

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Tanah

Tanah yaitu dasar tumpuan suatu struktur atau konstruksi bangunan sipil, baik konstruksi gedung, konstruksi jalan, konstruksi jembatan, konstruksi bendungan maupun konstruksi lainnya. Jadi ahli teknik sipil harus mengetahui, mempelajari dan mengkaji sifat-sifat tanah dasar, seperti asal-usulnya, letak dan kemampuan mengalirkan air tanah, penyebaran ukuran butiran, kekuatan gesernya, kapasitas daya dukung terhadap beban dan lain-lain.

Dalam pengertian teknik, tanah yaitu akumulasi partikel mineral yang terikat secara kimia satu sama lain yang terbentuk akibat pelapukan batuan. Proses penghancuran dalam pembentukan tanah terjadi secara fisis dan kimiawi. Secara fisis bisa diakibatkan oleh erosi air, angin atau perpecahan akibat pembekuan dan pencairan es dalam batuan, sedangkan secara kimiawi dapat terjadi akibat mineral batuan induk diubah menjadi mineral-mineral baru melalui reaksi kimia. Pembentukan tanah yang terjadi secara kimiawi akan menghasilkan tekstur, struktur dan sifat-sifat yang berbeda (Das, Braja M, 1985).

2.2 Tanah Lempung

Tanah lempung yaitu tanah yang mempunyai partikel-partikel tertentu yang akan menghasilkan sifat-sifat plastisitas pada tanah bila dicampur dengan air. Tanah lempung dengan plastisitas yang tinggi, kohesifitas yang besar akan mengakibatkan kembang susut yang relatif besar. Kondisi tanah yang basah volume tanah akan mengembang sehingga kuat gesernya akan rendah dan tanah akan lengket, sedangkan pada kondisi tanah yang kering akan mengalami retakan akibat dari tegangan susut dan tanah dalam kondisi keras. Selain itu tanah lempung mempunyai volume besar sehingga berat isi dan sudut geser yang kecil, ini akan mengakibatkan penambahan suatu beban dan konstruksi bangunan pada tanah lempung tidak akan stabil.

Menurut Terzaghi (1967) tanah lempung kohesif diklasifikasikan sebagai tanah lunak apabila mempunyai daya dukungnya lebih kecil dari $0,5 \text{ kg/cm}^2$ dan nilai *standard penetration test* lebih kecil dari 4. Berdasarkan uji lapangan, tanah lunak secara fisik dapat diremas dengan mudah oleh jari-jari tangan. Menurut Toha (1989) sifat umum tanah lunak yaitu memiliki kadar air 80-100%, batas cair 80-100%, batas plastis 30-45%, saat dites analisis saringan maka butiran yang lolos saringan no 200 lebih dari 90% serta memiliki kuat geser 20-40 kN/m^2 .

2.3 Tanah Lempung Lunak

Tanah lunak yaitu tanah kohesif yang terdiri dari sebagian besar berupa butiran/partikel yang sangat kecil seperti tanah lempung atau lanau. Sifat dari tanah lempung lunak yaitu gaya gesernya yang kecil, koefisien permeabilitasnya yang kecil, kemampatannya besar dan mempunyai daya dukung yang rendah dibandingkan dengan tanah lempung lainnya seperti tampak pada **Tabel 2.1**

Secara umum tanah lempung lunak mempunyai sifat-sifat sebagai berikut:

- a. Kecilnya daya dukung tanah
- b. Kadar air tinggi
- c. Kuat gesernya rendah
- d. Memiliki kompresibilitas yang besar
- e. Derajat kejenuhan tinggi
- f. Menyusut bila kering dan mengembang bila basah
- g. Bila kadar air bertambah, kuat gesernya berkurang
- h. Bila struktur tanah terganggu, kuat gesernya berkurang
- i. Berubah volumenya dengan bertambahnya waktu akibat rangkai pada beban yang konstan

Tabel 2.1 Sifat-sifat Umum Tanah Lunak (Thoha, 1989)

No	Parameter	Nilai
1	Kadar air	80-100%
2	Batas cair	80-100%
3	Batas plastik	30-45%
4	Lolos saringan no.200	>90%
5	Kuat geser	20-40kN/m ²

2.4 Metode Penyelidikan Lapangan

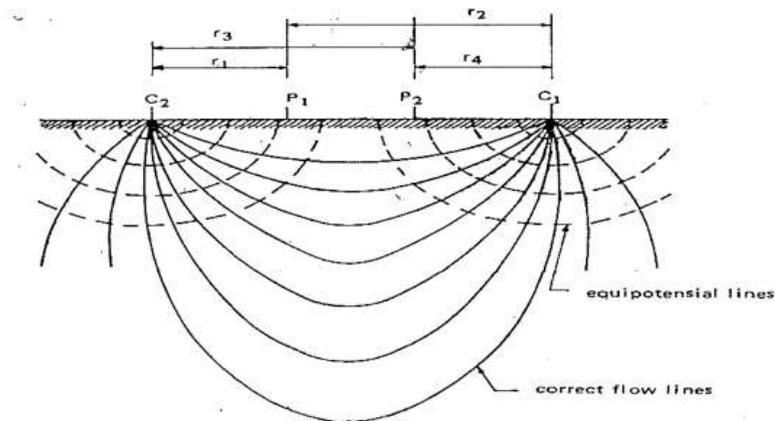
Penyelidikan tanah yang dilakukan di lapangan yaitu untuk memperoleh gambaran tentang bentuk susunan lapisan tanah dan letak muka air tanah pada lokasi penelitian. Baik dengan metode yang sifatnya merusak (*Destructive Tester*) maupun dengan metode yang sifatnya tidak merusak (*Non-Destructive Tester*).

2.4.1. Sifatnya Tidak Merusak (*Non-Destructive Tester*)

1) Geolistrik

Penyelidikan tanah dengan cara geolistrik dapat dilakukan dengan cara menancapkan elektroda arus dan elektroda potensial kedalam tanah, susunan elektroda cara Wenner dapat dilihat pada **Gambar 2.1**.

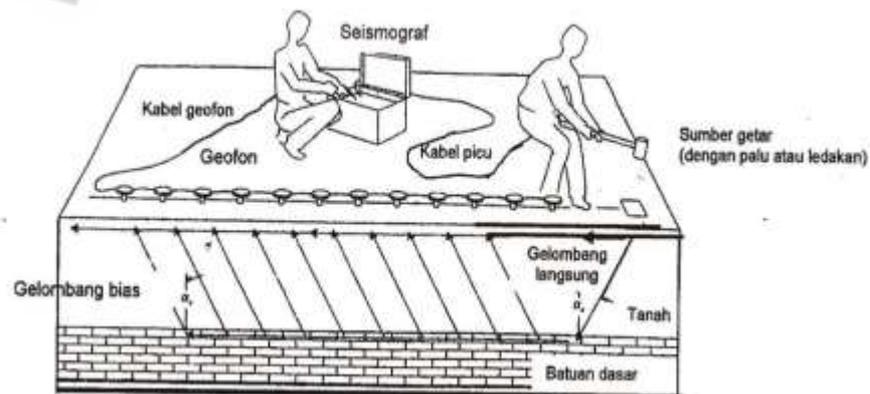
Penyelidikan tanah dengan metode geolistrik ini bertujuan untuk mendapatkan keadaan susunan, kedalaman, ketebalan dan penyebaran lapisan tanah atau batuan berdasarkan perbedaan kontras harga tahanan jenis.



Gambar 2.1 Susunan Elektroda Cara Wenner

2) Geoseismik

Metode seismik yaitu metode yang didasarkan pada pengukuran respon gelombang seismik (suara) yang dimasukkan ke dalam tanah dan kemudian direleksi atau direflaksikan sepanjang perbedaan lapisan tanah atau batas-batas batuan. Sumber seismik umumnya adalah palu godam (*sledgehammer*) yang dihantamkan pada pelat besi di atas tanah, benda bermassa besar yang dijatuhkan atau ledakan dinamit. Respon yang tertangkap dari tanah diukur dengan sensor yang disebut geofon, yang mengukur pergerakan bumi.



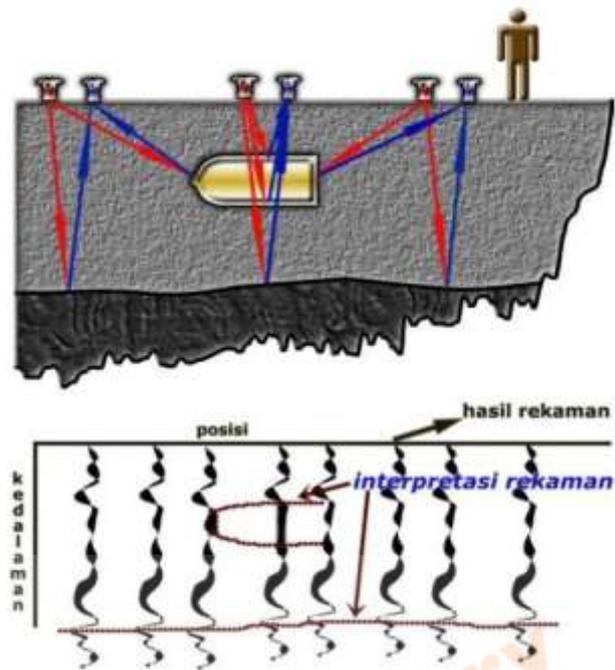
Gambar 2.2 Pengujian Geoseismik

3) Georadar

Georadar (GPR) yaitu teknik teknik geofisika eksplorasi permukaan noninvasif yang menggunakan gelombang elektromagnetik untuk karakterisasi dan pemantauan objek di bawah permukaan tanah. Metode ini digunakan untuk menemukan objek yang terpendam, karakterisasi dan pemantauan lingkungan, pertanian, air tanah, penyelidikan arkeologi, pertambangan, deteksi gua dan terowongan, pengendapan dan berbagai aplikasi-aplikasi lainnya.

Georadar memiliki resolusi yang tinggi diantara metode geofisika untuk pencitraan bawah permukaan dengan besaran resolusi sampai skala centimeter. Resolusi yang dikendalikan oleh panjang gelombang propagasi elektromagnetik dalam tanah, resolusi meningkat seiring dengan meningkatnya frekuensi (panjang gelombang lebih pendek).

Secara umum peralatan georadar terdiri dari dua komponen utama yaitu peralatan pemancar gelombang radar (*transmitter*) dan peralatan penerima pantulan atau refleksi gelombang radar (*transceiver*). Pola-pola refleksi ini mencerminkan perbedaan nilai dielektrik massa atau benda-benda terhadap gelombang radar yang mengenainya. Kedalaman pengukurannya dapat disesuaikan dengan tujuan kegiatannya dengan mengatur frekuensi gelombang radar yang digunakan. Contoh penggunaan frekuensi untuk kedalaman tertentu dapat dilihat pada **Gambar 2.2**



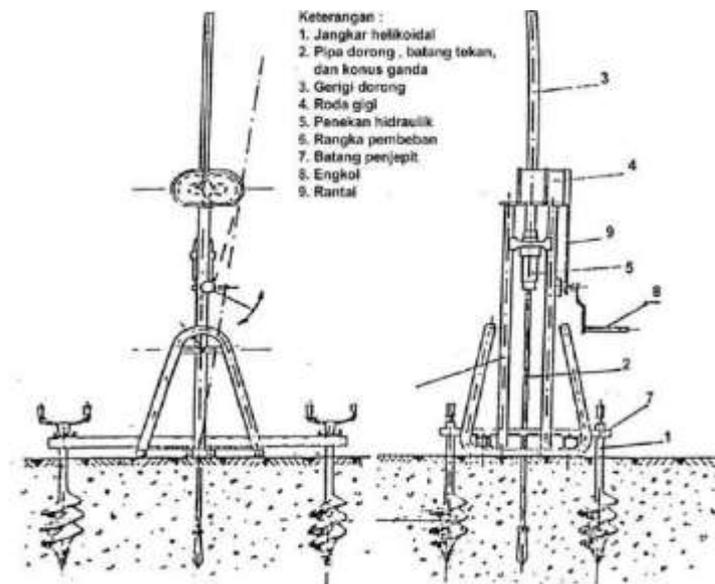
Gambar 2.3 Skema Pengukuran dengan Metode Georadar dan Penampang Grafik Radar yang Dihasilkan

2.4.2. Sifatnya Merusak (*Destructive Tester*)

1) Uji Sondir

Uji sondir yaitu metode yang digunakan untuk menentukan properti tanah dan menggambarkan grafik yang menunjukkan kekerasan dan kelekatan tanah.

Uji sondir ini dilakukan sebelum membangun fondasi dalam yang akan di rencanakan. Data yang didapatkan dari uji sondir yaitu besaran perlawanan dari tanah terhadap konus, dan hambatan pelekat dari tanah yang dimaksud. Hambatan pelekat yaitu perlawanan geser dari tanah tersebut yang bekerja pada selubung bikonus alat sondir dalam gaya per satuan panjang. Alat sondir dapat dilihat pada **Gambar 2.4**



Gambar 2.4 Alat Sondir

(Sumber : SNI 2827:2008)

Tabel 2.2 Hubungan Antara Konsistensi Tanah Dengan Tekanan Konus

Konsistensi Tanah	Tekanan Konus q_c (kg/cm ²)	Undrained Cohesion (T/m ²)
Very Soft	<2,50	<1,25
Soft	2,5-5,0	1,25-2,5
Medium Stiff	5,0-10,0	2,5-5,0
Stiff	10,0-20,0	5,0-10,0
Very Stiff	20,0-40,0	10,0-20,0
Hard	>40,0	>20,0

(Sumber: Terzaghi et al, 1996)

2) Pemboran Mesin (*Drilling Machine*)

Pemboran teknik dilakukan untuk pengambilan sampel tanah, baik tanah terganggu (*Disturbed*) maupun tanah tidak terganggu (*Undisturbed*) yang digunakan untuk pengujian laboratorium. Pemboran mesin merupakan pengujian lapangan yang baik dan akurat karena bisa bekerja pada semua jenis lapisan tanah dan batuan yang keras tetapi pengujian ini memiliki

kekurangan, yaitu biaya pelaksanaan yang mahal, bobot alat yang berat sehingga memerlukan alat pengangkut yang memadai, dan tidak dapat dilakukan di daerah yang pencapaiannya sulit contohnya pegunungan. Bor mesin dirancang untuk pekerjaan pemboran geoteknik, pemboran air, dan pemboran eksplorasi mineral atau batu bara. Setiap pelaksanaan pemboran mesin biasanya selalu diikuti dengan uji SPT untuk menentukan konsistensi atau tingkat kepadatan tanah di lapangan.

Berikut ini yaitu hasil korelasi nilai N-SPT dan propertis tanah yang disajikan pada **Tabel 2.3**, **Tabel 2.4**, **Tabel 2.5**, **Tabel 2.6** dan **Tabel 2.7**.

Tabel 2.3 Korelasi Antara N-SPT Terhadap Tanah Pasir dan Lempung

	cohesionless soil				
N	0-10	11-30	31-50	>50	
Unit weight (KN/m ³)	12-16	14-18	16-20	18-23	
Angle of friction (ϕ)	25-32	28-36	30-40	>35	
State	Loose	Medium	Dense	Very Dense	
	Cohesive				
N	<4	4-6	6-15	16-25	>25
Unit weight (KN/m ³)	14-18	16-18	16-18	16-20	>20
Angle of friction (ϕ)	<25	20-50	30-60	40-200	>100
State	Very soft	Soft	Medium	Stiff	Hard

(Sumber: William T., Whitman, Robert V., 1962)

Tabel 2.4 Hubungan N-SPT terhadap Modulus Elastisitas Tanah

Soil	SPT	CPT
Sand (NC)	$E_s = 500 (N + 15)$	$E_s = 2 \text{ to } 4q_c$
	$E_s = (15000 \text{ to } 22000) \ln N$	$E_s = (1 + D_r^2)q_c$
	$E_s = (35000 \text{ to } 50000) \log N$	
Sand (saturated)	$E_s = 250 (N + 15)$	
Sand (OC)	$E_s = 18000 + 750N$	$E_s = 6 \text{ to } 30q_c$
Gravelly sand and gravel	$E_s = 12000 (N + 6)$	
	$E_s = 600 (N + 6)$ $N \leq 15$ $E_s = 600 (N + 6) + 2000$ $N \geq 15$	
Clayey sand	$E_s = 320 (N + 15)$	$E_s = 3 \text{ to } 6q_c$
Silty sand	$E_s = 300 (N + 6)$	$E_s = 1 \text{ to } 2 q_c$
Soft clay		$E_s = 3 \text{ to } 8q_c$
Clay	Using the undrained shear strength C_u IP > 30 or organic IP < 30 or stiff $E_s(ocr) = E_s(NC) (OCR)^{1/2}$	
		$E_s = 100 \text{ to } 500q_c$
		$E_s = 500 \text{ to } 1500q_c$

(Sumber: Prakash & Sharma, 1990)

Tabel 2.5 Nilai *Poisson Ratio* (ν) Berdasarkan Jenis Tanah

Type of soil	poisson's ratio (ν)
Clay, saturated	0.4-0.5
Clay, unsaturated	0.1-0.3
Sandy clay	0.2-0.3
Silt	0.3-0.35
sand, gravelly sand and commonly used	0.1-1
rock (depends somewhat on type rock)	0.1-0.4
loess	0.1-0.3
ice	0.36
concrete	0.15
steel	0.33

(Sumber: Bowles, 1997)

Tabel 2. 6 Hubungan antara Konsistensi tanah N-SPT dan Sudut Geser

Consistency	N-SPT (blows per ft)	Angle of Internal Friction (deg)
Very Loose	0 - 4	< 28
Loose	5 - 10	28 - 30
Medium	11 - 30	31 - 36
Dense	31 - 50	37 - 41
Very dense	> 51	> 41

(Sumber: Mayerhof, 1956)

Tabel 2.7 Nilai Kohesi

Type	Soil description/state	Effective cohesion (kPa)	Friction angle (degrees)
Cohesive	Soft-organic	5-10	10-20
	Soft-nonorganic	10-20	15-25
	Stiff	20-50	20-30
	Hard	50-100	25-30

(Sumber: Burt look, 2007)

2.5 Pengujian Laboratorium

Pengujian laboratorium dilakukan pada semua sampel tanah yang didapatkan dari lapangan baik tanah terganggu (*disturbed*) maupun tanah tidak terganggu (*undisturbed*). Sifat-sifat fisik dan mekanik tanah dapat ditentukan dari hasil uji laboratorium pada contoh-contoh tanah yang diambil dari hasil penyelidikan tanah baik dengan bor tangan atau dengan bor mesin. Hasil-hasil dari uji laboratorium dapat digunakan untuk menghitung daya dukung tanah, stabilitas, dan penurunan.

2.5.1 Sifat-Sifat Fisik (*Physical Properties*)

1. Kadar air

Kadar air (W) yaitu kandungan air pada tanah yang didapat dari perbandingan antara berat air yang dikandung tanah dengan berat bagian padat (*solid*) dari tanah. Alat uji Kadar Air yaitu cawan, oven, timbangan dengan ketelitian 0,01 gram, dan desikator. Nilai kadar air dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$W = \frac{W_w}{W_s} \times 100\% \dots\dots\dots 2.1$$

dimana:

W = Berat tanah basah/kadar air
 W_w = Berat tanah kering
 W_s = Berat air

2. Berat isi (*Unit Weight*)

Berat isi merupakan perbandingan antara berat tanah basah dengan volume wadah, berat isi dapat dicari dengan rumus sebagai berikut:

$$\gamma_d = \frac{W}{V} \dots\dots\dots 2.2$$

dimana:

γ = Berat isi tanah
 W = Berat tanah basah
 V = Volume wadah

3. Berat Jenis (Gs)

Berat isi didapatkan dari perbandingan antara berat isi butir tanah dan berat isi air suhu 20°C. Dengan nilai berat jenis tanah dapat diketahui apakah tanah tersebut organik atau anorganik. Nilai GS sesuai jenis tanah dapat dilihat pada **Tabel 2.8**

Tabel 2.8 Nilai GS Sesuai Jenis Tanah

Type of Soil	Gs
<i>Sand</i>	2,65-2,67
<i>Silty sand</i>	2,67-2,70
<i>Inorganic silt</i>	2,70-2,80
<i>Soil with micas or iron</i>	2,75-3,00
<i>Organic soil</i>	<2,00

Nilai berat jenis dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \dots\dots\dots 2.3$$

dimana:

γ_s = berat volume butiran padat
 γ_w = berat volume air

4. Angka pori (*void ratio*)

Angka pori (*e*) yaitu perbandingan antara volume pori dan volume butiran padat. Biasanya nilai angka pori dinyatakan dengan desimal. Angka pori dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$e = \frac{V_v}{V_s} \dots\dots\dots 2.4$$

dimana:

e = Angka pori
 V_v = Volume pori
 V_s = Volume butiran padat

5. Porositas

Porositas yaitu proporsi ruang pori tanah (ruang kosong) yang terdapat dalam suatu volume tanah yang dapat diisi oleh air dan udara. Semakin padat tanah berate akan semakin sulit untuk menyerap air, maka porositas tanah semakin kecil. Nilai porositas dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$n = \frac{V_v}{V} \dots\dots\dots 2.5$$

dimana:

n = Porositas
 V_v = Volume pori
 V = Volume tanah pori

6. Derajat Kejenuhan

Derajat kejenuhan dinyatakan dalam persen (%) sehingga nilai terkecil 0% dan nilai terbesarnya 100%. Derajat kejenuhan yaitu perbandingan antara volume air dengan volume pori. Nilai derajat kejenuhan dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$S(\%) = \frac{V_w}{V_v} \dots\dots\dots 2.6$$

dimana:

S = Derajat Kejenuhan
 V_w = Volume air
 V_v = Volume pori

2.5.2 Sifat – Sifat Mekanik (*Mechanical Properties*)

1. Uji Geser Langsung (*Direct Shear Test*)

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan nilai kuat geser tanah dengan mengubah tegangan axial. Kuat geser adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butiran tanah terhadap tarikan. Nilai uji geser langsung dapat dicari dengan rumus sebagai berikut:

$$\tau = \frac{P}{A} \dots\dots\dots 2.7$$

dimana:

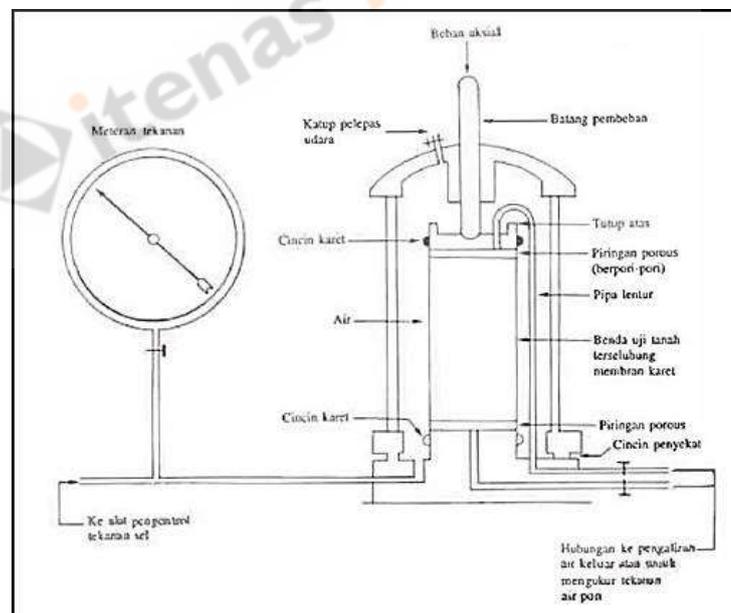
τ = Tegangan geser
 P = Tekanan terbesar
 A = Luas cincin

2. Uji Triaxial

Uji triaxial hanya dilakukan pada tanah-tanah lempung, lanau, dan batuan lunak. Pada umumnya pengujian ini tidak dilakukan pada pasir dan kerikil, walaupun pengambilan contoh tanah pasir dilakukan dengan hati-hati namun pada saat pelepasan dari dalam tabung, tanah akan berubah dari kondisi aslinya. Pada tanah pasir lebih baik jika sudut geser dalam secara empiris diukur dari uji lapangan, seperti uji SPT atau uji sondir. Parameter kuat geser dari hasil uji triaxial bisa dilihat pada **Tabel 2.9**

Tabel 2.9 Parameter kuat geser dari hasil uji triaxial

TIPE PENGUJIAN	PARAMETER YANG DIDAPAT
<i>Unconsolidated-undrained (UU)</i>	$c_u ; \phi_u$
<i>Consolidated-undrained (CU)</i>	$c ; \phi ; u ; c' ; \phi'$
<i>Consolidated-drained (CD)</i>	$c ; \phi ; u ; c' ; \phi'$



Gambar 2. 6 Skema Alat Triaxial

(Sumber: Bishop dan Bjerrum, 1960)

3. Uji konsolidasi

Uji konsolidasi hanya bisa dilakukan untuk jenis tanah yang berbutir halus seperti lempung dan lanau yang digunakan untuk mengukur besarnya penurunan dan kecepatan penuruna. Pengujian dilakukan dengan alat konsolidometer. Dari nilai koefesien konsolidasi (C_v) yang didapat bisa menentukan kecepatan penurunan bangunannya. Data hubungan beban dan penurunan dapat diperoleh dari penggambaran grafik tekanan terhadap air pori. Dari sini, dapat diperoleh koefesien perubahan volume (M_v) atau indeks pemampatan (C_c) yang selanjutnya akan digunakan untuk menghitung estimasi penurunan akibat beban bangunan. Uji konsolidasi tidak dapat dilakukan apabila tanahnya berupa lempung terkonsolidasi (*heavily overconsolidated*). Karena ppada jenis tanah lempung tersebut, sepanjang beban yang diterapkan tidak sangat berlebihan, penurunan yang terjadi sangat kecil sehingga dapat diabaikan. Pengujian konsolidasi yang bermaksud untuk menentukan sifat pemampatan suatu jenis tanah, yaitu sifat-ifat perubahan isi dan proses keluarnya air dari dalam pori tanah yang diakibatkan oleh adanya perubahan tekanan vertikal yang bekerja pada tanah tersebut. Alat untuk pengujian konsolidasi bisa dilihat pada **Gambar 2.6**.



Gambar 2.7 Alat Uji Konsolidasi

Tabel 2.10 Nilai tipikal indeks kompresi untuk lempung

Jenis Tanah	C_c	Referensi
<i>Normally consolidated medium sensitive clays</i>	0.2-0.5	Holtz and Kovacs (1981)
<i>Organic silt and clayey silts (ML-MH)</i>	1.5-4.0	
<i>Organic clays (OH)</i>	>4	
<i>Peat (Pt)</i>	10-15	Lambe and Whitman (1979)
<i>Boston blue clay, undisturbed (CL)</i>	0.35	
<i>Chicago clay undisturbed (CH)</i>	0.42	
<i>Cincinnati clay (CL)</i>	0.17	
<i>Louisiana clays, undisturbed (CH)</i>	0.33	
<i>New Orleans clay undisturbed (CH)</i>	0.29	
<i>Siburua clay (CH)</i>	0.21	
<i>Kaolinite (CL/CH)</i>	0.21-0.26	
<i>Na-Montmorillonite (CH)</i>	2.6	
<i>Chicago silty clay (CL)</i>	0.15-0.30	
<i>Boston blue clay (CL)</i>	0.3-0.5	
<i>Vicksburg buckshot clay (CH)</i>	0.5-0.6	
<i>Swedish medium sensitive clays (CL-CH)</i>	1-3	
<i>Canadian Leda clays (CL-CH)</i>	1-4	
<i>Mexico City clay (MH)</i>	7-10	
<i>San Francisco Bay mud (CL)</i>	0.4-1.2	
<i>Bangkok clays (CH)</i>	0.4	
<i>Uniform sand, loose (SP)</i>	0.05-0.06	USACE (1990)
<i>Uniform sand, dense (SP)</i>	0.02-0.03	
<i>Uniform silts (ML)</i>	0.2	

(Sumber: Ameratunga et al, 2006)

Pengujian laboratorium yang diuraikan di atas dilakukan sesuai dengan prosedur Standar Nasional Indonesia (SNI) seperti tampak pada **Tabel 2.11**

Tabel 2. 11 Penyelidikan Lapangan dan Pengujian Laboratorium yang Mengacu Terhadap SNI

Standar Nasional Indonesia	
Metode	Tabel SNI
Metode Pengujian Berat Jenis Tanah	SNI 03-1964-1990
Metode Pengujian Kadar Air Tanah	SNI 03-1965-1990
Metode Pengujian Triaxial A	SNI 03-2455-1991
Tata Cara Pemetaan Geologi Teknik Lapangan	SNI 03-2849-1992
Metode Pengujian Penetrasi Dengan SPT	SNI 03-4148-1996

Metode Penyiapan Benda Uji dari Contoh Tanah Terganggu	SNI 03-6790-1992
Metode Uji Kuat Tekan Uniaxial Batu	SNI 03-2825-1992
Metode Uji Lapangan dengan alat sondir	SNI 03-2827-1992

(Sumber: Pedoman Penyusunan Spesifikasi Teknik Pekerjaan Geoteknik, 2005)

2.6 Timbunan

Tanah timbunan yaitu material urugan yang diambil dari lokasi quari (borrow pit) dengan cara memindahkan sejumlah volume tanah yang akan ditimbun pada tanah asli akibat adanya perbedaan ketinggian elevasi muka tanah asli dengan ketinggian rencana trase di suatu lokasi proyek. Timbunan dibagi dalam 2 (dua) jenis yaitu timbunan biasa (*common fill*) dan timbunan pilihan (*selected fill*).

2.6.1 Timbunan Biasa (*common fill*)

Timbunan biasa yaitu timbunan atau urugan yang digunakan sampai elevasi top subgrade yang diisyaratkan sesuai gambar perencanaan. Contohnya penggantian material existing subgrade di lapangan yang tidak memenuhi syarat. Bahan untuk timbunan biasa tidak boleh berasal dari galian tanah yang mempunyai sifat-sifat sebagai berikut:

1. Tanah yang mengandung organik seperti tanah yang mengandung daun-daunan, rumput-rumputan, akar, dan sampah
2. Tanah dengan kadar air alamiah yang tinggi sehingga sulit dikeringkan untuk memenuhi toleransi kadar air pada pemadatan atau melampaui kadar air optimum +1%
3. Tanah yang mempunyai sifat kembang susut tinggi dengan ciri-ciri retak sejajar sepanjang tepi perkerasan jalan

2.6.2 Timbunan Pilihan (*selected fill*)

Timbunan pilihan yaitu timbunan atau urugan yang digunakan sampai elevasi top subgrade yang diisyaratkan sesuai gambar perencanaan. Contohnya yaitu untuk mengurangi tebal lapisan bawah dan memperkecil gaya lateral tekanan tanah dibelakang dinding penahan tanah talud jalan. Jenis tanah yang digunakan sebagai material timbunan pilihan untuk oprit jembatan yaitu tanah berbutir sedang hingga kasar.

Spesifikasi teknis material timbunan pilihan berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 3-2010 yaitu:

1. Timbunan pilihan harus digunakan untuk meningkatkan kapasitas daya dukung tanah pada lapisan penopang (capping layer) dan jika dibutuhkan diambil dari daerah galian (borrow pit). Timbunan pilihan juga dapat digunakan untuk stabilisasi lereng atau pekerjaan pelebaran timbunan jika diperlukan timbunan yang lebih curam karena keterbatasan ruangan , dan untuk pekerjaan timbunan lainnya
2. Timbunan pilihan berbutir harus digunakan sebagai lapisan penopang pada tanah lunak yang mempunyai CBR lapangan kurang dari 2% yang tidak bisa ditingkatkan dengan pemadatan atau stabilisasi, contohnya timbunan diatas tanah rawa, daerah berair dan lokasi-lokasi serupa dimana bahan timbunan pilihan tidak bisa dipadatkan dengan memuaskan
3. Timbunan yang diklasifikasikan sebagai timbunan pilihan harus terdiri dari bahan tanah atau batu yang memenuhi semua ketentuan dan memiliki sifat-sifat tertentu tergantung dari maksud penggunaannya. Seluruh timbunan pilihan harus memiliki CBR paling sedikit 10% setelah 4 hari perendaman sesuai dengan SNI 03-1744-1989
4. Bahan timbunan pilihan yang digunakan pada lereng, pekerjaan stabilisasi timbunan atau pada keadaan lainnya memerlukan kuat geser yang cukup , apabila dilaksanakan dengan pemadatan kering normal, maka timbunan pilihan dapat berupa timbunan batu atau kerikil bergradasi baik atau lempung pasiran. Jenis bahan yang dipilih tergantung pada kecuraman dari lereng yang akan dibangun. Tebal timbunan tiap lapisan tidak boleh lebih dari 20 cm atau kurang dari 10 cm, ketentuan ini berlaku juga untuk

timbunan biasa. Material timbunan pilihan harus memiliki kualitas minimal sama atau lebih bagus daripada sub-grade, seperti pada **Tabel 2.12**

Tabel 2.12 Standar Kualitas Material Timbunan Pilihan

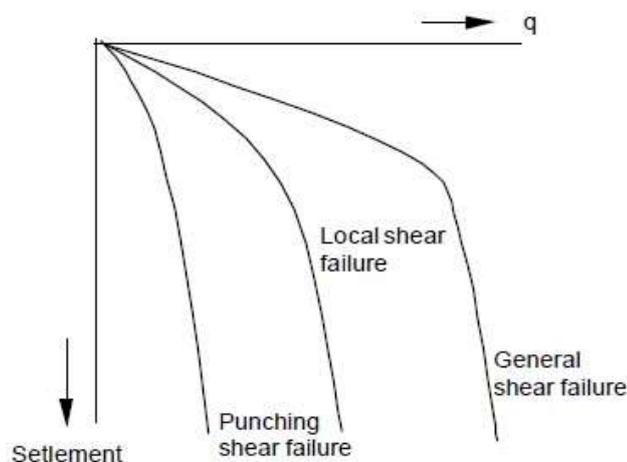
Klasifikasi	A	B
USCS	GW, SW, GP, SP	SM, SP
Lolos saringan #200	Dibawah 10%	Dibawah 25%
Indeks plastis	NP	Dibawah 10%
Kelas/peringkat	Sub-base (SB-1, SB-2)	Sub-grade

2.7 Tipe Keruntuhan

Peletakan fondasi untuk menopang infrastruktur bangunan adalah masalah besar yang dihadapi pada saat perencanaan bangunan dasar maupun bangunan bertingkat. Tanpa adanya perencanaan maka beban yang melampaui daya dukung tanahnya bisa mengakibatkan keruntuhan tanah akibat beban sehubungan dengan fondasi. Tipe keruntuhan yaitu sebagai berikut:

1. *General shear failure* (keruntuhan geser secara menyeluruh dari tanah di bawah fondasi)
2. *Local shear failure* (keruntuhan geser secara setempat dari tanah di bawah fondasi)
3. *Punching shear failure* (keruntuhan geser secara setempat ke arah bawah fondasi)

Tipe atau bentuk fondasi dapat direncanakan tergantung keperluan dan rancangan bangunan yang telah dipertimbangkan.



Gambar 2.8 Tipe Keruntuhan

2.8 Fondasi

Fondasi adalah suatu bangunan dari konstruksi yang bertugas meletakkan bangunan dan meneruskan beban bangunan atas ketanah dasar yang cukup kuat mendukungnya, untuk itu fondasi harus diperhitungkan dengan tepat untuk menjamin kestabilan bangunan terhadap beban sendiri, beban berguna dan gaya-gaya lain seperti tekanan angin, gempa bumi dan lain-lain dan tidak boleh terjadi penurunan fondasi setempat atau penurunan fondasi merata lebih dari batas tertentu. Agar kegagalan fungsi fondasi dapat dihindari maka fondasi harus diletakkan pada lapisan tanah yang cukup keras/ padat serta kuat. Untuk mengetahui letak/kedalaman lapisan tanah keras maka perlu dilakukan penyelidikan tanah.

2.8.1 Fondasi Dangkal

Fondasi dangkal adalah fondasi yang jika kedalaman dasar fondasi dari muka tanah adalah kurang atau sama dengan lebar fondasi. Fondasi dangkal biasanya digunakan untuk bangunan rumah tinggal dan gedung bertingkat biasa dengan beban bangunan tidak besar dan biasa disebut fondasi langsung yaitu dengan memperlebar bagian bawah kolom atau dinding bangunan sehingga beban bangunan disebarkan menjadi desakan yang lebih kecil daripada daya dukung tanah yang diizinkan, secara umum fondasi dangkal membutuhkan biaya lebih murah daripada fondasi-fondasi lainnya. Jenis-jenis pondasi dangkal yaitu sebagai berikut:

1. Fondasi batu kali menerus;

2. Fondasi telapak;
3. Fondasi telapak menerus;
4. Fondasi umpak; dan
5. Fondasi rakit.

2.8.2 Fondasi Dalam

Fondasi dalam adalah pondasi yang meneruskan beban bangunan ke tanah keras yang letaknya relatif jauh dari permukaan, fondasi tiang pancang dan fondasi sumuran merupakan fondasi dalam yang umumnya digunakan dilapangan, kecuali proses mobilisasi kendaraan dengan medan yang cukup sulit, penggunaan bore pile sebagai alternatif penggunaan fondasi dalam. Fondasi dalam digunakan jika lapisan tanah kerasnya atau lapisan tanah yang mempunyai daya dukung yang memadai berada pada kedalaman tanah yang cukup dalam dari permukaan dan lapisan tanah atas merupakan tanah lunak, sehingga mengharuskan fondasi dipancang meencapai lapisan tanah keras tersebut. Jenis-jenis fondasi dalam yaitu sebagai berikut:

1. Fondasi tiang pancang; dan
2. Fondasi *bore pile*.

2.8.3 Fondasi Tiang Bor (*bore pile*)

Fondasi tiang bor (*bore pile*) yaitu fondasi tiang yang pemasanganya dilakukan dengan mengebor tanah pada awal pengerjaanya. Tiang bor dipasang ke dalam tanah dengan cara mengebor tanah terlebih dahulu, kemudian diisi tulangan dan dicor beton. Apabila tanah mengandung air, maka dibutuhkan pipa besi atau yang biasa disebut *temporary casing* untuk menahan dinding lubang agar tidak terjadi kelongsoran, lalu pipa ini dikeluarkan pada waktu pengecoran beton.

Ada beberapa keuntungan dalam pemakaian pondasi tiang bor jika dibandingkan dengan tiang pancang, yaitu sebagai berikut:

1. Pemasangan tidak menimbulkan suara dan getaran yang membahayakan bangunan sekitarnya
2. Mengurangi kebutuhan beton dan tulangan *dowel* pada pelat penutu tiang (*pile cap*). Kolom dapat secara langsung diletakkan di puncak tiang bor.
3. Kedalaman tiang dapat divariasikan

4. Tanah dapat diperiksa dan dicocokkan dengan data laboratorium
5. Tiang bor dapat dipasang menembus batuan
6. Diameter tiang memungkinkan dibuat besar, bila perlu ujung bawah tiang dapat dibuat lebih besar guna memperbesar kapasitas daya dukungnya
7. Tidak ada resiko kenaikan muka tanah

Kerugian menggunakan fondasi tiang bor yaitu sebagai berikut:

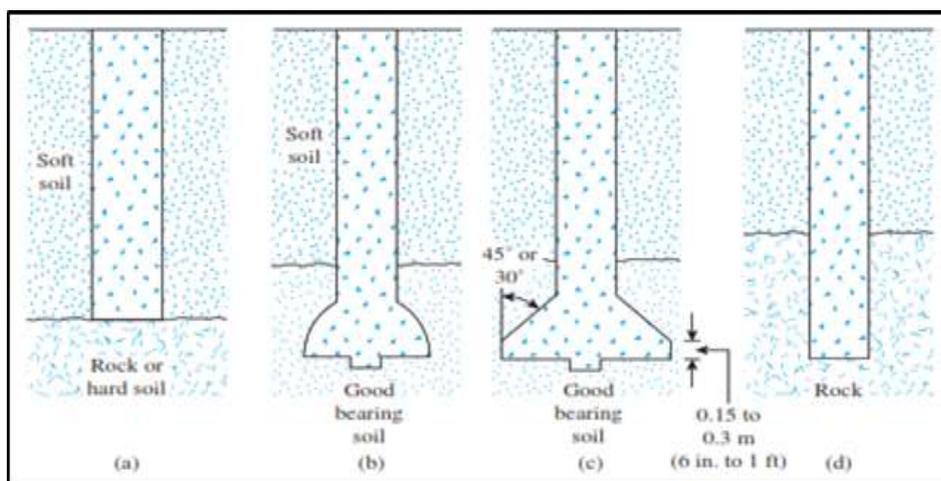
1. Pengecoran tiang bor dipengaruhi cuaca
2. Pengecoran agak sulit bila dipengaruhi air tanah karena mutu beton tidak dapat dikontrol dengan baik
3. Pengeboran dapat mengakibatkan gangguan kepadatan, bila tanah berupa pasir atau tanah yang berkerikil
4. Air yang mengalir ke dalam lubang bor dapat mengakibatkan gangguan tanah, sehingga mengurangi kapasitas daya dukung tiang
5. Lobang bor akan berpotensi runtuh jika tindakan pencegahan tidak dilakukan, maka dipasang *temporary casing* untuk mencegah terjadinya kelongsoran lobang bor.

2.8.4 Jenis-Jenis Fondasi Tiang Bor (*bore pile*)

Secara garis besar tiang bor dikelompokkan menjadi 4 (empat) jenis, antara lain yaitu:

1. Tiang bor lurus untuk tanah keras;
2. Tiang bor yang ujungnya diperbesar berbentuk bel;
3. Tiang bor yang ujungnya diperbesar berbentuk trapezium; dan
4. Tiang bor lurus untuk tanah batu-batuan

Keempat jenis tersebut bisa dilihat pada **Gambar 2.9**



Gambar 2.9 Jenis-jenis fondasi tiang bor

(sumber: Braja M. Das, 2016)

2.9 Kegempaan

Gempa bumi adalah peristiwa bergetarnya bumi akibat pelepasan energi di dalam bumi secara tiba-tiba yang ditandai dengan patahnya lapisan batuan pada kerak bumi. Gempa bumi dalam dunia struktur memiliki kaitan yang sangat penting dalam perancangan suatu bangunan struktur khususnya bangunan yang terletak pada lokasi yang memiliki tingkat kegempaan yang tinggi. Oleh karena itu, gempa bumi merupakan salah satu kriteria penting dalam mendesain suatu bangunan struktur dengan mengistilahkannya sebagai beban gempa.

Beban gempa adalah beban yang bekerja pada suatu struktur akibat dari pergerakan tanah yang disebabkan karena adanya gempa bumi (baik gempa tektonik atau vulkanik) yang mempengaruhi struktur tersebut. Analisis perancangan struktur bangunan terhadap pengaruh beban gempa secara statis, pada prinsipnya adalah menggantikan gaya-gaya horizontal yang bekerja pada struktur akibat pergerakan tanah dengan gaya-gaya statis yang ekuivalen, dengan tujuan penyederhanaan dan kemudahan di dalam perhitungan. Suatu metode mengasumsikan bahwa gaya horizontal akibat gempa yang bekerja pada suatu elemen struktur, besarnya ditentukan berdasarkan hasil perkalian antara suatu konstanta berat atau massa dari elemen struktur tersebut. Metode ini disebut *Equivalent Lateral Force Method* (SNI 03-1726-2003).

Dalam melakukan perancangan gempa rencana untuk setiap jenis infrastruktur struktur dan komponennya harus memiliki sistem penahan gaya lateral dan vertikal yang mampu memberikan kekuatan, kekakuan, dan kapasitas disipasi energi yang cukup untuk menahan beban gempa rencana sesuai dengan kriteria batas deformasi dan kekuatan yang disyaratkan. Kriteria perancangan gempa untuk setiap jenis infrastrukturnya dapat dilihat pada **Tabel 2.13**

Tabel 2.13 Kriteria perancangan gempa berdasarkan peruntukannya

Peruntukan	Umur rencana (tahun)	Probabilitas terlampaui (%)	Periode ulang (tahun)	Kriteria keamanan	Referensi
Bangunan gedung dan non-gedung	50	2	2.500	-	SNI 1726:2012
Jembatan konvensional	75	7	1.000	-	SNI 2833:201x AASHTO (2012)
Dinding penahan Abutmen Jembatan	75	7	1.000	FK>1,5 (terhadap geser saat mengalami beban statik) FK>2 (terhadap guling saat mengalami beban statik) FK>1,1 (terhadap beban pseudostatik)	WSDOT, FHWA-NJ-2005-002
Timbunan oprit				FK>1,1	
Bendungan	100	1	10.000, <i>Safety Evaluation Earthquake (SEE)</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Tidak terjadi aliran air yang tidak terkendali • Deformasi tidak melebihi 0,5 dari tinggi jagaan • Deformasi pada filter tidak boleh melebihi 0,5 tebal filter • <i>Spillway</i> tetap berfungsi setelah terjadi gempa rencana 	ICOLD No 148, 2016,
	100	50	145 <i>Operating Basis Earthquake (OBE)</i>	Kerusakan minor setelah terjadi gempa rencana	
Bangunan pelengkap bendungan	50	2	2500	-	
Terowongan	100	10	1.000 tahun		

(Sumber : SNI 8460:2017)

Pada proses menentukan beban gempa ada beberapa persyaratan spektrum respon desain yang harus dipenuhi, yaitu dengan persyaratan berdasarkan faktor amplifikasi seperti pada **Tabel 2.14** dan **Tabel 2.15** serta klasifikasi situs seperti pada **Tabel 2.16** dari suatu kondisi jenis tanah di sekitar lokasi konstruksi.

Tabel 2.14 Faktor amplifikasi untuk PGA dan periode 0,2 detik (F_{pga} dan F_a)

Kelas situs	$PGA \leq 0,1$	$PGA = 0,2$	$PGA = 0,3$	$PGA = 0,4$	$PGA \geq 0,5$
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,25$
Batuan keras (SA)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Batuan (SB)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Tanah keras (SC)	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
Tanah sedang (SD)	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
Tanah lunak (SE)	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
Tanah khusus (SF)	SS	SS	SS	SS	SS

Keterangan: Untuk nilai-nilai antara dapat dilakukan interpolasi linear

(Sumber : SNI 8460:2017)

Tabel 2.15 Besarnya nilai faktor amplifikasi untuk periode 1 detik (F_v)

Kelas situs	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
Batuan keras (SA)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Batuan (SB)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Tanah keras (SC)	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
Tanah sedang (SD)	2,4	2,0	1,8	1,6	1,5
Tanah lunak (SE)	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
Tanah khusus (SF)	SS	SS	SS	SS	SS

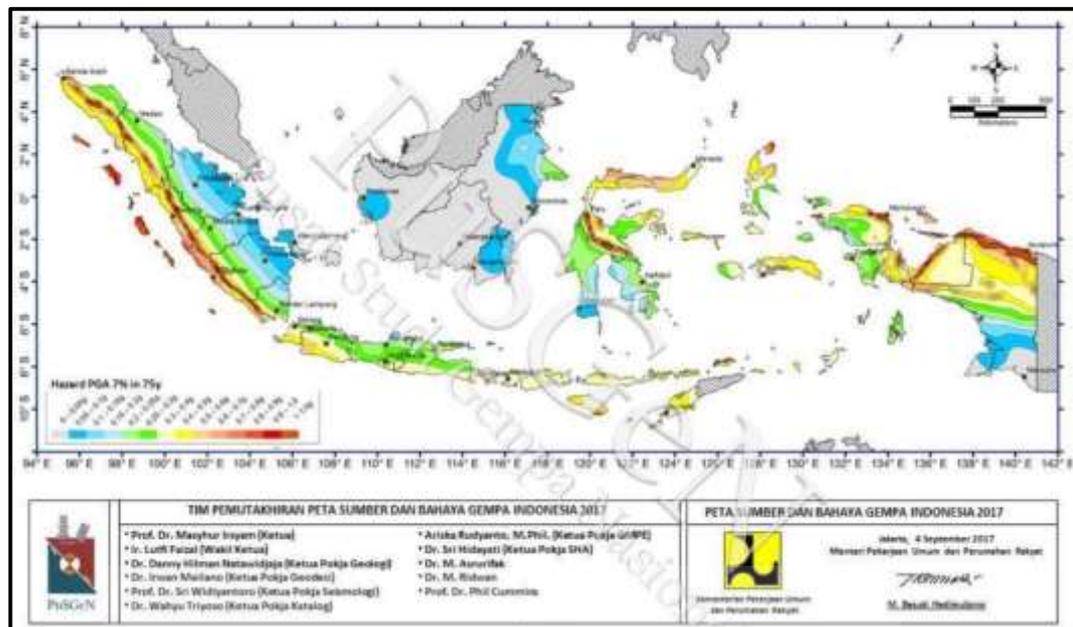
(Sumber : SNI 8460:2017)

Tabel 2.16 Klasifikasi situs

Klasifikasi Situs	\bar{v}_s (m/detik)	\bar{N}_{SP} atau $\bar{N}_{SP}E_h$	\bar{s}_u (kPa)
SA (batuan keras)	>1.500	N/A	N/A
SB (batuan dasar)	750 sampai 1.500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat, dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	<175	<15	<50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m dengan karakteristik sebagai berikut:		
	<ol style="list-style-type: none"> Indeks Plastisitas, $PI > 20$, Kadar air, $(w) \geq 40\%$, dan Kuat geser niralir, $\bar{s}_u < 25$ kPa 		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan penyelidikan geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik seperti:		
	<ul style="list-style-type: none"> - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan, $H > 3$ m) - Lempung berplastisitas 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 		

Keterangan: N/A = tidak dapat dipakai

(Sumber : SNI 8460:2017)



Gambar 2.10 Peta percepatan puncak (PGA) di batuan dasar (SB) untuk probabilitas terlampaui 7 % dalam 75 tahun peta gempa 2017.

2.10 Stabilitas

Stabilitas ditunjukkan dengan nilai faktor keamanan (FK), suatu timbunan dianggap berada pada titik keruntuhan jika faktor keamanan, $FK = 1$, serta berada pada kondisi stabil jika nilai faktor keamanan, $FK \Rightarrow 1$ atau dengan kata lain mempunyai kekuatan lebih. Kriteria FK minimum untuk kondisi jangka pendek atau selama masa pelaksanaan timbunan yang dapat dilihat pada **Tabel 2.17**

Tabel 2.17 Faktor Keamanan Minimum untuk Perhitungan Stabilitas Jalan

Kelas jalan	Faktor keamanan
I	1,4
II	1,4
III	1,3
IV	1,3

(Sumber: Pd-T-11-2005-B.)

2.11 Penurunan

Salah satu permasalahan yang terjadi pada tanah lunak yaitu penurunan tanah yang sangat besar. Penurunan yang besar dapat terjadi akibat penurunan konsolidasi pada tanah lunak. Ketika tanah dibebani, maka sama dengan material lain, tanah akan mengalami penurunan. Penurunan dibagi menjadi 3 (tiga) jenis yaitu sebagai berikut:

1. Penurunan seketika (*Immediate Settlement*)

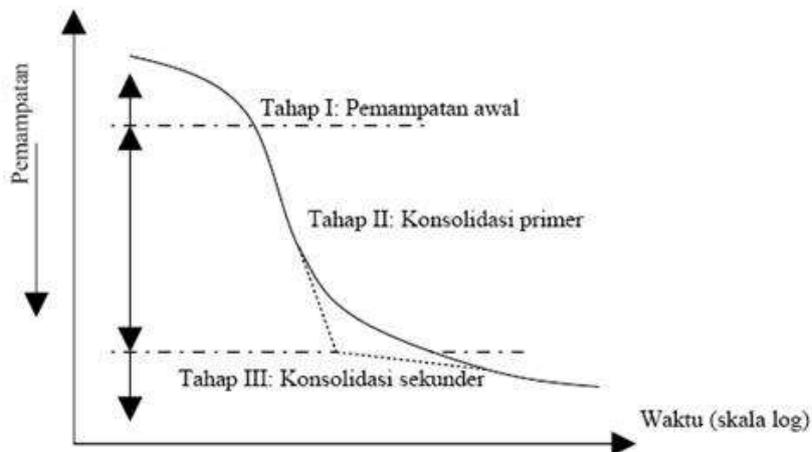
Penurunan seketika yaitu penurunan yang terjadi seketika pada saat beban diberikan. Pada tanah jenuh air dan permeabilitas rendah, beban yang bekerja akan sepenuhnya diterima oleh tegangan air pori. Perhitungan untuk penurunan seketika ini didasarkan pada hukum elastisitas material.

2. Penurunan Konsolidasi/Primer (*Primary Consolidation Settlement*)

Penurunan konsolidasi yaitu penurunan pada tanah kohesif yang diakibatkan oleh terdisipasinya tegangan air berlebih di dalam tanah, dan akhirnya menghasilkan perubahan pada segi volume. Jenis penurunan ini akan terjadi bersama dengan waktu yang berlalu. Tegangan air pori berlebih akan ditransfer menuju partikel tanah menjadi tegangan efektif. Saat tegangan air pori berlebih ini =0, maka penurunan konsolidasi sudah selesai dan tanah berada pada keadaan *drained*.

3. Penurunan Rangkak/Sekunder (*Creep/Secondary Settlement*)

Penurunan sekunder yaitu penurunan yang terjadi setelah penurunan konsolidasi. Penurunan ini akan terjadi seiring waktu berlalu dan biasanya terjadi sangat lama setelah beban mulai bekerja dimana partikel tanah mengalami *creep*. Penurunan ini terjadi saat semua tegangan air pori berlebih di dalam tanah telah terdisipasi dan saat tegangan efektif yang terjadi berada dalam keadaan konstan.



Gambar 2.11 Grafik Hubungan Antara Pemampatan dan Waktu



Gambar 2.12 Grafik Hubungan Antara Penurunan dan Waktu

Tabel 2.18 Kriteria Penurunan Timbunan Jalan

Kelas Jalan	Penurunan yang Disyaratkan Selama Masa Konstruksi (s/S_{tot})	Kecepatan Penurunan Setelah Konsolidasi (mm/tahun)
I	> 90 %	< 20
II	> 85 %	< 25
III	> 80 %	< 30
IV	> 75 %	< 30

(Sumber: Pt-T-10-2002-B)

2.12 Plaxis 2D (Berbasis Metode Elemen Hingga)

Plaxis metode elemen hingga yaitu metode perhitungan yang didasarkan pada konsep diskretisasi, yaitu pembagian pada suatu sistem struktur, massa atau benda padat menjadi elemen-elemen yang lebih kecil. Metode elemen hingga juga merupakan suatu metode pendekatan yang dimana semakin kecil pembagian elemen-elemen semakin akurat pada proses perhitungan. Metode ini dapat digunakan untuk mengetahui nilai deformasi atau tegangan yang terjadi pada suatu elemen yang disebabkan oleh distribusi beban gaya.

Plaxis adalah perangkat lunak yang biasa digunakan untuk analisis geoteknik, terutama untuk analisis penurunan dan stabilitas tanah berbasis elemen hingga yang mampu melakukan analisis mendekati perilaku sebenarnya. Untuk menganalisis timbunan pada oprit jembatan dan lapisan-lapisan tanah di bawahnya dapat dimodelkan dengan cepat dan tepat. Secara umum tahapan-tahapan perhitungan menggunakan aplikasi plaxis berbasis elemen hingga yaitu sebagai berikut:

1. Tahap input data (*input*)

langkah pertama yaitu membuat model elemen hingga dan menentukan sifat-sifat material serta kondisi batasnya. Untuk membuat sebuah model, pengguna terlebih dahulu harus membuat sebuah model geometri 2D yang terdiri dari titik-titik, garis-garis, dan komponen lainnya dalam bidang x - y . penyusunan elemen hingga dan penentuan sifat-sifat serta kondisi batasnya pada setiap elemen dilakukan secara otomatis oleh pembentuk jaring elemen di plaxis berdasarkan masukan dari model geometri. Langkah akhir berupa perhitungan air pori dan tegangan efektif pada kondisi awal model. Selanjutnya tahap input data diawali dengan menggambar kontur geometri, lalu tambahkan pelapisan tanah dan obyek-obyek struktural, serta geometri yang dibutuhkan untuk memodelkan tahapan konstruksi, kemudian kondisi-kondisi batasnya yang diikuti dengan pembebanan.

2. Tahap perhitungan (*calculation*)

Perhitungan memuat semua fasilitas untuk mendefinisikan dan memulai perhitungan elemen hingga. Pada awal perhitungan, pengguna harus memilih proyek dimana perhitungan akan didefinisikan.

3. Hasil perhitungan (*output*)

Hasil dari suatu perhitungan elemen hingga yaitu perpindahan pada titik-titik nodal dan titik-titik tegangan. Selain itu, saat model elemen hingga mengikutsertakan elemen-elemen struktural, maka gaya-gaya struktural juga akan dihitung pada elemen-elemen ini.

Pada awal dari software keluaran pengguna harus memilih model dan tahapan perhitungan atau nomor langkah yang ingin ditampilkan.

Perangkat lunak plaxis dilengkapi oleh fitur-fitur untuk menghadapi aspek struktur dan geoteknik. Ringkasan mengenai fitur-fitur dan uraian penting dalam plaxis yaitu sebagai berikut:

1. Pembuatan model geometri secara grafis

Masukan berupa lapisan tanah, tahapan konstruksi, elemen-elemen struktur, pembebanan serta kondisi batas menggunakan prosedur grafis yang mudah dengan bantuan computer yang memungkinkan pembuatan model geometri yang berupa potongan melintang yang detail. Dengan model geometri ini jaring elemen hingga 2D dapat dibentuk dengan mudah.

2. Pembentukan jaring elemen secara otomatis

Dengan otomatis plaxis akan membentuk jaring elemen hingga 2D yang acak dengan pilihan untuk memperhalus jaring elemen baik secara local maupun global.

3. Elemen ordo tinggi

Tersedia elemen segitiga kuadratik dengan 6 buah titik nodal dan elemen segitiga ordo keempat dengan 15 titik nodal untuk memodelkan deformasi dan kondisi tegangan dalam tanah.

4. Pelat

Elemen balok khusus dapat digunakan untuk memodelkan suatu lentur dari dinding penahan, lining terowongan, elemen cangkang serta struktur-struktur tipis lainnya. Perilaku dari elemen-elemen ini diatur oleh kekuatan lentur, kekakuan arah normal penampang dan momen lentur batas.

5. Interface (antarmuka)

Elemen antar muka dapat digunakan untuk memodelkan interaksi tanah-struktur. Contohnya elemen-elemen ini digunakan untuk memodelkan zona tipis diantara lining terowongan dengan tanah sekelilingnya yang mengalami intensitas geser yang tinggi. Nilai sudut geser dan kohesi dalam elemen antar muka umumnya berbeda dengan nilai sudut geser dan kohesi dari tanah di sekitarnya.

6. Angkur

Elemen pegas elastoplastis digunakan untuk memodelkan pengangkuran dan penopang horizontal. Perilaku dari elemen-elemen ini diatur oleh kekakuan normal penampang dan gaya maksimum.

7. Geogrid

Geogrid (*geotekstil*) pada umumnya sering digunakan dalam praktek untuk pekerjaan timbunan yang membutuhkan perkuatan atau untuk struktur penahan tanah. dapat dimodelkan dalam plaxis dengan menggunakan elemen-elemen yang khusus untuk menahan gaya tarik. elemen ini dapat dikombinasikan dengan elemen antarmuka untuk memodelkan interaksi dengan tanah yang ada di sekelilingnya.

8. Model Mohr-Coulomb

Model sederhana namun handal ini berdasar pada parameter-parameter tanah yang dikenal dengan baik dalam praktik. Tetapi tidak semua fitur non-linear tersedia dalam model ini. Dalam pemodelan mohr-coulomb dapat digunakan untuk menghitung tegangan pendukung yang realistis. Model ini juga dapat dimodelkan untuk menghitung faktor keamanan dengan pendekatan 'reduksi phi-c'

9. Model tanah dari pengguna

Fitur khusus dalam plaxis yaitu pilihan untuk membuat suatu model tanah yang didefinisikan oleh pengguna. Pilihan ini ditujukan terutama untuk para peneliti dan ilmuwan-ilmuwan di perguruan tinggi dan pusat penelitian, tetapi tetap bisa digunakan untuk praktisi.

10. Tekanan air pori hidrostatik

Tekanan air pori yang kompleks dapat dihitung berdasarkan elevasi dari grafis freatik atau masukan langsung yang berupa nilai tekanan air. Perhitungan aliran air statis dalam tanah dapat dilakukan untuk memperoleh distribusi tekanan air pori pada masalah aliran air statis atau rembesan.

11. Analisis konsolidasi

Semakin berkurangnya tekanan air pori yang berlebih terhadap waktu dapat dihitung dengan menggunakan analisis konsolidasi. Perhitungan konsolidasi membutuhkan masukan yang berupa koefisien permeabilitas untuk setiap lapisan tanah. dalam penggunaan prosedur peningkatan langkah waktu secara otomatis akan membuat analisis semakin mudah dilakukan namun tetap handal.

12. Tampilan dari keluaran (output)

Plaxis mempunyai fitur-fitur handal untuk menampilkan hasil dari perhitungan. Nilai perhitungan tegangan, regangan, perpindahan, dan gaya-gaya dalam dari elemen-elemen struktur dapat diperoleh dari tabel keluaran. Keluaran yang berbentuk tabel atau grafis dapat langsung dicetak, disimpan, atau langsung ke memori clipboard dari windows agar dapat digunakan dalam perangkat lunak lain.

13. Lintasan tegangan

Pilihan khusus tersedia untuk menggambarkan kurva beban terhadap tegangan, regangan, perpindahan, serta kurva penurunan terhadap waktu. Visualisasi dari lintasan tegangan akan memberikan informasi yang berharga terhadap perilaku tanah secara local ataupun global.