

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Tanah

Hardiyatmo (1995) dalam Nugroho (2008) menyebutkan tanah adalah himpunan mineral, bahan organik, dan endapan-endapan yang relatif lepas (*loose*), yang terletak diatas batuan dasar (*bedrock*). Ikatan antara butiran yang relatif lemah dapat disebabkan oleh karbonat, zat organik, atau oksida-oksida yang mengendap diantara partikel-partikel. Ruang diantara partikel-partikel dapat berisi air, udara, ataupun keduanya. Proses pelapukan batuan atau proses geologi lainnya yang terjadi didekat permukaan bumi membentuk tanah.

Terdapat dua sistem klasifikasi yang sering digunakan yaitu *Unifield Soil Classification System* dan AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*). Klasifikasi tanah dari *Unifield* pertama kali diusulkan oleh Casagrande tahun 1942, kemudian direvisi oleh kelompok teknisi dari USBR (*United State Bureau of Reclamations*).

1. Sistem Klasifikasi Unifield

Tanah diklasifikasikan berdasarkan tanah berbutir kasar (kerikil dan pasir) jika kurang dari 50% lolos saringan nomor 200 dan tanah berbutir halus (lanau/lempung) jika lebih dari 50% lolos saringan nomor 200. Sistem klasifikasi Unifield dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Sistem Klasifikasi *Unifield*

Divisi Utama		Symbol Kelompok	Nama Jenis	Nama Jenis
Tanah berbutir kasar 50% butiran lebih kasar daripada no. 200 (0.075 mm)	Kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar terdistribusi (no. 4 (4.75 mm))	GW	Kerikil gradasi baik dan campuran pasir-kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$, $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \times D_{10}}$ antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau PI < 4 Batas-batas Atterberg di atas garis A atau PI > 7 $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$, $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \times D_{10}}$ antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau PI < 4 Batas-batas Atterberg di atas garis A atau PI > 7
		GP	Kerikil gradasi buruk dan campuran pasir-kerikil atau tidak mengandung butiran halus	
	Kerikil banyak kandungan butiran halus	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lempung	
		GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung	
	Pasir lebih dari 50% dari fraksi kasar terdistribusi (no. 4 (4.75 mm))	SW	Pasir gradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	
		SP	Pasir gradasi buruk, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	
Kerikil banyak kandungan butiran halus	SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau		
	SC	Pasir berlempung, campuran pasir-lempung		
Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos saringan no. 200 (0.075 mm)	Lanau dan lempung batas cair 50% atau kurang	NL	Lanau tak organik dan pasir sangat halus, serbuk batuan atau pasir halus berlanau atau berlempung	
		CL	Lempung tak organik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung kutus (lean clay)	
		OL	Lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah	
	Lanau dan lempung batas cair > 50%	MH	Lanau tak organik atau pasir halus dominan, lanau elastis	
		CH	Lempung tak organik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk (fat clay)	
		OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi	
Tanah dengan kadar organik tinggi	P _t	Gambut (peat) dan tanah lain dengan kandungan organik tinggi	Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat di ASTM Designation D-2488	

Sumber: Hardiyatomo (2002)

2. Sistem Klasifikasi AASHTO

AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*) berguna untuk menentukan kualitas tanah untuk perencanaan timbunan jalan, *subbase* dan *subgrade*. Sistem klasifikasi ini membagi tanah menjadi A-1 sampai A-8. Tanah granuler diklasifikasikan kedalam klasifikasi A-1 sampai A-3, tanah berbutir halus diklasifikasikan dari A-4 sampai A-7 yaitu tanah lempung-lanau, sedangkan untuk A-8 menggolongkan tanah organik yang tinggi seperti tanah gambut. Sistem klasifikasi AASHTO dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Sistem Klasifikasi AASHTO

Klasifikasi umum	Material granuler (<35% lolos saringan no. 200)					Tanah-tanah lanau-lemung (>35% lolos saringan no. 200)			
	A-1		A-3	A-2		A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5				
Analisis saringan (% lolos) 2,00 mm (no. 10) 0,425 mm (no. 40) 0,075 mm (no. 200)	50 maks 30 maks	50 maks	51 min 10 maks	35 maks 35 maks	35 maks 35 maks	36 min	36 min	36 min	36 min
Staf fraksi lolos saringan no. 4) Batas cair (LL) Indeks plastis (PI)	-	-	-	40 maks 10 maks	41 min 10 maks	40 maks 11 min	41 min 10 maks	40 maks 11 min	41 min 11 min
Indeks kelompok (GI)	0	0	0	4 maks	8 maks	12 maks	16 maks	20 maks	
Tipe material yang pokok pada umumnya	pecahan batu, kerikil dan pasir		pasir halus	kerikil berkilau atau berlemung dan pasir		tanah berlanau		tanah berlemung	
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 (FL)
 Untuk FL > 30, klasifikasinya A-7-5;
 untuk PL < 30, klasifikasinya A-7-6.
 np = nonplastis

Sumber: Hardiyatomo (2002)

3.2 Tanah Gambut

Tanah gambut atau yang lebih dikenal sebagai *peat* adalah tanah yang memiliki kandungan organik lebih dari 75% hal ini disebabkan oleh pelapukan tumbuh-tumbuhan yang terjadi di dataran rendah selalu digenangi air. Hardowigeno (1986) dalam Agus dan Subiksa (2008) menyebutkan bahwa tanah gambut merupakan tanah yang terbentuk dari timbunan sisa-sisa tanah yang telah mati, baik yang sudah lapuk maupun belum. Timbunan terus bertambah karena proses dekomposisi terhambat oleh kondisi anaerob dan/atau kondisi lingkungan lainnya yang menyebabkan rendahnya tingkat perkembangan biota pengurai. Pembentukan tanah gambut merupakan proses deposisi dan transportasi yang berbeda dengan proses pembentukan tanah mineral pada umumnya yang merupakan proses pedogenik.

Soil Survey Staff (1988) dalam Sukiman (2011) menyebutkan bahwa tanah gambut pada umumnya berwarna coklat tua sampai kehitaman, meskipun bahan asalnya berwarna kelabu, coklat atau kemerah-merahan, tetapi setelah mengalami dekomposisi akan muncul senyawa-senyawa humik berwarna gelap. Gambut biasanya dihubungkan dengan material alam yang memiliki kompresibilitas yang tinggi. Material tersebut terdiri terutama jaringan nabati yang memiliki warna

coklat tua sampai dengan hitam, dan karena berasal dari tumbuh-tumbuhan yang mengalami pembusukan maka akan memiliki bau yang khas.

3.2.1 Sifat Fisik Tanah Gambut

Dalam pemanfaatan tanah gambut, sifat fisik gambut yang penting untuk dipelajari adalah kematangan gambut, kadar air, berat isi (*bulk density*), daya menahan beban (*bearing capacity*), dan penurunan permukaan tanah (*subsidence*). Beberapa sifat fisik tanah yang akan diuji adalah sebagai berikut :

1. Kadar air (w)

Besarnya kandungan air didalam tanah disebut kadar air (w). kadar air tanah gambut berkisar antara 100-1300% dari berat keringnya. Kadar air yang tinggi menyebabkan gambut menjadi lembek dan daya menahan bebannya rendah. Kadar air diperoleh dari hasil perbandingan berat air dengan berat tanah dalam persen (%), dinyatakan dalam Persamaan 3.1.

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100\% \quad (3.1)$$

dengan :

w = kadar air (%),

W_w = berat air, dan

W_s = berat tanah.

2. Berat Jenis

Berat jenis tanah merupakan nilai perbandingan berat butiran tanah dengan air destilasi diudara dengan volume yang sama pada temperatur tertentu, biasanya diambil suhu 27,5°C. Perhitungan berat jenis dapat dinyatakan dalam Persamaan 3.2 dan acuan untuk berat jenis tanah gambut dapat dilihat pada Tabel 3.3.

$$Gs(t) = \frac{W_2 - W_1}{(W_4 - W_1) - (W_3 - W_2)} \quad (3.2)$$

dengan :

W₁ = berat piknometer (gr),

W₂ = berat piknometer + tanah (gr),

W₃ = berat piknometer + tanah + air penuh (gr), dan

W₄ = berat piknometer + air penuh.

Tabel 3.3 Berat Jenis Tanah

Macam Tanah	Berat Jenis
Kerikil	2,65-2,68
Pasir	2,65-2,68
Lanau tak organik	2,62-2,68
Lempung organik	2,58-2,65
Lempung tak organik	2,68-2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25-1,80

Sumber: Hardiyatmo (2002)

3. Berat Volume

Berat volume merupakan pengujian yang dilakukan untuk mengetahui berat volume suatu sampel tanah, berat volume tanah adalah nilai perbandingan berat tanah total termasuk air yang terkandung didalamnya dengan volume tanah total. Perhitungan berat volume dapat dinyatakan dalam Persamaan 3.3.

$$\gamma = \frac{W_2 - W_1}{V} \quad (3.3)$$

dengan :

W_1 = berat ring kosong (gr),

W_2 = berat ring + tanah basah (gr),

V = volume ring (cm^3), dan

γ = berat volume (gr/cm^3).

4. Angka pori

Besar angka pori tanah gambut umumnya berkisar antara 5-15. Pada tanah gambut berserat angka porinya bisa jauh lebih besar, sementara tanah gambut granular angka pori cukup kecil berkisar 2. Karena angka pori yang cukup besar, berat volume tanah gambut menjadi sangat kecil. Tanah gambut yang terendam air dengan kandungan organik tinggi, berat volumenya kurang lebih sama dengan berat volume air. Perhitungan nilai angka pori dapat dihitung dengan Persamaan 3.4.

$$\text{angka pori } (e) = \frac{G_s}{\gamma_d} - 1 \quad (3.4)$$

dengan :

e = angka pori,

G_s = berat jenis, dan

γ_d = berat isi kering (gram/cm³).

5. Pemadatan Tanah

Uji pemadatan dilakukan untuk menentukan hubungan kadar air dan berat volume serta untuk memperbaiki tanah agar sesuai persyaratan kepadatan. Proctor (1933) dalam Hardiyatmo (2002) menyatakan bahwa ada hubungan yang pasti antara kadar air dan berat volume kering tanah padat. Untuk berbagai jenis tanah pada umumnya, terdapat satu nilai kadar air optimum tertentu untuk mencapai volume kering maksimumnya. Hubungan berat volume tanah kering, berat volume tanah basah dan kadar air dinyatakan dengan Persamaan 3.5 berikut ini :

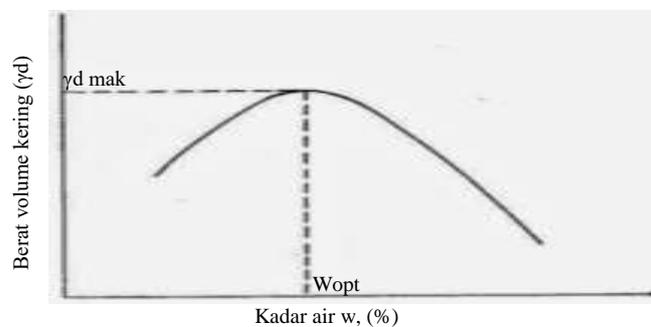
$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1+w} \quad (3.5)$$

dengan :

w = kadar air (%),

γ = berat volume basah (kg/cm³), dan

γ_d = berat volume tanah kering (kg/cm³).



Gambar 3.1 Kurva Hubungan Kadar Air dan Berat Volume Kering

(Sumber: Hardiyatmo, 2002)

Tanah gambut juga bersifat mengering tidak balik yang mana artinya jika gambut telah mengering (kadar air <100%) maka gambut tidak akan bisa menyerap air jika dibasahi lagi (Agus dan Subiksa, 2008). Hal yang utama tentang tanah gambut adalah sifatnya yang *compressible* dimana lapisannya akan memiliki penurunan yang sangat besar ketika beban diletak diatasnya, hal ini tentunya dipengaruhi tebal lapisan gambut, semakin tebal lapisan gambut maka penurunan akan semakin besar.

Jika dibandingkan dengan tanah mineral, kemampuan tanah gambut dalam menyimpan dan menyerap air jauh lebih besar. Hal ini disebabkan oleh dominannya komposisi bahan organik pada tanah gambut. Tingginya kadar air tanah gambut menyebabkan nilai berat volume menjadi rendah sehingga tanah gambut menjadi lembek dan daya menahan bebannya (*bearing capacity*) menjadi rendah.

6. Kadar abu dan kadar organik

ASTM D 2974-87 pengujian kadar abu tanah gambut dapat dilakukan dengan cara memasukkan tanah gambut kedalam oven pada temperature 440° atau 750°C sampau sampel tanah berubah menjadi abu. Persentase kadar abu dihitung terhadap berat kering tanah. Perhitungan kadar organik dapat dinyatakan dalam Persamaan 3.6.

$$\text{Kadar Organik (\%)} = 100\% - \text{kadar abu} \quad (3.6)$$

Tabel 3.4 Sistem Klasifikasi Tanah Gambut berdasarkan Kadar Abu (ASTM D-4427)

System	OSRC (Andrejko et al. 1983)	Jarrett (Andrejko et al. 1983)	Davis (1946)	USSR (Mankinen & Gelfer 1982)	LGS (Kearns & Davidson 1983)	ASTM D4427-92 (1997)	
Ash Content (%)	5	Low Ash	PEAT	PEAT	1	PEAT (Inorganic Texture)	PEAT
	10	Medium Ash			2		
	15				3		
	20	High Ash			4		
	25		PEATY MUCK (Inorganic Texture)	5	ORGANIC SOILS		
	30						
	35	CALCAREOUS SEDIMENT	MUCK	PEATY	MUCK	NON-PEAT	MUCK (Inorganic Texture)
	40						
	45		ORGANIC CLAY OR SILT	MINERAL SOIL	MUCKY Inorganic Texture Inorganic Texture		
	50					High Ash	NON-PEAT
	55		MINERAL SEDIMENT	ORGANIC CLAY OR SILT	MINERAL SOIL		
	60					High Ash	NON-PEAT
	65		MINERAL SEDIMENT	ORGANIC CLAY OR SILT	MINERAL SOIL		
	70					High Ash	NON-PEAT
	75		MINERAL SEDIMENT	ORGANIC CLAY OR SILT	MINERAL SOIL		
	80					High Ash	NON-PEAT
	85		MINERAL SEDIMENT	ORGANIC CLAY OR SILT	MINERAL SOIL		
90		High Ash				NON-PEAT	MUCKY Inorganic Texture Inorganic Texture
95			MINERAL SEDIMENT	ORGANIC CLAY OR SILT	MINERAL SOIL		
100		High Ash				NON-PEAT	MUCKY Inorganic Texture Inorganic Texture

Sumber: E.C. Leong & C.Y.Chin (1999)

3.2.2 Sifat Kimia Tanah Gambut

Tanah gambut memiliki kandungan zat hara yang rendah dan mengandung berbagai jenis asam-asam organik yang sebagian besar bersifat racun bagi tanaman karena faktor tersebutlah secara alamiah tanah gambut memiliki tingkat kesuburan yang rendah. Namun asam-asam organik tersebut merupakan bagian dari tanah yang aktif dalam menentukan kemampuan tanah gambut untuk mempertahankan unsur hara sehingga sifat kimia tanah gambut dipengaruhi oleh karakteristik dari asam-asam organik.

3.2.3 Sifat Teknis Tanah Gambut

Dalam geoteknik dikenal dua macam kriteria perencanaan pondasi yang berkenaan dengan daya dukung tanah dan kemampuan mampatannya. Keduanya berhubungan dengan sifat teknis dari tanah. Parameter yang dipakai untuk menentukan sifat teknis tanah adalah sebagai berikut :

1. sudut geser dalam (ϕ) dan kohesi (c) untuk menentukan daya dukung tanah, dan
2. parameter konsolidasi (C_c , C_s , σ_p , dan C_v) untuk memperkirakan besar penurunannya.

3.2.4 Klasifikasi Tanah Gambut

Pengklasifikasian tanah gambut sampai saat ini belum terdapat sistem yang baku yang dapat digunakan secara universal karena para peneliti hanya mengklasifikasikan tanah gambut berdasarkan hal-hal yang berbeda dan untuk kepentingan yang berbeda pula. Sukiman (2011) menyatakan bahwa ditinjau dari segi teknik, klasifikasi tanah gambut berbeda-beda dan tidak semua tanah organik dapat disebut tanah gambut. Klasifikasi tanah gambut dapat lebih banyak didasarkan pada sifat kimia dan botaninya.

Definisi tanah gambut berdasarkan ASTM D4427-92 (2002) adalah tanah yang memiliki kandungan organik tinggi yang terjadi atas dekomposisi material tumbuhan dan dibedakan dari material tanah organik lainnya dari kandungan abunya $<25\%$ abu dari berat keringnya. Secara umum dalam klasifikasi tanah, tanah gambut dikenal sebagai Organosol atau Histosols yaitu tanah yang memiliki lapisan

bahan organik dengan berat jenis (BD) dalam keadaan lembab $< 0,1 \text{ g cm}^{-3}$ dengan tebal $> 60 \text{ cm}$ atau lapisan organik dengan $\text{BD} > 0,1 \text{ g cm}^{-3}$ dengan tebal $> 40 \text{ cm}$.

Sebagian tanah gambut di Indonesia merupakan tanah gambut oligotrofik dan mesotrofik sedangkan gambut eutrofik terdapat di daerah pantai dan disepanjang jalur aliran sungai. Kandungan mineral dan basa-basa dan ketebalan lapisan tanah gambut mempengaruhi tingkat kesuburannya. Di Indonesia, gambut yang relatif lebih subur terdapat didaerah pulau Sumatra.

Menurut ASTM D4427-92 tanah gambut diklasifikasi berdasarkan tingkat absorpsinya dan kadar abu.

1. Berdasarkan tingkat absorpsinya, tanah gambut diklasifikasikan yaitu :
 - a. *extremely absorbent*, yaitu tanah gambut yang dapat menampung air $> 1500\%$,
 - b. *highly absorbent*, yaitu tanah gambut yang dapat menampung air $800\% - 1500\%$,
 - c. *moderately absorbent*, yaitu tanah gambut yang dapat menampung air $300\% - 800\%$, dan
 - d. *slightly absorbent*, yaitu tanah gambut yang dapat menampung air $< 300\%$.
2. Berdasarkan kadar abu, tanah gambut diklasifikasikan yaitu :
 - a. kadar abu rendah yaitu kadar abu $< 5\%$,
 - b. kadar abu sedang yaitu kadar abu $5\% - 15\%$, dan
 - c. kadar abu tinggi yaitu kadar abu $> 15\%$

Berdasarkan lingkungan pembentukannya, gambut dibedakan menjadi sebagai berikut :

1. gambut ombrogen yaitu gambut yang terbentuk pada lingkungan yang hanya dipengaruhi oleh air hujan. dan
2. gambut topogen yaitu gambut yang terbentuk di lingkungan yang mendapat pengayaan air pasang. Dengan demikian gambut topogen akan lebih kaya mineral dan lebih subur dibandingkan dengan gambut ombrogen.

Berdasarkan proses dan lokasi pembentukannya, gambut dibagi menjadi sebagai berikut :

1. gambut pantai adalah gambut yang terbentuk dekat pantai laut dan mendapat pengayaan mineral dari air laut,
2. gambut pedalaman adalah gambut yang terbentuk di daerah yang tidak dipengaruhi oleh pasang surut air laut tetapi hanya oleh air hujan, dan
3. gambut transisi adalah gambut yang terbentuk di antara kedua wilayah tersebut, yang secara tidak langsung dipengaruhi oleh air pasang laut.

Berdasarkan wilayah iklim, gambut dibagi menjadi sebagai berikut :

1. gambut tropik adalah gambut yang berada dikawasan tropic atau sub tropik, dan
2. gambut iklim sedang adalah gambut yang berada dikawasan Eropa yang umumnya mempunyai iklim empat musim.

3.3 Perbaikan Tanah

Apabila diperlukan untuk membangun diatas lapisan tanah lunak, maka pertama-tama masalah teknis yang harus diselidiki adalah daya dukung (*bearing capacity*) dan penurunan (*settlement*). Lapisan tanah yang lunak memiliki gaya geser yang kecil, kemampatan yang besar dan koefisien permeabilitas yang kecil sehingga akan terjadi kerusakan tanah pondasi jika pembebanan konstruksi melampaui daya dukung kritis. Intensitas beban yang kurang dari daya dukung kritis dalam jangka waktu yang lama besarnya penurunan akan meningkat yang akhirnya akan mengakibatkan berbagai masalah.

Gejala kerusakan tanah pondasi atau penurunan tambahan bukan hanya akan menyebabkan konstruksi itu tidak berfungsi semestinya, melainkan dapat mengakibatkan permukaan tanah disekeliling konstruksi itu naik atau turun serta mengakibatkan kerusakan pada bangunan-bangunan disekitarnya, untuk mengatasi hal-hal tersebut maka diperlukan perbaikan tanah.

Perbaikan tanah (*soil improvement*) adalah upaya yang dapat dilakukan untuk memperbaiki atau meningkatkan karakteristik tanah yang bermutu rendah menjadi tanah yang karakteristiknya lebih baik sehingga layak digunakan untuk membangun bangunan konstruksi diatasnya. Prinsip dasar perbaikan tanah adalah memperbaiki

karakteristik mekanis tanah serta bertujuan untuk meningkatkan kekuatan (*strength*) dan mengontrol permeabilitas.

3.3.1 Stabilisasi Tanah

Daya dukung yang rendah merupakan salah satu masalah pembangunan perkerasan jalan yang dijumpai dilapangan, baik ketika pada masa pembangunan maupun pada masa ketika jalan sudah dapat dioperasikan, oleh karena itu tanah dasar perlu dilakukan penanganan guna memberikan landasan kuat bagi alat berat selama masa pembangunan dan saat setelah dibangun lapis perkerasan di atasnya.

Stabilisasi tanah adalah usaha yang dilakukan untuk memperbaiki sifat –sifat teknis tanah dengan cara mencampur tanah dengan bahan tambah tertentu agar memenuhi syarat teknis tertentu. Dalam pembangunan jalan raya, stabilisasi tanah didefinisikan sebagai perbaikan material jalan lokal yang ada, dengan cara stabilisasi mekanis atau dengan cara menambahkan suatu bahan tambah (*additive*) kedalam tanah (Hardiyatmo, 2010). Stabilisasi akan memperbaiki kapasitas dukung tanah dasar , sehingga akan mengurangi tebal perkerasan.

Pada dasarnya, stabilisasi tanah dapat dilakukan melalui 2 cara, yaitu :

1. stabilisasi mekanis, dan
2. stabilisasi dengan bahan tambah.

Pada penelitian ini dilakukan stabilisasi tanah dengan cara mencampur tanah dengan bahan tambah.

Menurut metode yang diberikan oleh Indiana Departmen of Transportation (INDOT,2002) kadar bahan tambah yang digunakan untuk stabilisasi adalah sebagai berikut:

1. kapur : 3 - 9%,
2. semen : 3 - 10%, dan
3. abu-terbang : 10 – 25%.

3.3.2 Stabilisasi Kimiawi

Stabilisasi dengan bahan tambah atau yang sering disebut dengan stabilisasi kimiawi berguna untuk memperbaiki sifat-sifat teknis tanah, dengan cara mencampur tanah dengan bahan tambah. Bahan tambah (*additives*) adalah bahan

hasil olahan pabrik yang bila ditambahkan ke dalam tanah dengan perbandingan yang tepat akan memperbaiki sifat-sifat teknis tanah, seperti kekuatan, tekstur, kemudahan-dikerjakan (*workability*) dan plastisitas. Contoh-contoh bahan tambah adalah kapur, semen Portland, abu-tebang (*fly-ash*), aspal (*bitumen*) dan lain-lain (Hardiyatmo,2010).

Menurut metode yang diberikan oleh Indiana Departmen of Transportation (INDOT,2002) kadar bahan tambah yang digunakan untuk stabilisasi adalah sebagai berikut:

1. *Portland cement* (PC)

Semen (*portland cement*) adalah bahan perekat yang memiliki sifat yang mampu mengikat bahan-bahan padat menjadi satu kesatuan yang kompak dan kuat. Semen akan menjadi perekat bila dicampur dengan air. Perekat inilah yang menimbulkan reaksi memadat dan membentuk massa yang keras. Rollings dan Rollings (1996) dalam Hardiyatmo (2010) menyatakan bahwa keuntungan dari pemakaian semen untuk stabilisasi adalah semen memberikan ikatan yang lebih kuat di antara partikel-partikel tanah. Semua komponen kimia untuk berkembangnya ikatan kalsium silika dan aminium hidrat ada dalam semen, dan tidak ada kontribusi kimiawi yang dibutuhkan dari tanahnya, karena itu stabilisasi semen tidak bergantung pada mineralogy tanah yang distabilisasi.

2. *Gypsum* (CaSO₄.2H₂O)

Sanusi (1986) dalam Rakhman (2003) menyebutkan bahwa gypsum adalah suatu senyawa kimia yang mengandung dua molekul hablur dan dikenal dengan rumus kimia CaSO₄.2H₂O. *Gypsum* dalam bentuk murni berupa kristal berwarna putih dan berwarna abu-abu, kuning, jingga atau hitam bila kurang murni.

Gypsum yang berfungsi sebagai perekat sifatnya jauh lebih baik jika dibandingkan dengan perekat organik dikarenakan *gypsum* tidak menyebabkan pencemaran udara, ekonomis, tidak mudah terbakar dan tahan terhadap zat kimia. *Gypsum* merupakan fraksi dari hydrated lime (kapurhidrasi) yaitu *calcium sufat dehydrate* yang merupakan reaksi penggaraman dan penguapan (Rakhman,2003). *Gypsum* memiliki reaksi sebagai berikut :



Gypsum digunakan sebagai pemerlambat (*retarder agent*) pengerasan semen.

3.4 Kuat Geser Tanah (*Shear Strength*)

Kekuatan geser tanah ditentukan untuk mengukur kemampuan tanah menahan tekanan tanpa menjadi keruntuhan. Kekuatan geser tanah dapat dianggap terdiri dari dua parameter yaitu :

1. Gesekan dalam, yang sebanding dengan tegangan efektif yang bekerja pada bidang geser
2. Kohesi yang tergantung kepada jenis tanah dan kepadatannya, tetapi tidak tergantung dari tegangan normal yang bekerja pada bidang geser.

Parameter kuat geser tanah diperlukan untuk analisis-analisis daya dukung tanah. Mohr (1910) dalam Hardiyatmo (2002) menyebutkan bahwa keruntuhan suatu bahan dapat terjadi oleh akibat adanya kombinasi keadaan kritis dari tegangan normal dan tegangan geser. Hubungan fungsi antara tegangan normal dan tegangan geser pada bidang runtuhnya, dinyatakan menurut Persamaan 3.4 berikut ini.

$$\tau = f(\sigma) \quad (3.4)$$

Dengan τ adalah tegangan geser pada saat terjadinya keruntuhan atau kegagalan, dan σ adalah tegangan normal pada saat kondisi tersebut.

Coulomb (1776) dalam Hardiyatmo (2002) mendefinisikan fungsi $f(\sigma)$ dinyatakan dalam Persamaan 3.5 berikut ini.

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \varphi \quad (3.5)$$

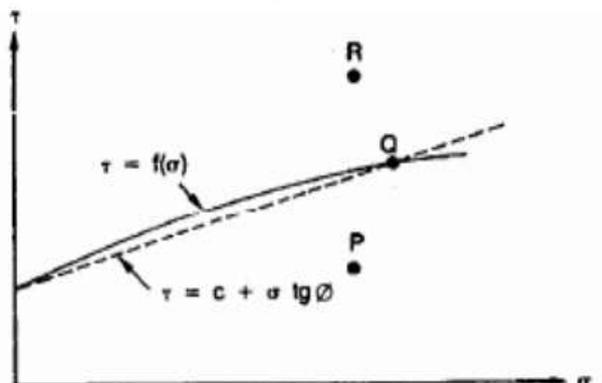
dengan :

τ = kuat geser tanah (kN/m^2),

c = kohesi tanah (kN/m^2),

φ = sudut gesek dalam tanah (derajat), dan

σ = tegangan normal pada bidah runtuh (kN/m^2).



Gambar 3.2 Kriteria Kegagalan Mohr dan Coulomb

(Sumber: Hardiyatmo,2002)

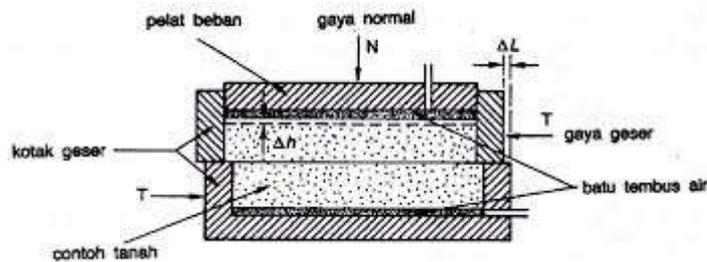
Kriteria keruntuhan/kegagalan Mohr-Coulomb digambarkan dalam bentuk garis lurus. Jika kedudukan tegangan baru mencapai titik P, keruntuhan tidak akan terjadi. Pada titik Q terjadi keruntuhan karena titik tersebut terletak tepat pada garis kegagalan. Titik R tidak akan pernah tercapai, karena sebelum mencapai titik R sudah terjadi keruntuhan.

Parameter kuat geser tanah ditentukan dengan uji laboratorium terhadap sampel tanah asli (*undisturbed*), tanah tersebut diambil dengan hati-hati agar tidak berubah kondisinya (kadar air, susunan butiran), karena hal ini bisa berakibat fatal pada sampel. Kuat geser tanah yang diuji di laboratorium, dilakukan dengan besar beban yang telah ditentukan. Hal yang perlu diperhatikan adalah proses pengambilan contoh tanah, penyimpanan contoh tanah, dan perawatan contoh sebelum dilakukan pengujian, khususnya untuk contoh tanah yang tidak terganggu (*undisturbed*) yang mana struktur tanah dilapangan dan kadar airnya harus dipertahankan. Pada penelitian ini yang digunakan untuk menentukan kuat geser tanah adalah dengan melakukan pengujian geser langsung (*Direct Shear*).

3.4.1 Pengujian Geser Langsung (*Direct Shear*)

Uji geser langsung merupakan pengujian parameter kuat geser tanah yang paling sederhana. Pada pengujian geser langsung, pengujian dilakukan beberapa kali dengan menggunakan sampel tanah dengan bermacam-macam tegangan normal. Harga tegangan-tegangan normal dan harga τ_f yang didapat dengan

melakukan beberapa kali pengujian kemudian digambarkan pada sebuah grafik dan selanjutnya dapat menentukan harga-harga parameter kekuatan geser.



Gambar 3.3 Skema Contoh Tanah Setelah Tergeser

(Sumber: Hardiyatmo, 2002)

Peralatan pengujian geser langsung merupakan kotak geser yang terbuat dari besi yang digunakan sebagai tempat untuk meletakkan benda uji yang mana kotak tersebut terbagi menjadi dua bagian. Bagian atas dan bawah contoh tanah diletakkan piringan berpori atau piringan logam. Pada bagian kotak geser, akan diberi gaya vertikal (N) melalui pelat beban yang secara berangsur-angsur akan menimbulkan tegangan geser dengan cara membuat pergeseran antara kedua bagian kotak geser.

3.5 Timbunan

Pada suatu perencanaan konstruksi dalam bidang teknik sipil (tanggul, bangunan, lahan parkir, jalan, jembatan, dll), tidak jarang ditemukan kondisi tanah asli yang labil sehingga daya dukung sangat rendah dan tidak memungkinkan untuk menahan suatu sistem pembebanan di atasnya. Hal tersebut dapat diatasi dengan melakukan timbunan tanah di atas lapisan tanah asli dengan tanah yang memiliki potensi daya dukung memadai (Angin, 2009). Kestabilan timbunan bergantung pada tinggi dan kemiringan lerengnya, oleh karena itu untuk mendapatkan kestabilan, tinggi timbunan harus memperhatikan kemiringan lereng atau geometri timbunannya.

3.6 Stabilitas Lereng

Pada permukaan tanah yang tidak horizontal atau miring, komponen gravitasi cenderung untuk menggerakkan tanah ke bawah. Jika komponen gravitasi sedemikian besar sehingga perlawanan terhadap gesekan yang dapat dikerahkan oleh tanah pada bidang longsornya terlampaui, maka akan terjadi kelongsoran lereng. Analisis stabilitas pada permukaan tanah yang miring ini, disebut analisis stabilitas lereng (Hardiyatmo,2010).

Terzaghi (1950) dalam Hardiyatmo (2010) menyebutkan bahwa penyebab longsoran lereng terdiri dari akibat pengaruh dalam (*internal effect*) dan pengaruh luar (*external effect*). Pengaruh luar, yaitu pengaruh yang menyebabkan bertambahnya gaya geser dengan tanpa adanya perubahan kuat geser tanah. Contohnya, akibat perbuatan manusia mempertajam kemiringan tebing atau memperdalam galian tanah dan erosi sungai. Pengaruh dalam, yaitu longsoran yang terjadi dengan tanpa adanya perubahan kondisi luar atau gempa bumi. Contoh yang umum untuk kondisi ini adalah pengaruh bertambahnya tekanan pori didalam lereng.

3.6.1 Teori Analisis Stabilitas Lereng

Analisis stabilitas berfungsi untuk menentukan faktor aman dari bidang longsor yang potensial. Menurut Hardiyatmo (2010) beberapa anggapan telah dibuat mengenai analisis stabilitas lereng, yaitu sebagai berikut ini.

1. Kelongsoran lereng terjadi di sepanjang permukaan bidang longsor tertentu dan dapat dianggap sebagai masalah bidang 2 dimensi.
2. Massa tanah yang longsor dianggap berupa benda yang masif.
3. Tahanan geser dari massa tanah pada setiap titik sepanjang bidang longsor tidak tergantung dari orientasi permukaan longsoran, atau dengan kata lain kuat geser tanah dianggap isotropis.
4. Faktor aman didefinisikan dengan memperhatikan tegangan geser rata-rata sepanjang bidang longsor yang potensial dan kuat geser tanah rata-rata sepanjang permukaan longsoran. Jadi, kuat geser tanah mungkin terlampaui di

titik-titik tertentu pada bidang longsornya, padahal faktor aman hasil hitungan lebih besar 1.

Hardiyatmo (2010) menyebutkan bahwa faktor aman stabilitas lereng atau faktor aman terhadap kuat geser tanah diambil lebih besar atau sama dengan 1,2-1,5.

3.6.2 Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga merupakan konsep perhitungan pada program komputer untuk menganalisa kestabilan suatu lereng. Salah satu program yang dapat digunakan untuk analisa angka keamanan lereng adalah *software* plaxis. Plaxis merupakan program dengan konsep elemen hingga yang mana pada program ini dapat menganalisis secara simultan tegangan dan regangan yang terjadi pada tanah. Analisis faktor keamanan pada plaxis dilandaskan pada konsep reduksi ϕ - c sehingga menghasilkan angka keamanan Msf.

Metode elemen hingga pertama kali dikenalkan oleh Clough dan Woodward tahun 1967, tapi penggunaannya terbatas pada struktur tanah yang kompleks. Untuk kasus khusus, metode elemen hingga dapat mengakomodasi pengaruh penimbunan dan penggalian secara bertahap, sehingga pengaruh sejarah tegangan dalam tanah terhadap deformasinya dapat ditelusuri (Hardiyatmo, 2010)

1. *Plaxis Versi 8.2*

Plaxis 8 merupakan program komputer berdasarkan metode elemen hingga dua-dimensi yang digunakan secara khusus untuk melakukan analisis deformasi dan stabilitas untuk berbagai aplikasi dalam bidang geoteknik. Kondisi sesungguhnya dapat dimodelkan dalam regangan bidang maupun secara aximetri.

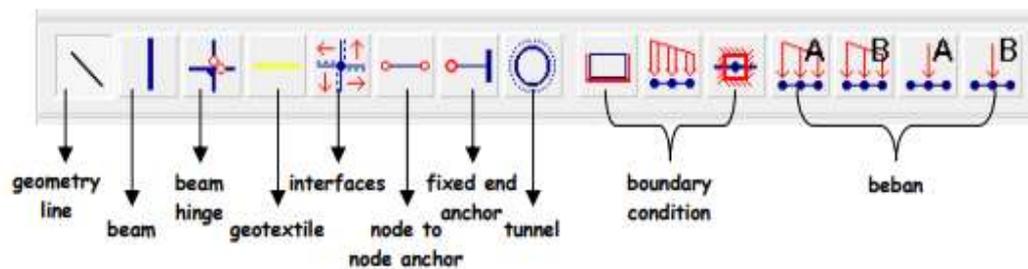
Langkah-langkah perhitungan pemodelan yang dilakukan akan menemukan beberapa tahapan diantaranya adalah sebagai berikut.

1. *Geometry Modelling*

Analisis dengan Metode Elemen Hingga dimulai dengan pembuatan model geometri. Pembuatan model geometri adalah sebagai berikut :

- a. pemodelan topografi, kontur, penampang, dan geometri,

- b. pemodelan stratigrafi tanah,
- c. pemodelan struktur (pondasi tiang, dinding penahan tanah, dsb),
- d. pemodelan fase konstruksi,
- e. pemodelan beban, dan
- f. pemodelan *boundary condition*.



Gambar 3.4 *Toolbar* untuk Pembuatan Model Geometri

(Sumber: Yazid, 2008)

2. Material Properties

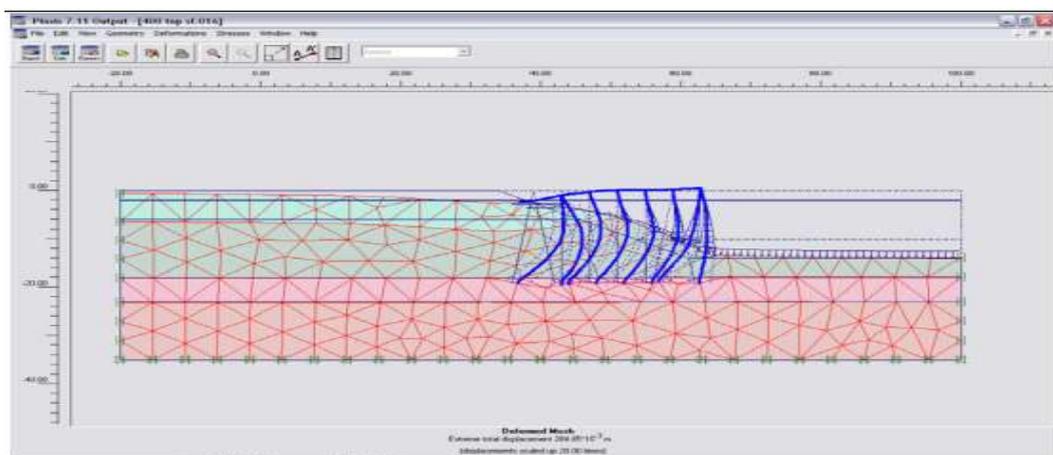
Pada bagian ini akan diperlihatkan input material propertis untuk tanah dan struktur. Inputnya dilakukan dengan menggunakan pilihan *material data sets* yang meliputi sebagai berikut.

- a. Soil and interfaces, pemodelannya pada Plaxis adalah sebagai berikut.
 - 1) Material model, material model digunakan untuk mensimulasikan model tanah berdasarkan karakteristik regangan-regangan. Tipe material model yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :
 - a) mohr-Coulomb, yaitu pemodelan tanah yang paling umum digunakan. Parameternya yaitu *Modulus Young* (E), *Poisson's ratio* (ν), *cohesion* (c), *friction angle* (f), dan *dilatancy angle* (ψ), dan
 - b) soft soil, merupakan model Cam Clay yang digunakan untuk memodelkan perilaku tanah lunak seperti normally consolidated clay dan gambut (peat).
 - 2) *Material type*, digunakan untuk mensimulasikan interaksi air tanah. Terdapat tiga tipe perilaku, yaitu :

- a) *drained behaviour*, model ini mensimulasikan kondisi dimana tidak terjadi *excess pore pressure*. Contohnya pada kasus tanah kering (*dry soil*) dan *full drainage* karena permeabilitas yang tinggi (pasir) atau kecepatan pembebanan yang rendah,
 - b) *undrained behaviour*, model ini untuk mensimulasikan kondisi dimana terjadi *excess pore pressure*. Contohnya pada kasus *no drainage* karena permeabilitas yang rendah (*clay*) atau kecepatan pembebanan yang tinggi, dan
 - c) *non porous behaviour*, model ini untuk mensimulasikan kondisi dimana *initial pore pressure* dan *excess pore pressure* tidak diperhitungnya. Biasanya digunakan untuk pemodelan struktur beton dan batu.
- 3) Properties dan parameter, digunakan untuk mendefinisikan berbagai property dan parameter dari tanah.
 - 4) *Interfaces*, digunakan untuk mensimulasikan interaksi antara tanah dan struktur.

3. Mesh Generation

Mesh dibentuk secara otomatis oleh Plaxis. Jumlah mesh/kehalusan dapat ditentukan melalui option global coarsenes. Semakin halus mesh, perhitungan akan semakin akurat tetapi akan membutuhkan memori yang lebih besar dan waktu yang lebih lama.



Gambar 3.5 Tampilan Mesh Generation

(Sumber: Yazid, 2008)

Parameter tanah yang dimasukkan di plaxis adalah sebagai berikut.

1. Modulus Young

Nilai modulus young adalah besarnya nilai elastisitas tanah yang merupakan perbandingan antara tegangan yang terjadi terhadap regangan.

2. Poisson Ratio

Nilai poisson ratio merupakan ratio kompresi poros terhadap regangan pemuaian lateral. Nilai poissin ratio dapat dilihat pada Tabel 3.6.

Tabel 3.5 Perkiraan Angka Poisson (μ) (Bowles, 1977)

Macam Tanah	ν
Lempung jenuh	0,4 – 0,5
Lempung tak jenuh	0,1 – 0,3
Lempung berpasir	0,2 – 0,3
Lanau	0,3 – 0,35
Pasir padat	0,2 – 0,4
Pasir kasar ($e = 0,4-0,7$)	0,15
Pasir halus ($e = 0,4-0,7$)	0,15
Batu (agak tergantung tipenya)	0,1 – 0,4
Loess	0,1 – 0,3

Sumber: Hadiyatmo (1996)

3. Kohesi dan Sudut Geser Dalam

Kohesi adalah daya rekat antara 1 partikel tanah dengan partikel yang lain, yang artinya semakin lengket tanah maka nilai kohesi akan semakin besar sedangkan sudut geser dalam merupakan parameter yang dapat digunakan untuk menentukan kestabilan tanah. Kohesi dan sudut geser dalam keduanya merupakan parameter kuat geser tanah yang menentukan ketahanan tanah terhadap deformasi akibat tegangan yang bekerja pada tanah.

3.7 Penurunan

Tanah akan mengalami penurunan (*settlement*) jika lapisan tanahnya diberi beban. Penurunan yang terjadi disebabkan oleh dua akibat, yaitu berubahnya susunan tanah dan berkurangnya rongga pori didalam tanah terserbut. Penjumlahan

dari regangan yang ada diseluruh kedalaman lapisan tanah, disebut penurunan total tanah (Hardiyatmo, 2010).

Menurut Leonard (1962) dalam Hardiyatmo (2010) menyebutkan bahwa bila tanah mengalami pembebanan dan kemudian berkonsolidasi, maka penurunan tersebut berlangsung dalam 3 fase, yaitu sebagai berikut ini.

1. Fase awal

Fase awal yaitu fase dimana penurunan terjadi dengan segera sesudah beban bekerja. Penurunan terjadi akibat proses penekanan udara keluar dari dalam pori tanah.

2. Fase konsolidasi primer atau konsolidasi hidrodinamis

Pada fase ini, penurunan dipengaruhi oleh kecepatan aliran air yang meninggalkan rongga pori tanah akibat adanya tambahan tekanan. Proses konsolidasi primer sangat dipengaruhi oleh sifat tanah, yaitu permeabilitas, kompresibilitas, angka pori, bentuk geometri tanah termasuk tebal lapisan mampat, pengembangan arah horizontal dari zona mampat, dan batas lapisan lolos air, dimana air keluar menuju lapisan yang lolos air ini.

3. Fase konsolidasi sekunder

Fase ini merupakan fase lanjutan dari konsolidasi primer, dimana prosesnya berjalan sangat lambat. Pada tanah-tanah anorganik penurunan konsolidasi sekunder jarang diperhitungkan, karena pengaruhnya sangat kecil. Kecuali, pada jenis tanah organik tinggi dan beberapa lempung anorganik yang sangat mudah mampat.

Hardiyatmo (2010) menyebutkan bahwa ada beberapa penyebab terjadinya penurunan fondasi akibat pembebanan yang berkerja diatas tanah, yaitu :

1. kegagalan atau keruntuhan geser akibat terlampauinya kapasitas dukung tanah,
2. kerusakan atau terjadi defleksi yang besar pada fondasi,
3. distorsi geser (*shear distortion*) dari tanah pendukungnya, dan
4. turunnya tanah akibat perubahan angka pori.

3.8 Beban Gempa

Gempa bumi dapat mengakibatkan gerakan dan keruntuhan lereng pada lereng. Stabilitas lereng memperhitungkan pengaruh gravitasi gempa dengan menggunakan konstanta numerik yang biasanya disebut koefisien gempa (kg) (Hardiyatmo, 2010). Koefisien ini diberikan dalam persen dari gravitasi, jadi gaya-gaya dinamis dianggap sebagai gaya statis.

Penelitian ini menggunakan gaya statis sebagai beban gempa yang didapatkan berdasarkan desain spektra dari puskim yang ditinjau berdasarkan lokasi penelitian. Koefisien gempa daerah Tembilahan, Riau berdasarkan desain spektra dari puskim dapat dilihat pada Tabel 3.6 sebagai berikut.

Variabel	Nilai
PGA (g)	0.081
S_5 (g)	0.163
S_1 (g)	0.153
C_{RS}	0.972
C_{R1}	1.040
F_{PGA}	1.000

Tabel 3.6 Koefisien Gempa Daerah Tembilahan, Riau
(Sumber: Desain Spektra (puskim.pu.go.id))