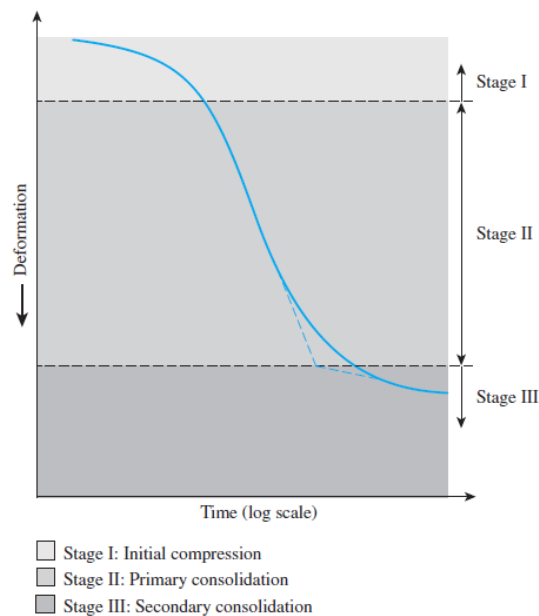
L/B	D _f /b	If		
		μ _s = 0.3	μ _s = 0.4	μ _s = 0.5
1	0,5	0,77	0,82	0,85
	0,75	0,69	0,74	0,77
	1	0,65	0,69	0,72
2	0,5	0,82	0,86	0,89
	0,75	0,75	0,79	0,83
	1	0,71	0,75	0,79

L/B	D _f /b	If		
		$\mu_s = 0.3$	$\mu_s = 0.4$	$\mu_s = 0.5$
5	0,5	0,87	0,91	0,93
	0,75	0,81	0,86	0,89
	1	0,78	0,82	0,85

Sumber: (Das, 2016)

2.8.2 Penurunan Konsolidasi (*Consolidation Settlement*)

Penurunan konsolidasi terjadi disebabkan oleh pemampatan tanah kohesif dan perpindahan partikel tanah, yang disertai dengan keluarnya air pori dan udara dari rongga antar partikel tanah setelah adanya pembebanan pada tanah tersebut. Penurunan konsolidasi membutuhkan waktu yang lama, waktu penurunan konsolidasi bergantung pada kondisi lapisan tanah. Fase penurunan konsolidasi tanah dapat dilihat pada gambar Gambar 2.5 berikut.



Gambar 2.5 Fase Penurunan Konsolidasi Tanah

Sumber: (Das & Sobhan, 2014)

2.8.2.1 Penurunan Konsolidasi Primer

Penurunan konsolidasi primer terjadi ketika beban berada di atas suatu lapisan jenuh air. Sehingga menyebabkan tekanan air pori meningkat, dan mengakibatkan air pori terdisipasi dan beban ditransfer ke partikel tanah secara

bertahap sehingga volume akan berkurang. Penurunan konsolidasi pada tanah lunak bergantung pada sejarah rasio konsolidasi yang terjadi.

Berdasarkan sejarah pembebanan rasio konsolidasi dibedakan menjadi 3 kondisi, yaitu:

1. *Normally Consolidated* (NC)

Normally Consolidated terjadi ketika tegangan vertikal efektif merupakan tekanan maksimum yang pernah diterima oleh tanah. Penurunan pada kondisi *normally consolidated* dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan (2.32) berikut ini.

$$S_c = \frac{C_c H}{1 + e_0} \log \frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma'}{\sigma'_0} \quad (2.32)$$

Dimana:

S_c = penurunan konsolidasi primer (m)

C_c = indeks pemampatan

H = tebal lapisan (m)

e_0 = angka pori

σ'_0 = tegangan vertikal efektif (kN/m²)

$\Delta\sigma'$ = distribusi tegangan (kN/m²)

2. *Over Consolidated* (OC)

Over Consolidated terjadi ketika tegangan vertikal efektif lebih kecil dari tegangan maksimum yang pernah terjadi pada tanah. Penurunan pada kondisi *over consolidated* dapat ditentukan menggunakan Persamaan (2.33) dan Persamaan (2.34).

Untuk $\sigma'_0 + \Delta\sigma' < \sigma'_c$

$$S_c = \frac{C_s H}{1 + e_0} \log \frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma'}{\sigma'_0} \quad (2.33)$$

Untuk $\sigma'_0 < \sigma'_c < \sigma'_0 + \Delta\sigma'$

$$S_c = \frac{C_s H}{1 + e_0} \log \frac{\sigma'_0}{\sigma'_0} + \frac{C_c H}{1 + e_0} \log \frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma'}{\sigma'_0} \quad (2.34)$$

Dimana:

- S_c = penurunan konsolidasi primer (m)
- C_c = indeks pemampatan
- C_s = indeks pengembangan
- H = tebal lapisan (m)
- e_0 = angka pori
- σ'_0 = tegangan vertikal efektif (kN/m^2)
- $\Delta\sigma'$ = distribusi tegangan (kN/m^2)
- σ'_c = tegangan pra-konsolidasi (kN/m^2)

3. *Under Consolidated* (UC)

Under Consolidated terjadi ketika tegangan vertikal efektif belum mencapai keadaan maksimum, sehingga tanah masih dalam keadaan terkonsolidasi.

Penggolongan sejarah pembebanan rasio konsolidasi direpresentasikan dari nilai *Over Consolidated Ratio* (OCR). Berikut merupakan Persamaan (2.35) untuk menentukan nilai OCR.

$$OCR = \frac{\sigma'_c}{\sigma'} \quad (2.35)$$

Dimana:

- OCR = *Over Consolidated Ratio*
- σ'_c = tegangan pra-konsolidasi
- σ' = tegangan vertikal efektif

Tanah dengan nilai OCR =1 termasuk pada golongan tanah *Normally Consolidated* (NC). Jika nilai OCR > 1 termasuk pada golongan tanah *Over Consolidated* (OC), dan jika tanah memiliki nilai OCR <1 maka tanah termasuk pada golongan tanah masih dalam proses konsolidasi atau *Under Consolidated* (UC). Nilai tegangan pra-konsolidasi diperoleh dari hasil pengujian laboratorium.

2.8.2.2 Penurunan Konsolidasi Sekunder

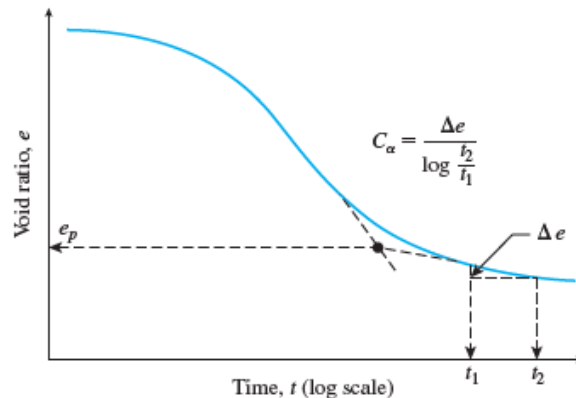
Penurunan konsolidasi sekunder terjadi setelah penurunan konsolidasi primer selesai. Penurunan konsolidasi sekunder didapat menggunakan Persamaan (2.36) berikut.

$$S_s = \frac{C_\alpha}{1 + e_p} H \log \left(\frac{t_2}{t_1} \right) \quad (2.36)$$

Dimana :

e_p = angka pori pada akhir konsolidasi primer

H = kedalaman



Gambar 2.6 Grafik Angka Pori Terhadap Waktu Penambahan Beban
Sumber: (Das, 2016)

2.8.3 Waktu Konsolidasi

Waktu konsolidasi merupakan periode yang dibutuhkan untuk mencapai derajat konsolidasi tertentu, serta dipengaruhi oleh permeabilitas tanah dan panjang jalur drainase (Das, 2008). Pada lapisan tanah lempung penurunan berlangsung lebih lama, hal tersebut disebabkan oleh konduktivitas hidraulik yang lebih kecil dibandingkan pasir. Berikut merupakan tahapan yang dapat dilakukan untuk menghitung waktu konsolidasi.

1. Menentukan Nilai Panjang Aliran Maksimum (H_{dr})

H_{dr} ditentukan berdasarkan lapisan tanah atau lempung terpanjang yang mengalami konsolidasi. Berikut merupakan panjang aliran maksimum H_{dr} .

a. $H_{dr} = \frac{1}{2} H$

Panjang aliran maksimum $\frac{1}{2} H$ digunakan apabila arah aliran air selama proses konsolidasi dua arah (vertikal dan horizontal).

b. $H_{dr} = H$

Panjang aliran maksimum H digunakan apabila arah aliran air searah (ke arah vertikal atau ke arah horizontal). Hal tersebut bisa terjadi apabila di atas ataupun di bawah lapisan tanah lempung merupakan lapisan yang kedap air.

2. Menghitung Faktor Waktu (T_v) Pada derajat Konsolidasi Tertentu

Faktor waktu pada derajat konsolidasi memiliki rentang 0% - 100%. Untuk menentukan faktor waktu dapat menggunakan persamaan dari Sivaram & Swamee (1977) ditunjukkan oleh Persamaan (2.37) berikut.

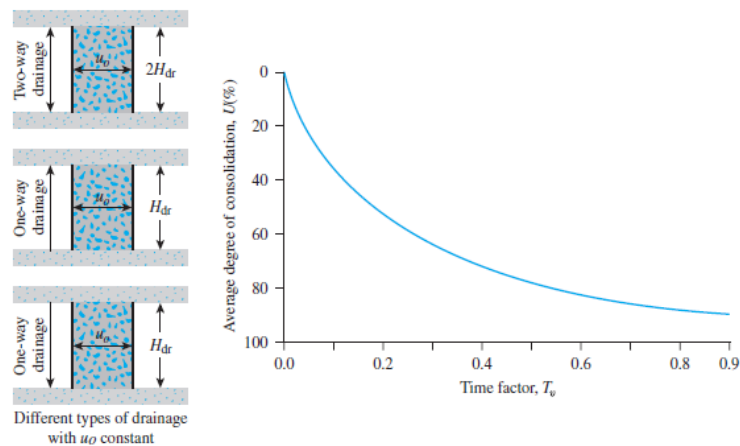
$$\frac{U\%}{100} = \frac{\left(\frac{4T_v}{\pi}\right)^{0,5}}{\left[1 + \left(\frac{4T_v}{\pi}\right)^{2,8}\right]^{0,179}} \quad (2.37)$$

$$T_v = \frac{\left(\frac{\pi}{4}\right)(U\%100)^2}{\left[1 - (U\%100)^{5,6}\right]^{0,357}} \quad (2.38)$$

Dimana:

T_v = faktor waktu

Persamaan di atas memiliki *error* pada T_v lebih kecil dari 1% untuk derajat konsolidasi $0\% < U < 90\%$ dan kurang dari 3% untuk derajat konsolidasi $90\% < U < 100\%$.



Gambar 2.7 Grafik Faktor Waktu (T_v) Terhadap Derajat Konsolidasi ($U\%$)
Sumber: (Das & Sobhan, 2014)

3. Koefisien Konsolidasi Vertikal (C_v)

Menurut ABSI (1965), koefisien konsolidasi vertikal untuk lapisan tanah yang memiliki jenis tanah yang berbeda dan memiliki beberapa nilai C_v , maka nilai C_v yang digunakan yaitu nilai C_v gabungan. C_v gabungan dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2.39).

$$C_{v_{rata-rata}} = \frac{H_1 + H_2 + \dots + H_n}{\frac{H_1}{C_{v_1}} + \frac{H_2}{C_{v_2}} + \dots + \frac{H_n}{C_{v_n}}} \quad (2.39)$$

Dimana:

H_1 = kedalaman lapisan 1

H_2 = kedalaman lapisan 2

H_n = kedalaman lapisan n

C_{v_1} = harga C_v lapisan 1

C_{v_2} = harga C_v lapisan 2

C_{v_n} = harga C_v lapisan n

4. Menghitung Waktu Konsolidasi Pada Derajat Konsolidasi Tertentu

Waktu konsolidasi alami dapat dihitung menggunakan Persamaan (2.40) berikut ini.

$$t = \frac{T_v (H_{dr})^2}{C_v} \quad (2.40)$$

Dimana:

t = waktu konsolidasi

T_v = faktor waktu

H_{dr} = panjang aliran maksimum

C_v = koefisien konsolidasi arah vertikal

2.8.4 Penurunan Izin

Penurunan izin adalah batas maksimum dari penurunan yang diperbolehkan terjadi pada struktur tanpa menyebabkan kerusakan struktural atau gangguan fungsi konstruksi. Penurunan izin diperlukan untuk memastikan kinerja struktur masih dalam batas aman dan sesuai fungsinya selama dalam masa pelayanan. Penurunan izin dipengaruhi beberapa faktor diantaranya yaitu, jenis bangunan, tinggi bangunan, fungsi bangunan, besar dan kecepatan penurunan bangunan, serta distribusinya (Bella et al., 2017).

Kecepatan penurunan timbunan setelah konsolidasi untuk Kelas Jalan I dibatasi < 20 mm/tahun. Kecepatan penurunan timbunan dapat dilihat pada Tabel 2.16 berikut.

Tabel 2.16 Batas - Batas Penurunan Untuk Timbunan Pada Umumnya (dari Panduan Gambut Pusat Litbang Prasarana Transportasi)

Kelas Jalan	Penurunan yang Disyaratkan Selama Masa Konstruksi	Kecepatan Penurunan Setelah Konsolidasi
	(S/S_{tot})	(mm/tahun)
I	$>90\%$	<20
II	$>85\%$	<25
III	$>80\%$	<30
IV	$>75\%$	<30
Keterangan:		
S = jumlah penurunan selama masa pelaksanaan		
Stot = penurunan total yang diperkirakan		

Sumber: (Panduan Geoteknik 4 Desain dan Konstruksi Timbunan Jalan Pada Tanah Lunak, 2002)

Batas penurunan pada timbunan di atas tanah lunak untuk mencegah timbulnya masalah pada perkerasan setelah pelaksanaan konstruksi tidak boleh lebih dari 100 mm (Manual Desain Perkerasan Jalan, 2024). Batas penurunan pada timbunan setelah pelaksanaan perkerasan dapat dilihat pada Tabel 2.17.

Tabel 2.17 Batas Penurunan Pada Timbunan Setelah Pelaksanaan Perkerasan

Jenis Penurunan	Kelas Jalan	Uraian	Batas Izin	Pencegahan Tipikal
Kasus umum; Penurunan total.	Semua jalan nasional, provinsi, kab/kota dan lokal.	Penurunan mutlak setelah pelaksanaan perkerasan (sama dengan perbedaan penurunan berdekatan dengan struktur tetap).	Total 100 mm Khusus untuk perkerasan kaku, berdasarkan pertimbangan hasil perhitungan desain yang menyatakan aman, baik untuk timbunan di atasnya maupun untuk konstruksi perkerasan.	a) Pra-pembebanan sebelum pelaksanaan perkerasan (pada oprit struktur mungkin diperlukan pra-pembebanan yang sama dengan konsolidasi primer kecuali jika ada penanganan tambahan. b) Drainase vertikal atau beban tambahan (<i>surcharge</i>) untuk mempercepat konsolidasi. c) Penggantian tanah atau pemancangan pada bagian oprit struktur.
Perbedaan penurunan (<i>differential</i>)	Jalan bebas hambatan atau jalan raya dengan	Diantara setiap dua titik secara memanjang dan melintang	0.003:1 (perubahan kemiringan 0.3%).	Seperti penanganan penurunan total.

Jenis Penurunan	Kelas Jalan	Uraian	Batas Izin	Pencegahan Tipikal
<i>settlement</i>) dan penurunan total jika berdampingan dengan bangunan struktur.	kecepatan rencana 80 – 120 km/jam.	termasuk yang berdampingan dengan struktur tertanam dan atau pada <i>relief slab abutment</i> jembatan.	0.006:1 (0.6%) (nilai antara bisa dipakai untuk kecepatan rencana lainnya).	
	Jalan raya atau jalan kecil dengan kecepatan rencana < 80 km/jam.			
Penurunan rangkak (<i>creep settlement</i>) akibat beban dinamis dan statis	Jalan bebas hambatan atau jalan raya dengan kecepatan rencana 80 – 120 km/jam.	Berlaku untuk perkerasan kaku dengan sambungan.	Perlu penanganan atau perbaikan apabila terjadi patahan atau perbedaan penurunan > 4 mm pada sambungan.	Tinggi timbunan minimum atau dukungan dari <i>micro pile</i> dan cakar ayam atau tulangan menerus.
	Jalan raya atau jalan kecil dengan kecepatan rencana < 80 km/jam.		Perlu penanganan atau perbaikan apabila terjadi patahan atau perbedaan penurunan > 8 mm pada sambungan.	

Sumber: (Manual Desain Perkerasan Jalan, 2024)

2.9 Stabilitas Lereng

Lereng merupakan permukaan tanah yang membentuk sudut kemiringan tertentu dengan bidang horizontal. Suatu lereng dapat terbentuk secara alami (lereng alam) maupun buatan manusia (lereng buatan) (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2021). Berdasarkan proses terbentuknya lereng dikelompokkan menjadi dua, yaitu lereng alami dan lereng buatan.

1. Lereng Alami

Lereng alami terbentuk melalui fenomena alam seperti erosi, gerakan tektonik dan lain sebagainya. Lereng memiliki kemungkinan mengalami keruntuhan yang diakibatkan oleh berat sendiri dan gaya – gaya luar yang ditahan oleh kuat geser tanah dari material yang digunakan. Aspek penting yang menunjang stabilitas dari lereng alami yaitu kondisi geologi, topografi, kemiringan lereng, jenis lapisan tanah, kuat geser, aliran air bawah permukaan, kecepatan pelapukan, dan gangguan lalu lintas. Faktor yang menyebabkan ketidakstabilan lereng alam diantaranya sebagai berikut.

- a. Perubahan kemiringan lereng yang diakibatkan oleh penambahan beban pada bagian atas atau kekuatan pada bagian dasar lereng yang berkurang.
- b. Penurunan tahanan geser pada tanah non kohesif atau pengembangan tanah kohesif yang diakibatkan oleh peningkatan tekanan air tanah.
- c. Penurunan kuat geser tanah yang disebabkan oleh pelapukan, perubahan mineralogi dan adanya rekahan.
- d. Getaran yang disebabkan oleh gempa bumi, peledakan atau pemancangan tiang.

2. Lereng Buatan

Lereng buatan merupakan lereng yang dibuat untuk memenuhi persyaratan pembangunan infrastruktur guna kepentingan umum. Lereng buatan dibedakan menjadi dua jenis yaitu lereng galian dan lereng timbunan.

a. Lereng galian

Lereng galian terbentuk akibat pemotongan tanah ataupun penggalian tanah asli. Perancangan pemotongan lereng galian bertujuan untuk membuat suatu lereng dengan kemiringan yang cukup aman dan ekonomis. Stabilitas

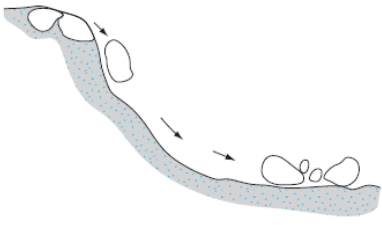
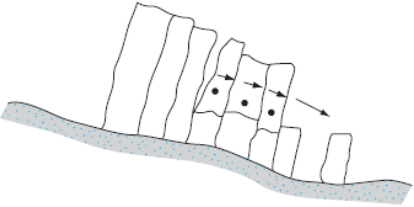
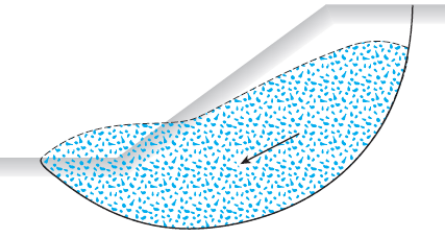
pemotongan ditentukan oleh kondisi geologi, sifat teknis tanah, tekanan air akibat rembesan, dan cara pemotongan. Aspek penting yang menunjang stabilitas dari lereng galian yaitu kuat geser galian, berat isi tanah, tinggi lereng, kemiringan lereng dan tekanan air pori.

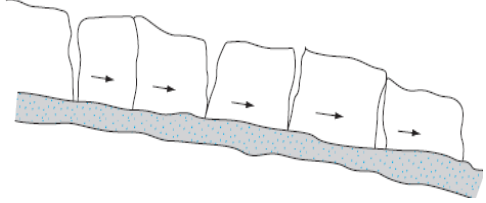
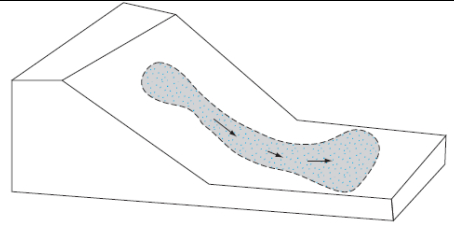
b. Lereng timbunan (*embankment*)

Lereng timbunan pada umumnya digunakan untuk badan jalan raya, jalan kereta api, dan bendungan tanah. Perlu dilakukan analisis secara terpisah untuk lereng timbunan, analisis tersebut dilakukan untuk kondisi jangka pendek, kondisi jangka panjang dan gangguan gempa.

Cruden dan Varnes (1996) mengklasifikasikan kegagalan lereng dalam 5 kategori utama (Das & Sobhan, 2014). Tipe kegagalan lereng dapat dilihat pada Tabel 2.18.

Tabel 2.18 Kegagalan Lereng

No	Deskripsi	Keruntuhan
1	Jatuhan (<i>fall</i>) Jatuhan (<i>fall</i>) merupakan keruntuhan yang ditandai dengan lepasnya tanah dari atas lereng.	
2	Gulingan (<i>topple</i>) Gulingan (<i>topple</i>) merupakan pergeseran tanah ke arah depan pada sumbu dibawahnya.	
3	Geser (<i>slide</i>) Geser (<i>slide</i>) merupakan pergeseran massa tanah ke arah bawah dan terjadi pada suatu bidang gelincir.	

No	Deskripsi	Keruntuhan
4	<p>Pencaran (<i>spread</i>)</p> <p>Pencaran (<i>spread</i>) merupakan pergerakan batuan yang bergerak secara translasi dan disebabkan oleh adanya pembebanan massa.</p>	
5	<p>Aliran (<i>flow</i>)</p> <p>Aliran (<i>flow</i>) merupakan lepasnya suatu material yang telah mengalami proses penjenhuan.</p>	

Untuk mencegah kegagalan lereng diperlukan analisis stabilitas lereng. Stabilitas lereng merupakan kemampuan suatu lereng untuk menahan tekanan tanah terhadap keruntuhan. Stabilitas suatu lereng dipengaruhi oleh gaya pendorong dan gaya penahan pada suatu lereng. Analisis stabilitas lereng didasarkan pada konsep keseimbangan plastis atas (*limit plastic equilibrium*) (Hardiyatmo, 2007). Analisis stabilitas lereng perlu dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan nilai faktor keamanan dari bidang longsor baik pada kondisi eksisting maupun kondisi setelah dilakukan perkuatan (Safrina et al., 2020).

Perhitungan keamanan dan bahaya suatu desain timbunan dari kelongsoran ditentukan menggunakan nilai faktor keamanan. Faktor keamanan merupakan perbandingan antara gaya penahan dengan gaya penggerak longsor (SNI 8460:2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik, 2017).

$$F_s = \frac{\tau_f}{\tau_d} \quad (2.41)$$

Dimana:

F_s = faktor keamanan

τ_f = kuat geser rata – rata

τ_d = tegangan geser rata – rata pada permukaan potensial keruntuhan

Faktor keamanan sebagai syarat keamanan timbunan terhadap kelongsoran memiliki nilai yang perlu dipenuhi. Pada kondisi statik suatu lereng berada dalam kategori stabil apabila nilai $FK > 1.5$. Apabila lereng memiliki nilai $FK \leq 1.5$ maka lereng berada dalam kondisi tidak stabil, dan berpotensi mengalami keruntuhan. Pada kondisi gempa nilai dari faktor keamanan (FK) yang dimiliki yaitu > 1.1 . Apabila nilai faktor keamanan gempa ≤ 1.1 maka lereng dikategorikan tidak aman dan berpotensi mengalami keruntuhan.

2.9.1 Analisis Stabilitas Lereng Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga digunakan untuk memecahkan masalah stabilitas lereng yang lebih kompleks. Analisis stabilitas menggunakan elemen hingga merupakan pendekatan dengan menggunakan metode numerikal dengan dibantu oleh program (SNI 8460:2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik, 2017). Untuk analisis tersebut dapat dilakukan dengan meningkatkan beban atau dengan mereduksi kekuatan tanah dasar (Sari et al., 2024).

Perhitungan yang digunakan elemen hingga pada program FEM 2D yaitu metode mereduksi kuat geser, hasil dari analisis tersebut berupa perubahan tegangan dan regangan untuk berbagai sifat elastis, ketidakseragaman massa tanah dan bentuk geometri. Bidang keruntuhan pada elemen hingga berbeda dengan *limit equilibrium method* yang dapat diasumsikan diawal, pada elemen hingga bidang keruntuhan diperoleh secara otomatis dari hasil perhitungan bidang paling kritis. Faktor Keamanan dihitung menggunakan Persamaan (2.42) sebagai berikut.

$$\sum Msf = \frac{c'_{input}}{c'_{reduksi}} = \frac{\tan \varphi'_{input}}{\tan \varphi'_{reduksi}} \quad (2.42)$$

Dimana:

$\sum Msf$ = faktor keamanan

c' = kohesi input (kN/m²)

φ' = sudut geser input (°)

φ_r = sudut geser reduksi (°)

2.10 Pembebanan

2.10.1 Beban Lalu Lintas

Beban lalu lintas merupakan beban kendaraan yang dilimpahkan pada perkerasan melalui kontak antara ban dan muka jalan. Beban lalu lintas bekerja secara berulang pada struktur selama masa pelayanan jalan dan beban lalu lintas dikategorikan sebagai beban dinamis. Besar beban lalu lintas dipengaruhi oleh beberapa aspek diantaranya yaitu konfigurasi sumbu dan roda kendaraan, beban roda kendaraan, tekanan ban, volume lalu lintas, repetisi sumbu, distribusi arus lalu lintas pada perkerasan jalan serta kecepatan kendaraan (Sukirman, 2010). Berikut merupakan penjelasan mengenai aspek yang mempengaruhi beban lalu lintas.

Beban lalu lintas disesuaikan berdasarkan kelas jalan yang digunakan. Berdasarkan SNI 8460: 2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik, 2017 beban lalu lintas dan beban di luar jalan dapat dilihat pada Tabel 2.19.

Tabel 2.19 Beban Lalu Lintas dan Beban Luar Lalu Lintas

Kelas Jalan	Beban Lalu Lintas	Beban di luar jalan (*)
	(kPa)	(kPa)
I	15	10
II	12	10
III	12	10
Keterangan: (*) beban dari bangunan rumah – rumah di sekitar lereng		

Sumber: (SNI 8460:2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik, 2017)

2.10.2 Beban Struktur

Beban struktur yaitu beban perkerasan jalan yang telah direncanakan. Beban perkerasan jalan dapat dihitung dengan mengalikan tebal perkerasan dengan berat jenis material. Berdasarkan SNI 1725: 2016 Pembebanan Untuk Jembatan, 2016 berat isi material untuk berbagai jenis bahan dapat dilihat pada Tabel 2.20.

Tabel 2.20 Berat Isi Untuk Beban Mati

No	Bahan	Berat Jenis	Kerapatan Massa
		(kN/m ³)	(kg/m ³)
1	Lapisan Permukaan Beraspal (<i>bituminous wearing surface</i>)	22,0	2245
2	Besi Tuang (<i>Cast Iron</i>)	71,0	7240
3	Timbunan Tanah Dipadatkan (<i>compacted sand, silt or clay</i>)	17,2	1755
4	Kerikil Dipadatkan (<i>rolled gravel, macadam or ballast</i>)	18,8 – 22,7	1920 – 2315
5	Beton Aspal (<i>Asphalt concrete</i>)	22,0	2245
6	Beton Ringan (<i>low density</i>)	12,25 – 19,6	1250 – 2000
7	Beton $f'_c < 35 \text{ Mpa}$	22,0 – 25,5	2320
	$35 < f'_c < 105 \text{ Mpa}$	$22 + 0,022 f'_c$	$2240 + 2,29 f'_c$
8	Baja (<i>steel</i>)	78,5	7850
9	Kayu (ringan)	7,8	800
10	Kayu Keras (<i>hard wood</i>)	11,0	1125

Sumber: (SNI 1725: 2016 Pembebanan Untuk Jembatan, 2016)

2.10.3 Beban Gempa

Beban gempa merupakan beban yang bekerja secara tiba – tiba pada struktur. Karakteristik dari beban gempa yaitu (*unsteady-state*) dengan besaran dan arah yang dapat berubah dengan cepat. Beban gempa diperhitungkan dalam perencanaan timbunan dan galian, karena beban gempa berpengaruh terhadap kestabilan suatu lereng.

Beban gempa dapat mengakibatkan perubahan tekanan air pori, tegangan efektif tanah, dan menurunnya kekuatan geser tanah yang disebabkan oleh timbulnya retakan vertikal. Terdapat dua metode yang dapat digunakan untuk menganalisis gempa yaitu metode dinamik dan metode pseudostatik.

Analisis gempa dengan menggunakan metode pseudostatik mempertimbangkan aspek gempa. Berdasarkan SNI 8460: 2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik, 2017 nilai faktor keamanan minimum yang disyaratkan untuk metode pseudostatik yaitu lebih besar dari 1.1 ($FK > 1.1$). Dalam perhitungannya menggunakan koefisien seismik yang diperoleh dari nilai percepatan puncak di permukaan tanah (*Peak Ground Acceleration*). Penentuan koefisien seismik tersebut mempertimbangkan klasifikasi kelas situs dan faktor amplifikasi yang disesuaikan dengan karakteristik lokasi yang dianalisis. Klasifikasi tanah berdasarkan kelas situs dapat dilihat pada Tabel 2.21 dan faktor amplifikasi dapat dilihat Tabel 2.22 pada berikut (SNI 8460:2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik, 2017).

Tabel 2.21 Klasifikasi Kelas Situs

No	Kelas Situs	\bar{v}_s	\overline{N}_{SPT} atau \overline{N}_{SPTch}	\bar{s}_u
		(m/detik)		(kPa)
1	SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
2	SB (batuan)	750 - 1500	N/A	N/A
3	SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 - 750	>50	≥ 100
4	SD (tanah sedang)	175 - 350	15 - 50	50 - 100
5	SE (tanah lunak)	<175	<15	<50
		Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut: 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40\%$, 3. Kuat geser niralir, $\bar{s}_u < 25$ kPa		
6	SF (tanah khusus yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih karakteristik berikut: - Rawa dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah		

No	Kelas Situs	\bar{v}_s	\bar{N}_{SPT} atau $\bar{N}_{SPT_{ch}}$	\bar{s}_u
		(m/detik)		(kPa)
	respons spesifik – situs yang mengikuti)	likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah. - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m). - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan indeks plastisitas $PI > 75$). - Lapisan lempung lunak / setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{s}_u < 50$ kPa.		

Sumber: (SNI 8460:2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik, 2017)

Dimana:

\bar{v}_s = nilai rata – rata kecepatan gelombang geser (m/detik)

\bar{N}_{SPT} = nilai rata – rata tahanan penetrasi standar lapangan

$\bar{N}_{SPT_{ch}}$ = nilai rata – rata tahanan penetrasi standar untuk lapisan tanah non–kohesif

\bar{s}_u = nilai rata – rata kuat geser niralir lapisan (kPa)

Nilai rata – rata tahanan penetrasi lapangan (\bar{N}_{SPT}) dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2.43) sebagai berikut.

$$\bar{N}_{SPT} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i}} \quad (2.43)$$

Dimana:

d_i = tebal total dari lapisan tanah

N_i = tahanan penetrasi (N-SPT)

Nilai koefisien horizontal dari percepatan gempa dipermukaan dapat dihitung menggunakan Persamaan (2.44) berikut (Supriatna, 2024). Nilai koefisien untuk nilai PGA yang berada pada dua rentang, maka dapat dilakukan interpolasi untuk memperoleh nilai koefisien situs (F_{PGA})

$$Kh = 0,5 \times PGA \times fPGA \quad (2.44)$$

Dimana:

PGA = percepatan tanah dasar (g)

fPGA = faktor amplifikasi

Tabel 2.22 Faktor Amplifikasi Untuk PGA dan Periode 0,2 Detik (F_{PGA} dan F_a)

No	Kelas Situs	PGA ≤ 0.1 Ss ≤ 0,25	PGA = 0,2 Ss = 0,5	PGA = 0,3 Ss = 0,75	PGA = 0,4 Ss = 1,0	PGA = 0,5 Ss ≥ 125
1	Batuan Keras (SA)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
2	Batuan (SB)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
3	Tanah Keras (SC)	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
4	Tanah Sedang (SD)	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
5	Tanah Lunak (SE)	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
6	Tanah Khusus (SF)	SS	SS	SS	SS	SS

Sumber: (SNI 8460:2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik, 2017)

Dimana:

Peak Ground Acceleration = percepatan puncak batuan dasar (SB)
(PGA) mengacu pada peta gempa dengan periode
ulang rencana disesuaikan dengan
persyaratan infrastruktur yang digunakan

SS	= percepatan spektral respons horizontal di batuan (SB) pada periode 0,2 detik dengan periode ulang rencana sesuai persyaratan infrastruktur yang digunakan
SF	= lokasi yang memerlukan investigasi geoteknik dan analisis respons spesifikasi-situs

Analisis nilai PGA, percepatan batuan dasar periode 0.2 detik (S_s) dan percepatan batuan dasar periode 1 detik (S_1) dapat diperoleh melalui laman lini binamarga, pada laman tersebut akan diperoleh juga grafik respons spektra yang didasarkan pada klasifikasi situs dan lokasi geografis. Selain melalui laman lini binamarga nilai PGA dapat diperoleh melalui (Pusat Studi Gempa Nasional, 2017) pada peta gempa yang disesuaikan dengan lokasi penelitian infrastruktur berada.

Infrastruktur harus memiliki struktur dan komponen yang mampu memberikan kekuatan, kekakuan dan kapasitas disipasi energi yang cukup untuk menahan beban gempa sesuai dengan persyaratan kriteria batas deformasi dan kekuatan yang telah ditetapkan. Hal tersebut diakibatkan oleh penahan gaya lateral dan gaya vertikal yang harus memadai.

Berdasarkan (SNI 8460:2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik, 2017) kriteria faktor keamanan setiap jenis infrastruktur memiliki nilai yang berbeda. Untuk jenis infrastruktur timbunan oprit memiliki umur rencana 50 tahun, dengan probabilitas terlampaui sebesar 10% dan periode ulang 500 tahun. Penjelasan mengenai kriteria faktor keamanan jenis infrastruktur lain dapat dilihat pada Tabel 2.23.

Tabel 2.23 Kriteria Faktor Keamanan Perancangan Gempa Berdasarkan Peruntukannya

No	Peruntukan	Umur Rencana	Probabilitas Terlampaui	Periode Ulang	Faktor Keamanan
		(Tahun)	(%)	(Tahun)	
1	Gedung dan Non gedung	50	2	2500	

No	Peruntukan	Umur Rencana	Probabilitas Terlampaui	Periode Ulang	Faktor Keamanan
		(Tahun)	(%)	(Tahun)	
2	Jembatan	75	7	1000	
3	Dinding Penahan Abutment Jembatan	75	7	1000	<p>FK > 1.5 (terhadap geser saat mengalami beban statik)</p> <p>FK > 2 (terhadap guling saat mengalami beban statik)</p> <p>FK > 1.1 (terhadap beban pseudostatik)</p>
4	Timbunan Oprit				FK > 1.1
5	Bendungan	100 100	1 50	1000, <i>Safety evaluation earthquake 145</i> <i>Operating Basis Earthquake</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Tidak terjadi aliran air tidak terkendali. • Deformasi tidak melebihi 0.5 dari tinggi jagaan. • Deformasi pada filter tidak boleh melebihi 0.5 tebal filter.

No	Peruntukan	Umur Rencana	Probabilitas Terlampaui	Periode Ulang	Faktor Keamanan
		(Tahun)	(%)	(Tahun)	
					<ul style="list-style-type: none"> • <i>Spillway</i> tetap berfungsi setelah terjadi gempa rencana kerusakan minor setelah terjadi gempa rencana.
6	Bangunan Pelengkap	50	2	2500	
7	Terowongan	100	10	1000	

Sumber: (SNI 8460:2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik, 2017)

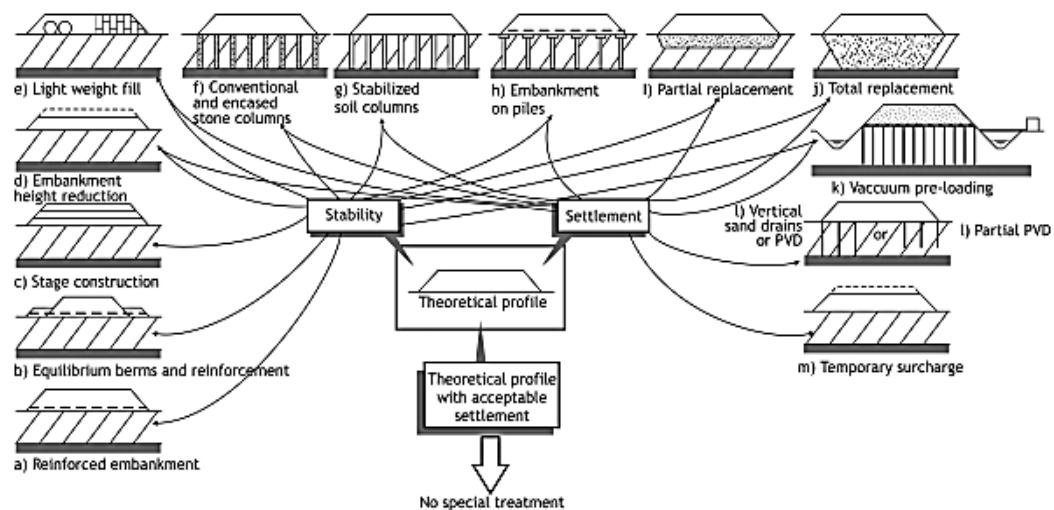
2.11 Metode Penanganan Timbunan Di Atas Tanah Lunak

Penanganan permasalahan infrastruktur diatas tanah lunak dapat ditangani dengan perbaikan tanah maupun perkuatan tanah. Perbaikan tanah merupakan proses perbaikan karakteristik kompresibilitas, daya dukung, permeabilitas dan/atau ketahanan likuifaksi tanah dasar pada lokasi infrastruktur akan didirikan, sehingga karakteristik tanah tersebut berubah secara permanen dan memiliki kompresibilitas, daya dukung, permeabilitas dan/atau ketahanan yang memadai dan mencapai tingkat aman (SNI 8460:2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik, 2017). Sedangkan Perkuatan tanah (*soil reinforcement*) yaitu bentuk rekayasa yang dilakukan dengan menyisipkan suatu material dengan tujuan untuk memperbaiki dan/atau mempertahankan kinerja tanah sesuai dengan syarat teknis yang telah ditetapkan. Perkuatan tanah dapat dikombinasikan dengan menggunakan

geosintetik untuk meningkatkan kinerja tanah dan mendukung konstruksi infrastruktur.

Permasalahan yang sering muncul pada timbunan tanah lunak yaitu masalah penurunan yang berlebih dan daya dukung yang kurang memadai sehingga menyebabkan ketidakstabilan timbunan. Hal tersebut disebabkan oleh karakteristik dari tanah lempung yang memiliki nilai indeks plastisitas yang cukup tinggi, kompresibilitas yang tinggi dan daya dukung yang kurang memadai (Sarifah, 2012). Oleh karena itu, diperlukan penanganan untuk menanggulangi masalah tersebut.

Metode penanganan tanah timbunan yang berdiri di atas tanah lunak, dapat disesuaikan dengan permasalahan yang terjadi pada lokasi pembangunan infrastruktur. Namun, terdapat metode yang mempertimbangkan masalah kedua aspek dari permasalahan penurunan berlebih dan masalah stabilitas. Metode yang dapat digunakan untuk menangani masalah timbunan pada tanah lunak dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Penanganan Timbunan Di Atas Tanah Lunak
Sumber: (Almeida & Marques, 2013)

2.11.1 *Pile Embankment*

Pile embankment merupakan salah satu metode perkuatan yang digunakan untuk mengatasi masalah penurunan, dan meningkatkan stabilitas pada timbunan yang terjadi pada tanah lunak (Panduan Geoteknik 4 Desain dan Konstruksi

Timbunan Jalan Pada Tanah Lunak, 2002). *Pile embankment* merupakan metode perkuatan yang menggabungkan beberapa tiang pada timbunan dengan tujuan untuk menahan timbunan, sehingga struktur timbunan menjadi stabil. *Pile embankment* memiliki prinsip kerja dengan mentransfer beban dari struktur atas melalui tiang – tiang yang digunakan ke lapisan tanah keras untuk mendapatkan daya dukung yang cukup tinggi. Diameter tiang yang dapat digunakan untuk perbaikan dan perkuatan tanah disajikan pada Tabel 2.24.

Tabel 2.24 Diameter Tiang Tipikal

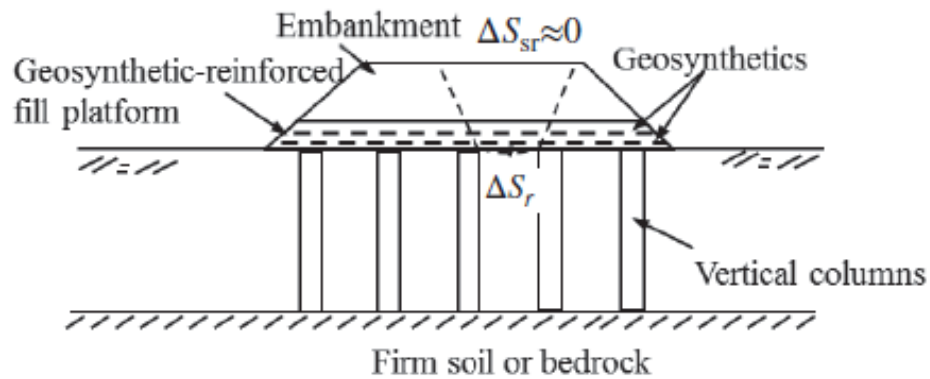
<i>Column Type</i>	<i>Equipment for Installation</i>	Diameter (m)
<i>Sand compaction columns</i>	<i>Casing</i>	0,6 – 0,8
<i>Stone columns</i>	<i>Vibro-probe</i>	0,5 – 1,2
<i>Rammed aggregate columns</i>	<i>Auger and rammer</i>	0,7 – 0,9
<i>Vibro-concrete columns</i>	<i>Vibro-probe</i>	0,5 – 0,6 (<i>shaft</i>) 0,6 – 0,9 (<i>head and base</i>)
<i>Controlled modulus (stiffness) columns</i>	<i>Reverse flight auger</i>	0,3 – 0,5
<i>Geosynthetic-encased columns</i>	<i>Closed casing or open casing with auger</i>	0,7 – 0,9

Sumber: (Han, 2015)

Beban timbunan yang didistribusikan melalui tiang untuk mencapai tanah keras dapat melalui perantara berupa lantai struktural (*structural slab*), *pile caps*, maupun geosintetik (Panduan Geoteknik 4 Desain dan Konstruksi Timbunan Jalan Pada Tanah Lunak, 2002). Tiang yang digunakan untuk *pile embankment* dapat diikat menggunakan *pile cap* dengan beton, *pile* tersebut dapat dijadikan sebagai bantal untuk geosintetik.

Kelebihan dari perkuatan timbunan di atas tanah lunak menggunakan *pile embankment* yang dikombinasikan dengan geosintetik yaitu dapat mengurangi penurunan secara signifikan, meningkatkan stabilitas, dapat mempercepat proses waktu konstruksi, mengurangi kebutuhan penggantian tanah dasar, dan memiliki

kinerja yang cukup baik (Han, 2015). Berikut merupakan ilustrasi dari *pile embankment* ditunjukkan oleh Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Ilustrasi *Pile Embankment* dengan Kombinasi Geosintetik
Sumber: (Han, 2015)

2.12 Geosintetik

Geosintetik adalah material berbentuk lembaran yang terbuat dari bahan polimer lentur, digunakan dengan tanah, batuan atau material geoteknik lainnya sebagai suatu kesatuan pekerjaan buatan manusia, struktur maupun sistem (Pedoman Konstruksi dan Bangunan Perencanaan dan Pelaksanaan Perkuatan Tanah Dengan Geosintetik, 2009). Fungsi dari geosintetik diantaranya sebagai filtrasi, drainase, separator, perkuatan, penghalang dan proteksi.

Berdasarkan struktur dan bentuknya geosintetik diklasifikasikan menjadi 2 (dua) jenis yaitu tekstil dan jaring (*web*). Klasifikasi tersebut berkembang menjadi beberapa produk spesifik meliputi geotekstil, geogrid, geonets, geomembrans, geosintetik *clay liners*, geopipe, geofoam, dan geocomposites. Masing – masing produk tersebut memiliki karakteristik dan fungsi khusus sesuai dengan pengaplikasiannya dalam pekerjaan konstruksi.

Geogrid merupakan salah satu produk geosintetik yang berbentuk jaring (*web*) dan berfungsi sebagai perkuatan. Struktur geogrid terdiri dari jaring teratur dengan elemen – elemen tarik dan mempunyai bukaan dengan ukuran tertentu, sehingga memungkinkan terjadinya mekanisme saling mengunci (*interlocking*) dengan material pengisi seperti material tanah maupun agregat. Karakteristik

struktur tersebut menjadikan geogrid memiliki keunggulan dalam fungsi perkuatan dibandingkan jenis geosintetik lainnya.

Pada timbunan di atas tanah lunak, pemasangan geogrid berkekuatan tinggi berfungsi sebagai elemen perkuatan untuk meningkatkan stabilitas sehingga mencegah keruntuhan dan mengurangi penurunan diferensial karena geogrid akan mengurangi pergeseran horizontal dan vertikal tanah di bawahnya. Perencanaan penggunaan geogrid sebagai perkuatan timbunan dapat dihitung menggunakan Persamaan (2.45) berikut.

$$Ea = \frac{T_{all}}{\varepsilon\%} \quad (2.45)$$

Dimana:

Ea = kekakuan geogrid (kN/m)

T_{all} = kekuatan izin geogrid (kN)

ε = kekuatan tarik maksimal geogrid (kN/m)

Kekuatan izin pada geogrid dapat dihitung menggunakan Persamaan (2.46) berikut.

$$T_{all} = T_u \left(\frac{1}{RF_{id} \times RF_{cr} \times RF_{cbd}} \right) \quad (2.46)$$

Dimana:

T_{all} = kekuatan izin geogrid (kN)

T_u = kekuatan ultimit geogrid (kN/m)

RF_{id} = faktor reduksi akibat kerusakan pemasangan

RF_{cr} = faktor reduksi terhadap kerusakan akibat rangkai

RF_{cbd} = faktor reduksi akibat kerusakan aktivitas biologis dalam tanah

Faktor reduksi akibat kerusakan pemasangan, faktor reduksi terhadap kerusakan akibat rangkai dan faktor reduksi akibat kerusakan aktivitas kimia dan

biologis dalam tanah disesuaikan dengan masalah yang dianalisis. Faktor reduksi dapat dilihat pada Tabel 2.25.

Tabel 2.25 Faktor Reduksi Untuk T_{all}

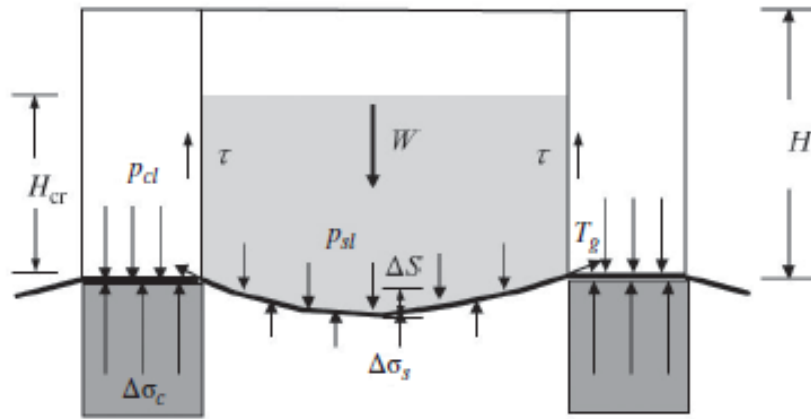
<i>Area</i>	Faktor Reduksi		
	RF_{id}	RF_{cr}	RF_{cbd}
<i>Separation</i>	1,1 – 2,5	1,5 – 2,5	1,0 – 1,5
<i>Cushioning</i>	1,1 – 2,0	1,2 – 1,5	1,0 – 2,0
<i>Unpaved Road</i>	1,1 – 2,0	1,5 – 2,5	1,0 – 1,5
<i>Walls</i>	1,1 – 2,0	2,0 – 4,0	1,0 – 1,5
<i>Embankments</i>	1,1 – 2,0	2,0 – 3,5	1,0 – 1,5
<i>Bearing And Foundation</i>	1,1 – 2,0	2,0 – 4,0	1,0 – 1,5
<i>Slope Stabilization</i>	1,1 – 2,0	2,0 – 3,0	1,0 – 1,5
<i>Pavement Overlays</i>	1,1 – 1,5	1,0 – 2,0	1,0 – 1,5
<i>Railroads (filter/sep)</i>	1,5 – 3,0	1,0 – 1,5	1,5 – 2,0
<i>Flexible Form</i>	1,1 – 1,5	1,5 – 3,0	1,0 – 1,5
<i>Silt Fences</i>	1,1 – 1,5	1,5 – 2,5	1,0 – 1,5

Sumber : (Koerner, 2005)

2.13 Load Transfer Platform (LTP)

Load Transfer Platform (LTP) merupakan struktur yang tempatkan diantara timbunan dengan perkuatan. *Load Transfer Platform* (LTP) berfungsi sebagai elemen pendukung yang menyalurkan beban dari timbunan ke struktur bawah serta dapat mengurangi penurunan tanah yang terjadi. *Load Transfer Platform* (LTP) terdiri dari material pengisi berupa tanah *granular* dan diperkuat dengan lapisan geosintetik ataupun tidak diperkuat.

Penambahan perkuatan dengan geosintetik dapat mengurangi pergeseran material timbunan yang berada diantara tiang. Hal tersebut mengakibatkan beban transfer oleh lengkung tanah pada tiang dapat berkurang hal tersebut disebabkan oleh berkurangnya tegangan geser pada timbunan. Mekanisme pada LTP dapat dilihat pada Gambar 2.10 sebagai berikut.



Gambar 2.10 Mekanisme Load Transfer Platform (LTP)

Sumber: (Han, 2015)

Tebal kritis dari *load transfer platform* (LTP) bergantung pada spasi antar tiang atau inklusi dan karakteristik dari *load transfer platform* (LTP) (ASIRI National Project, 2010). Tebal LTP dapat dihitung menggunakan Persamaan (2.47) berikut.

$$\text{tebal } LTP = \frac{2}{3} \times \text{jarak bersih antar tiang} \quad (2.47)$$