



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Ramli (2014), dalam penelitian berjudul “Penggunaan Terpal dan Grid Bambu sebagai Alternatif Perbaikan Tanah Terhadap Penurunan Pondasi Dangkal pada Tanah Gambut” mengatakan teknik perbaikan tanah yang umum dilakukan pada tanah gambut adalah perbaikan secara fisik, yaitu dengan menggunakan material geosintetik. Geosintetik yang sering digunakan adalah *geotextile*. Pada penelitian ini *geotextile* yang digunakan diganti dengan penggunaan terpal dan grid bambu yang diharapkan dapat menjadi alternatif material perkuatan untuk meningkatkan daya dukung tanah gambut yang digunakan sebagai tanah dasar dari pondasi dangkal.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui peningkatan daya dukung variasi jarak dari dasar pondasi ke perkuatan (0,25B; 0,5B; 1B). Metodologi penelitian yang digunakan adalah pengujian dalam skala laboratorium. Data yang didapat kemudian dianalisis dengan membandingkan nilai daya dukung tanah tanpa perkuatan dengan menggunakan perkuatan yang dinyatakan dengan *Bearing Capacity Ratio* (BCR).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi kedalaman terpal dan grid bambu terhadap dasar pondasi tidak selalu menunjukkan kenaikan daya dukung yang lebih besar, namun variasi pertambahan lebar perkuatan selalu menunjukkan kenaikan pada daya dukung tanah. Pada variasi jarak dari perkuatan ke pondasi, peningkatan yang paling maksimal ditunjukkan pada kedalaman 0,5B dengan lebar perkuatan sebesar 4B dengan *quiltimit* sebesar 20,44 kPa. Nilai BCR terbesar terdapat pada variasi jarak perkuatan dari dasar pondasi 0,5B dan lebar perkuatan 4B dengan nilai 3,78 dan persen peningkatan 277,8%.

Irmanzah (2014), dalam penelitian berjudul “Pengaruh Serat Karung Plastik dan Kapur Terhadap Perubahan Nilai Cbr pada Tanah Lempung Lunak” mengatakan sifat tanah lempung lunak yang memiliki daya dukung rendah menjadi suatu permasalahan yang dihadapi dalam proses konstruksi jalan. Kondisi

tanah yang stabil sangat dibutuhkan sebagai pendukung proses suatu konstruksi. Penambahan serat karung plastik dan kapur pada tanah lempung lunak ditujukan untuk perbaikan atau stabilisasi tanah tersebut. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisa perubahan nilai CBR tanah lempung lunak dengan penambahan bahan serat karung dan kapur. Dalam penelitian ini digunakan persentase serat karung plastik 0,2%, 0,4%, 0,8% dan kapur 0%, 5%, 10% dari berat kering tanah lempung lunak dengan jumlah 27 sampel. Serat karung plastik diurai dan dipotong-potong dengan ukuran 1-2 cm. Pengujian dalam penelitian ini meliputi pengujian sifat fisis tanah, pemadatan standar, dan pengujian CBR tanpa rendaman. Hasil pengujian CBR dari tanah campuran dengan variasi 0,4% serat karung dan 5% kapur adalah sebesar 12,76%. Nilai CBR tersebut mengalami peningkatan hingga 447,78% dari nilai CBR tanah asli. Dari hasil tersebut menunjukkan bahwa penambahan serat karung plastik dan kapur mampu memperbaiki nilai daya dukung tanah lunak.

Yulianti (2014), dalam penelitian berjudul “Studi Pemodelan Perkuatan Pondasi Dangkal pada Tanah Lempung Lunak Menggunakan Kombinasi Geotekstil *Woven* dan Grid Bambu dengan Bantuan Program Plaxis” mengatakan tanah lempung lunak atau sangat lunak merupakan tanah yang dikategorikan memiliki daya dukung yang sangat rendah dan memiliki nilai penurunan yang relatif besar, maka pondasi harus direncanakan secara khusus agar kestabilan bangunan terjaga. Salah satu solusinya adalah dengan penambahan geotekstil dan grid bambu pada pondasi dangkal yang berfungsi untuk memberikan perkuatan pada tanah. Pengujian penggunaan perkuatan geotekstil dan grid bambu pada pondasi dangkal ini sudah pernah diuji di laboratorium Mekanika Tanah Universitas Sriwijaya. Untuk lebih mempermudah dalam perhitungan serta memperkuat pendapat ini, maka dilakukan analisis dengan bantuan program PLAXIS 2D versi 8.2. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan antara besar daya dukung pondasi dangkal tanpa perkuatan dengan pondasi dangkal yang sudah diberi perkuatan dari setiap variasi lebar dan jarak. Penelitian ini menggunakan pemodelan numerik dengan bantuan program PLAXIS 2D versi 8.2. Pemodelan menggunakan variasi kedalaman dan variasi lebar perkuatan

untuk mendapatkan daya dukung ultimit dan persentase peningkatan dengan membandingkan daya dukung pondasi yang menggunakan perkuatan dan tanpa perkuatan. Hasil analisis menunjukkan bahwa kombinasi geotekstil dan grid bambu dapat meningkatkan daya dukung tanah lempung lunak. Pada uji pemodelan, nilai daya dukung terbesar terjadi pada pemodelan 0,25B;4B sebesar 405,657 kPa. Sedangkan daya dukung terkecil terjadi pada pemodelan 1B;2B sebesar 367,813 kPa. Penelitian ini juga membuktikan bahwa semakin lebar perkuatan, maka daya dukung yang dihasilkan semakin besar dan sebaliknya semakin jauh letak perkuatan dari pondasi, maka nilai daya dukung yang dihasilkan semakin kecil. Dari nilai daya dukung, maka kombinasi geotekstil dan grid bambu layak digunakan sebagai bahan perkuatan pondasi dangkal pada tanah lempung lunak.

Nugroho (2011), dalam penelitian berjudul “Studi Daya Dukung Pondasi Dangkal pada Tanah Gambut Dengan Kombinasi Geotekstil dan Grid Bambu” mengatakan pembangunan konstruksi di atas tanah gambut mempunyai banyak masalah, diantaranya adalah daya dukung tanah yang rendah dan penurunan yang besar. Penggunaan kombinasi grid bambu dan geotekstil diharapkan akan dapat mengatasi masalah tersebut. Penelitian ini bertujuan mengetahui hubungan antara kapasitas daya dukung dengan variasi kedalaman letak perkuatan, lebar perkuatan, spasi antara grid bambu dan geotekstil, dan sudut penyebaran beban. Perbedaan daya dukung antara tanah tanpa perkuatan dengan menggunakan perkuatan dinyatakan dalam *Bearing Capacity Ratio* (BCR). Dari studi model di laboratorium diperoleh hasil BCR maksimum sebesar 4,32 pada rasio L/B, d/B, dan s/B berturut-turut adalah 3, 0,25 dan 0,5. Sudut penyebaran beban maksimum sebesar $78,79^\circ$ pada L/B dan d/B (B adalah lebar pondasi) berturut-turut adalah 4 dan 0,25. Peningkatan BCR dan sudut penyaluran beban sebanding dengan penambahan dimensi perkuatan dan berbanding terbalik dengan jarak perkuatan dari dasar pondasi.

Surjandari (2007), dalam penelitian berjudul “Pengaruh Anyaman Bambu terhadap Daya Dukung dan Penurunan Pondasi Dangkal pada Tanah Kohesif” mengatakan masalah konstruksi pada tanah kohesif dengan kandungan air yang

tinggi adalah daya dukung rendah dan permukiman tinggi. Penggunaan anyaman bambu diharapkan dapat mengatasi masalah ini. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan anyaman bambu terhadap daya dukung dan penyelesaian pondasi dangkal dengan diameter (D) pada tanah kohesif. Penelitian dilakukan menggunakan model laboratorium. Tanah kohesif dituangkan ke dalam drum besi. Pondasi model ditempatkan pada lapisan pasir di atas tanah kohesif yang ditutupi oleh anyaman bambu dengan beberapa konfigurasi anyaman bambu. Aparatus CBR kemudian dilekatkan ke model untuk mengukur daya dukung dan penyelesaian. Hasilnya menunjukkan bahwa rasio kapasitas bantalan maksimum (BCR) adalah 8.637 dan penyelesaian terkecil adalah 1,33 mm pada pemasangan 4 lapis anyaman bambu dengan lapisan pertama pada kedalaman $0,5D$ dan jarak $0,5D$. Anyaman bambu ditempatkan di antara lapisan pasir, tanah kohesif, dan kedua lapisan pasir dan tanah kohesif menghasilkan peningkatan BCR sebesar 58-76%, 75-94%, dan 84-96%, masing-masing.

2.2 Landasan Teori

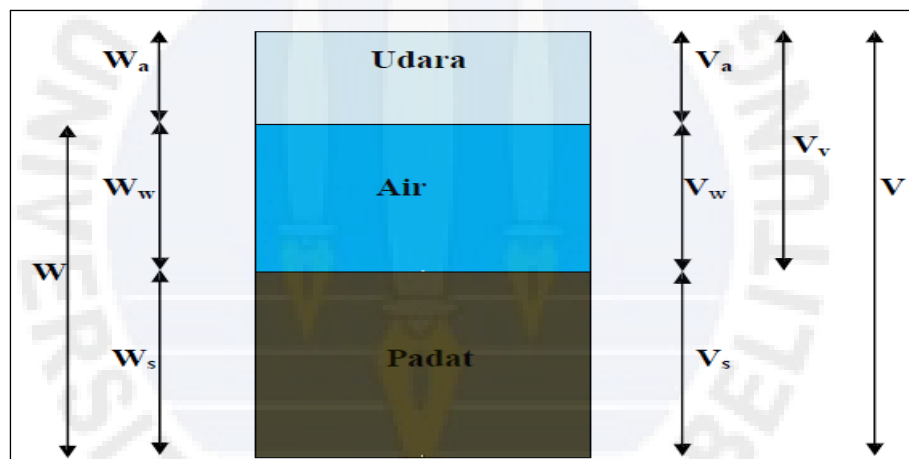
2.2.1 Tanah

Tanah adalah himpunan mineral, bahan organik, dan endapan-endapan yang relatif lepas (*loose*), yang terletak di atas batuan dasar (*bedrock*). Ikatan antara butiran yang relatif lemah dapat disebabkan oleh karbonat, zat organik, atau oksida-oksida yang mengendap diantara partikel-partikel. Ruang di antara partikel-partikel dapat berisi air, udara ataupun keduanya. Proses pelapukan batuan atau proses geologi lainnya yang terjadi di dekat permukaan bumi membentuk tanah. Pembentukan tanah dari batuan induknya, dapat berupa proses fisik maupun kimia. Proses pembentukan tanah secara fisik yang mengubah batuan menjadi partikel-partikel yang lebih kecil, terjadi akibat pengaruh erosi, angin, air, es, manusia, atau hancurnya partikel tanah akibat perubahan suhu atau cuaca. Partikel-partikel mungkin berbentuk bulat, bergerigi maupun bentuk-bentuk diantaranya. Umumnya, pelapukan akibat proses kimia dapat terjadi oleh pengaruh oksigen, karbondioksida, air (terutama yang mengandung asam atau alkali) dan proses-proses kimia yang lain. Jika hasil pelapukan masih berada

ditempat asalnya, maka tanah ini disebut tanah residual (*residual soil*) dan apabila tanah berpindah tempat, disebut tanah terangkut (*transported soil*) (Hardiyatmo,2012).

Tanah di alam terdiri dari campuran butiran-butiran mineral dengan atau tanpa kandungan bahan organik. Butiran-butiran dengan mudah dipisah-pisahkan satu sama lain dengan kocokan air. Tanah berasal dari pelapukan batuan, yang prosesnya dapat secara fisik maupun kimia. Sifat – sifat teknis tanah, kecuali dipengaruhi oleh sifat batuan induk yang merupakan material asalnya, juga dipengaruhi oleh unsur – unsur luar yang menjadi penyebab terjadinya pelapukan batuan tersebut (Hardiyatmo, 2012).

Tanah terdiri dari tiga fase, yaitu : butiran padat, air dan udara. Seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.1.



(Sumber: Hardiyatmo, 2012)

Gambar 2.1. Diagram Fase Tanah

Hubungan volume-berat:

$$V = V_s + V_v = V_s + V_w + V_a \dots \dots \dots (\text{Pers.2.1.})$$

dimana:

V_s = volume butiran padat

V_v = volume pori

V_w = volume air di dalam pori

V_a = volume udara di dalam pori

Apabila udara dianggap tidak mempunyai berat, maka berat total dari contoh tanah dapat dinyatakan dengan:

$$W = W_s + W_w \dots\dots\dots(\text{Pers.2.2.})$$

dimana:

W_s = berat butiran padat

W_w = berat air

Hubungan volume yang umum dipakai untuk suatu elemen tanah adalah angka pori (*void ratio*), porositas (*porosity*) dan derajat kejenuhan (*degree of saturation*).

1. Angka Pori

Angka pori atau *void ratio* (e) didefinisikan sebagai perbandingan antara volume pori dan volume butiran padat, atau:

$$e = \frac{V_v}{V_s} \dots\dots\dots(\text{Pers.2.3.})$$

2. Porositas

Porositas atau *porosity* (n) didefinisikan sebagai perbandingan antara volume pori dan volume total tanah, atau:

$$n = \frac{V_v}{V} \dots\dots\dots(\text{Pers.2.4.})$$

3. Derajat Kejenuhan

Derajat kejenuhan atau *degree of saturation* (S) didefinisikan sebagai perbandingan antara volume air dengan volume pori, atau:

$$S = \frac{V_w}{V_v} \dots\dots\dots(\text{Pers.2.5.})$$

Hubungan antara angka pori dan porositas dapat diturunkan dari persamaan, dengan hasil sebagai berikut:

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{n}{1-n} \text{ dan } n = \frac{e}{1+e} \dots\dots\dots(\text{Pers.2.6.})$$

4. Kadar Air

Kadar air atau *water content* (w) didefinisikan sebagai perbandingan antara berat air dan berat butiran padat dari volume tanah yang diselidiki, yaitu:

$$w = \frac{W_w}{W_s} \dots\dots\dots(\text{Pers.2.7.})$$

5. Berat Volume

Berat volume (γ) didefinisikan sebagai berat tanah per satuan volume. 6

$$\gamma = \frac{W}{V} \dots\dots\dots(\text{Pers.2.8.})$$

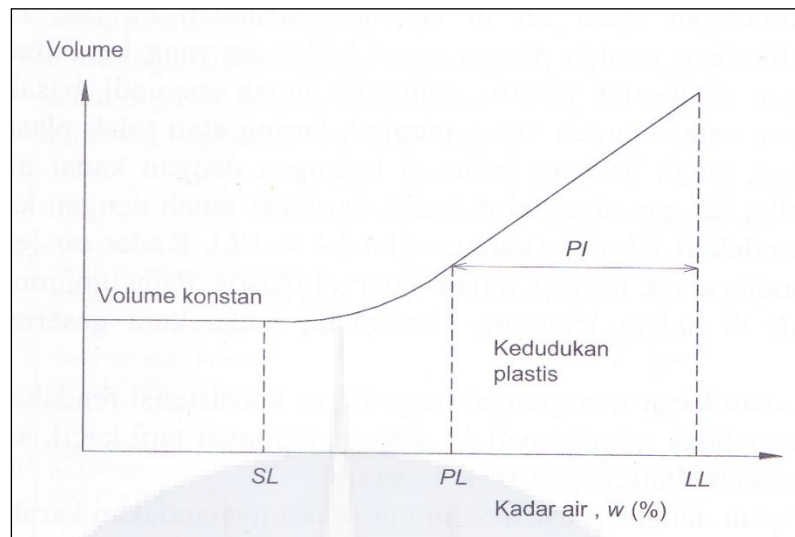
6. Berat Spesifik

Berat spesifik atau *specific gravity* (G_s) didefinisikan sebagai perbandingan antara berat satuan butir dengan berat satuan volume.

$$G_s = \frac{W_s}{\gamma_w \cdot V_s} \dots\dots\dots(\text{Pers.2.9.})$$

2.2.1.1 Batas – Batas Konsistensi Tanah

Atterberg adalah seorang ilmuwan dari Swedia yang berhasil mengembangkan suatu metode untuk menjelaskan sifat konsistensi tanah berbutir halus pada kadar air yang bervariasi, sehingga batas konsistensi tanah tersebut disebut Batas–Batas Atterberg. Kegunaan batas Atterberg dalam perencanaan adalah memberikan gambaran secara garis besar akan sifat-sifat tanah yang bersangkutan. Bilamana kadar airnya sangat tinggi, campuran tanah dan air akan menjadi sangat lembek. Tanah yang batas cairnya tinggi biasanya mempunyai sifat teknik yang buruk yaitu kekuatannya rendah sedangkan kompresibilitasnya tinggi sehingga sulit dalam hal pemadatannya. Oleh karena itu, atas dasar air yang dikandung tanah, tanah dapat dipisahkan ke dalam empat keadaan dasar, yaitu: padat, semi padat, plastis dan cair, seperti yang ditunjukkan dalam gambar 2.2 di bawah ini.



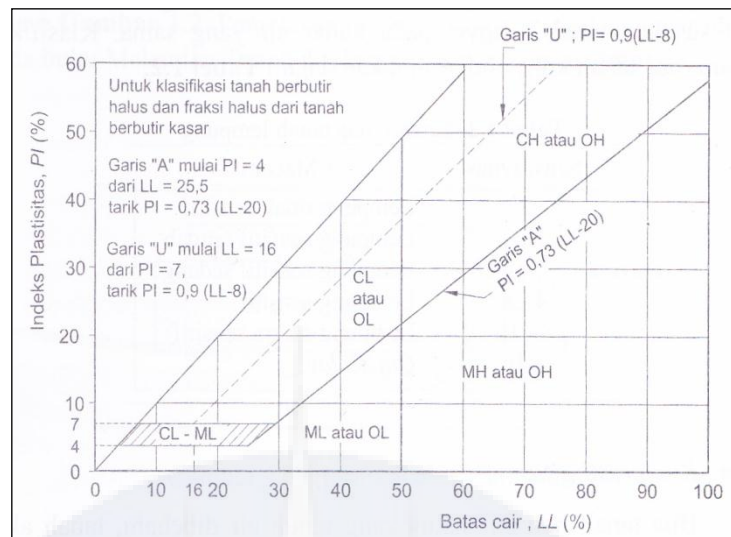
(Sumber: Hardiyatmo, 2014)

Gambar 2.2. Batas – Batas Atterberg

1. Batas cair (LL) adalah kadar air tanah antara keadaan cair dan keadaan plastis
2. Batas plastis (PL) adalah kadar air pada batas bawah daerah plastis
3. Indeks plastisitas (IP) adalah selisih antara batas cair dan batas plastis dimana tanah tersebut dalam keadaan plastis, atau:

$$PI = LL - PL \dots\dots\dots(Pers.2.10.)$$

Indeks Plastisitas (IP) menunjukkan tingkat keplastisan tanah. Apabila nilai IP tinggi, maka tanah banyak mengandung butiran lempung. Klasifikasi jenis tanah menurut Atterberg berdasarkan nilai Indeks Plastisitas dapat dilihat pada Gambar 2.3 di bawah ini.



(Sumber: Hardiyatmo, 2014)

Gambar 2.3. Diagram plastisitas Casagrande (ASTM D2487)

2.2.1.2 Modulus Elastisitas Tanah

Nilai modulus Young menunjukkan besarnya nilai elastisitas tanah yang merupakan perbandingan antara tegangan yang terjadi terhadap regangan. Nilai modulus elastisitas (E) secara empiris dapat ditentukan dari jenis tanah yang diperoleh dari data sondir seperti terlihat pada Tabel 2.1. berikut ini:

Tabel 2.1. Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah

Macam Tanah	E (kN/m ²)
Lempung	
Sangat lunak	300 - 3000
Lunak	2000 - 4000
Sedang	4500 - 9000
Keras	7000 - 20000
Berpasir	30000 - 42500
Pasir	
Berlanau	5000 - 20000
Tidak Padat	10000 - 25000
Padat	50000 - 100000
Pasir dan Krikil	

Padat	80000 – 200000
Tidak Padat	50000 – 140000
Lanau	2000 – 20000
<i>Loess</i>	15000 – 60000
Serpih	140000 – 1400000

(Sumber: Hardiyatmo, 2010)

2.2.1.3 Poisson's Ratio

Nilai *poisson's ratio* ditentukan sebagai rasio kompresi poros terhadap regangan pemuaian lateral. Nilai ini dapat ditentukan berdasarkan jenis tanah seperti terlihat pada Tabel 2.2. di bawah ini.

Tabel 2.2. Perkiraan Nilai *Poisson's Ratio*

Macam tanah	μ
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 (angka pori, $e = 0,4 - 0,7$)	0,15
Pasir halus (angka pori, $e = 0,4 - 0,7$)	0,25
Batu (agak tergantung dari macamnya)	0,1 – 0,4
<i>Loess</i>	0,1 – 0,3

(Sumber: Hardiyatmo, 2010)

2.2.1.4 Permeabilitas Tanah

Permeabilitas tanah didefinisikan sebagai sifat bahan berpori yang memungkinkan aliran rembesan dari cairan yang berupa air atau minyak mengalir lewat rongga pori. Berikut merupakan nilai koefisien permeabilitas beberapa jenis tanah yang dapat dilihat pada tabel 2.3 dibawah ini.

Tabel 2.3. Koefisien Permeabilitas Jenis Tanah

Jenis tanah	K (mm/det)
Butiran kasar	$10 - 10^3$
Kerikil halus, butiran kasar bercampur pasir butiran sedang	$10^{-2} - 10$
Pasir halus, lanau longgar	$10^{-4} - 10^{-2}$
Lanau padat, lanau berlempung	$10^{-5} - 10^{-4}$
Lempung berlanau, lempung	$10^{-8} - 10^{-5}$

(Sumber: Hardiyatmo, 2012)

2.2.1.5 Kuat Geser Tanah

Kuat geser tanah adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir-butir tanah terhadap desakan atau tarikan. Dengan dasar pengertian ini, bila tanah mengalami pembebanan akan ditahan oleh (Hardiyatmo, 2012) :

1. Kohesi tanah yang bergantung pada jenis tanah dan kepadatannya, tetapi tidak tergantung dari tegangan normal yang bekerja pada bidang geser,
2. Gesekan antara butir-butir tanah yang besarnya berbanding lurus dengan tegangan normal pada bidang gesernya.

Ada beberapa cara untuk menentukan kuat geser tanah, antara lain :

1. Pengujian geser langsung (*Direct shear test*)
2. Pengujian tiaksial (*Triaksial test*)
3. Pengujian tekan bebas (*Unconfined compression test*)

Namun dalam penelitian ini yang digunakan untuk menentukan kuat geser tanah adalah pengujian geser langsung (*Direct shear test*). Pengujian kuat geser ini dilakukan untuk mendapatkan parameter kuat geser yaitu kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ).

2.2.1.6 Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah dimaksudkan untuk menentukan dan mengidentifikasi tanah dengan cara sistematis guna menentukan kesesuaian terhadap pemakaian tertentu dan juga berguna untuk menyampaikan informasi mengenai kondisi tanah dari suatu daerah ke daerah lain dalam bentuk suatu data dasar. Klasifikasi tanah juga berfungsi untuk studi yang lebih terperinci mengenai keadaan tanah tersebut serta kebutuhan akan pengujian untuk menentukan sifat teknis seperti karakteristik pemadatan, kekuatan tanah, berat isi, dan sebagainya.

Kebanyakan klasifikasi tanah menggunakan indek pengujian yang sangat sederhana untuk memperoleh karakteristik tanahnya. Umumnya klasifikasi didasarkan atas ukuran partikel yang diperoleh dari analisis saringan (percobaan sedimentasi) dan plastisitasnya (Hardiyatmo, 2012).

Adapun sistem klarifikasi tersebut sebagai berikut :

1. Klasifikasi USCS (*Unified Soil Classification System*)

Pada sistem USCS, tanah di klasifikasikan ke dalam tanah berbutir kasar (krikil dan pasir) jika kurang dari 50% lolos saringan nomor 200, dan sebagai tanah berbutir halus (lanau/lempung) jika lebih dari 50% lolos saringan nomor 200. Selanjutnya, tanah di klasifikasikan dalam sejumlah kelompok dan subkelompok yang dapat dilihat dalam tabel 2.5. simbol-simbol yang digunakan tersebut dapat dilihat dalam tabel 2.4.

Tabel 2.4. Simbol Klasifikasi USCS

Janis	Simbol
Kerikil	G
Pasir	S
Lempung	C
Lanau	M
Organik	O
Gambut	Pt

Gradasi baik	W
Gradasi buruk	P
Plastisitas tinggi	H
Plastisitas rendah	L

(Sumber: Hardiyatmo, 2012)

Tabel 2.5 Sistem Klasifikasi Tanah USCS

Divisi Utama	Simbol Kelompok	Nama Jenis	Nama Jenis	
Tanah berbutir kasar 50% butiran beraturan saringan no. 200 (0,075 mm)	Kerikil 50% atau lebih (sisa fraksi pasir beraturan no. 4 (4,75 mm))	GW	Kerikil gradasi baik dan campuran pasir-kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$, $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $P_i < 4$ Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $P_i > 7$
		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% massa kasar saringan no. 4 (4,75 mm)	Kerikil bersih (sedikit atau tak ada butiran halus)	SW	Pasir gradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$, $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $P_i < 4$ Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $P_i > 7$
		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	ML	Lanau tak organik dan pasir sangat halus, serbuk batuan atau pasir halus berlanau atau berlempung	Diagram plastisitas: Untuk menggambar kadar butiran halus yang menandung dalam tanah berbutir halus dan tanah berbutir kasar, Batas Atterberg yang termasuk dalam daerah yang dalam bentuk batasan klasifikasi menggunakan dua simbol.
		CL	Lempung tak organik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung kurus ('lean clays')	
	Lanau dan lempung batas cair > 50%	CL	Lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah	
		MH	Lanau tak organik atau pasir halus diatomae, lanau elastis	
		CH	Lempung tak organik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk ('fat clays')	
		OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi	
Tanah dengan kadar organik tinggi	P _i	Gambut ('peat') dan tanah lain dengan kandungan organik tinggi	Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat di ASTM Designation D-2488	

(Sumber: Hardiyatmo, 2012)

2. Klasifikasi AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Official)

Sistem klasifikasi AASHTO berguna untuk menentukan kualitas tanah dalam perancangan timbunan jalan, *subbase* dan *subgrade*. Sistem ini terutama ditujukan untuk maksud-maksud dalam lingkup tersebut.

Sistem klasifikasi AASHTO membagi tanah kedalam 8 kelompok A-1 sampai A-8 termasuk sub-sub kelompok tersebut (tabel 2.6) tanah-tanah dalam tiap kelompoknya dievaluasi terhadap indeks kelompoknya yang dihitung

dengan rumus-rumus empiris. Pengujian yang dilakukan adalah analisis saringan dan batas-batas atterberg.

Tabel 2.6 Sistem Klasifikasi Tanah AASHTO

Klasifikasi umum	Tanah berbutir (35% atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No.200)							
	A-1		A-3	A-2				
Klasifikasi kelompok	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	
Analisis ayakan (% lolos) No.10 No.40 No.200	Maks 50 Maks 30 Maks 15	Maks 50 Maks 25	Min 51 Maks 10	Maks 35	Maks 35	Maks 35	Maks 35	
Sifat fraksi yang lolos ayakan No.40 Batas Cair (LL) Indeks Plastisitas (PI)	Maks 6		NP	Maks 40 Maks 10	Min 41 Maks 10	Maks 40 Min 11	Min 41 Min 11	
Tipe material yang paling dominan	Batu pecah, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan pasir yang berlanau atau berlempung				
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Baik sekali sampai baik							
Klasifikasi umum	Tanah berbutir (Lebih dari 35% dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No.200)							
Klasifikasi kelompok	A-4		A-5		A-6		A-7	
Analisis ayakan (% lolos) No.10 No.40 No.200	Min 36		Min 36		Min 36		Min 36	
Sifat fraksi yang lolos ayakan No.40 Batas Cair (LL) Indeks Plastisitas (PI)	Maks 40 Maks 10		Min 41 Maks 10		Maks 40 Min 11		Min 41 Min 11	
Tipe material yang paling dominan	Tanah berlanau				Tanah Berlempung			
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Biasa sampai jelek							

(Sumber: Hardiyatmo, 2012)

2.2.1.7 Tanah Lempung

Adapun definisi tanah lempung menurut beberapa ahli adalah sebagai berikut:

1) Terzaghi (1987)

Menurut Terzaghi, pengertian tanah lempung adalah tanah dengan ukuran mikrokonis sampai dengan sub mikrokonis yang berasal dari pelapukan unsur-

unsur kimiawi penyusun batuan. Tanah lempung sangat keras dalam keadaan kering, dan tidak mudah terkelupas hanya dengan jari tangan. Permeabilitas lempung sangat rendah, bersifat plastis pada kadar air sedang. Sedangkan pada keadaan air yang lebih tinggi tanah lempung akan bersifat lengket atau kohesif dan sangat lunak.

2) Bowles (1991)

Mendefinisikan tanah lempung sebagai deposit yang mempunyai partikel berukuran lebih kecil atau sama dengan 0,002 mm dalam jumlah lebih dari 50 %.

3) Hardiyatmo (1992)

Mengatakan sifat-sifat yang dimiliki dari tanah lempung yaitu antara lain ukuran butiran halus lebih kecil dari 0,002 mm, permeabilitas rendah, kenaikan air kapiler tinggi, bersifat sangat kohesif, kadar kembang susut yang tinggi dan proses konsolidasi lambat.

Dalam klasifikasi tanah secara umum, partikel tanah lempung memiliki diameter 2 μm atau sekitar 0,002 mm menurut peraturan USDA, AASHTO, USCS. Namun demikian, di beberapa kasus partikel berukuran antara 0,002 mm sampai 0,005 mm masih digolongkan sebagai partikel lempung dalam standar ASTM-D-653. Partikel-partikel dari mineral lempung umumnya berukuran koloid, merupakan gugusan kristal berukuran mikro, yaitu $< 1 \mu\text{m}$. Tanah lempung merupakan hasil proses pelapukan mineral batuan induknya, yang salah satu penyebabnya adalah air yang mengandung asam atau alkali, oksigen, dan karbondioksida.

2.2.2 Pondasi Dangkal

Pondasi dangkal adalah struktur bangunan paling bawah yang berfungsi meneruskan beban bangunan ke lapisan tanah yang berada relatif dekat dengan permukaan tanah. Yang termasuk dalam kategori pondasi dangkal adalah pondasi setempat (*spread footings*) dan pondasi plat jenuh (*mat foundations*).

Pada awalnya, yang dikategorikan dalam pondasi dangkal adalah pondasi yang memiliki kedalaman (d) lebih kecil atau sama dengan dimensi lebar pondasi (B). Namun dalam perkembangannya, pondasi masih dianggap dangkal meskipun kedalaman pondasi mencapai tiga sampai empat kali lebar pondasi (Ramli, 2014).

Adapun jenis pondasi dangkal yaitu :

a. Pondasi Setempat

Pondasi setempat berfungsi untuk menahan beban dari satu kolom dan menyalurkannya melalui dasar pondasi menuju tanah pendukung.

b. Pondasi Kombinasi

Pondasi kombinasi merupakan gabungan dari dua buah atau lebih pondasi setempat, dimana jarak antar kolom lebih kecil dari pada lebar pondasi.

Pondasi kombinasi berfungsi untuk menahan gabungan beban dari dua buah kolom atau lebih.

c. Pondasi Jalur

Pondasi jalur, baik dengan dinding maupun dengan *slope* digunakan untuk mendistribusikan beban – beban kolom kepada tanah dasar secara merata.

d. Pondasi Rakit

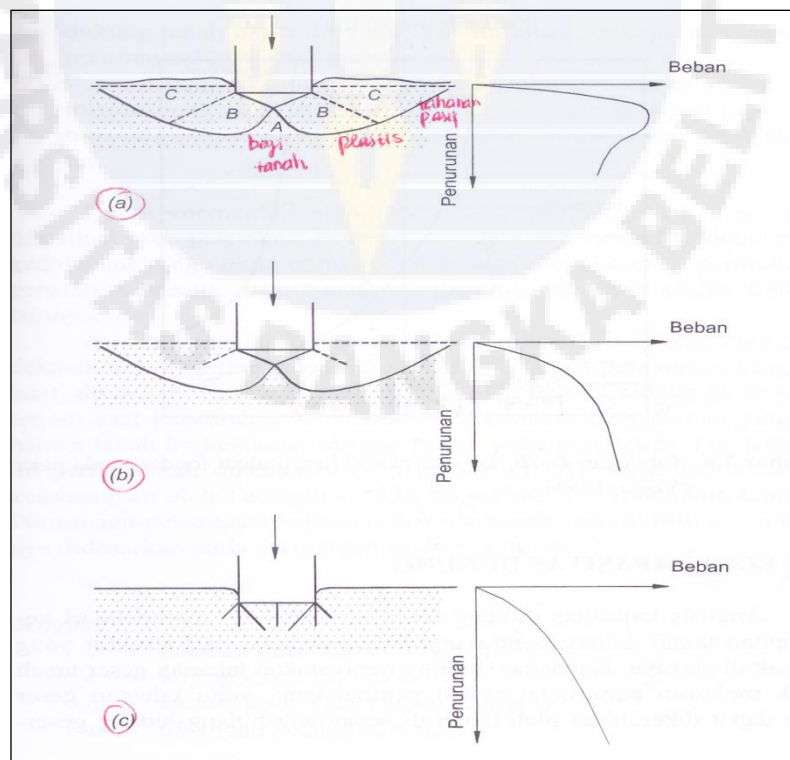
Pondasi rakit merupakan pondasi kombinasi yang meliputi seluruh luas area struktur dan menyalurkan secara keseluruhan beban – beban kolom maupun dinding. Pondasi jenis ini digunakan untuk tanah dengan daya dukung rendah dan merupakan pilihan yang cukup ekonomis bila jumlah luas masing – masing pondasi setempat melebihi luas bangunan.

Secara umum, pondasi dangkal seperti pondasi setempat, lajur, atau pelat penuh akan mengalami tiga jenis pola keruntuhan, tergantung dari jenis tanah dan kepadatannya. Ketiga pola keruntuhan pondasi tersebut sebagai berikut :

- a. Keruntuhan geser umum (*general shear failure*). Keruntuhan ini biasanya terjadi pada lapisan padat (*dense sands*) atau lapisan lempung kaku (*stiff*

clays). Bidang kelongsoran terjadi mulai dari dasar pondasi sampai ke permukaan tanah di sekitar pondasi dan keruntuhan terjadi secara tiba-tiba. (Gambar 2.4.a)

- b. Keruntuhan geser lokal (*local shear failure*). Pola keruntuhan ini dapat terjadi pada pondasi yang terletak di atas lapisan pasir yang kurang padat atau lapisan tanah lempung yang tidak terlalu kaku. Bidang kelongsoran yang terjadi tidak merambat sampai ke permukaan tanah, namun pondasi akan turun secara tiba-tiba bila beban pondasi melampaui kekuatan kritisnya (Gambar 2.4.b)
- c. Keruntuhan geser penetrasi (*penetration failure*). Pola keruntuhan setempat ini ditanda dengan terjadinya penurunan yang cukup besar tanpa adanya kerusakan tanah di sekitar pondasi (Gambar 2.4.c). Keruntuhan ini dapat terjadi pada tanah jenis pasir lepas dan tanah lempung yang sensitif, yaitu tanah lempung yang memiliki rasio kekuatan maksimum dalam kondisi tidak terganggu (*undisturbed*) dan kekuatan residu (*residual*) relatif tinggi.



(Sumber: Hardiyatmo, 2014)

Gambar 2.4. (a) Keruntuhan Geser Umum
(b) Keruntuhan Geser Lokal
(c) Keruntuhan Geser Penetrasi

2.2.3 Daya Dukung Tanah Lempung

Daya dukung tanah adalah kemampuan tanah untuk menahan tekanan atau beban bangunan pada tanah dengan aman tanpa menimbulkan keruntuhan geser dan penurunan berlebihan. Daya dukung tanah merupakan salah satu faktor penting dalam perencanaan pondasi serta struktur di atasnya. Daya dukung yang diharapkan untuk mendukung pondasi adalah daya dukung yang mampu memikul beban struktur, sehingga pondasi mengalami penurunan yang masih berada dalam batas toleransi. Daya dukung yang aman terhadap keruntuhan tidak berarti bahwa penurunan pondasi akan berada dalam batas-batas yang diizinkan. Oleh karena itu, analisis penurunan harus dilakukan karena umumnya bangunan peka terhadap penurunan yang berlebihan. Kapasitas nilai daya dukung dari suatu tanah didasarkan pada karakteristik tanah dasar dan dipertimbangkan terhadap kriteria penurunan dan stabilitas yang diisyaratkan, termasuk faktor aman terhadap keruntuhan (Ramli, 2014).

Secara umum analisis daya dukung tanah ditentukan dari daya dukung ultimit dibagi faktor aman yang sesuai dan dilakukan dengan cara pendekatan empiris untuk memudahkan perhitungan. Konsistensi lempung dan tanah kohesif lainnya dinyatakan dengan istilah lunak, sedang, kaku, dan keras. Ukuran kuantitatif konsistensi yang paling langsung adalah beban per satuan luas dimana contoh tanah bebas berbentuk silinder atau prismatic runtuh dalam uji pemampatan sederhana. Besaran ini dikenal sebagai kuat tekan bebas (*Unconfined compressive strenght*) tanah. Nilai kekuatan kompresif yang berkaitan dengan aneka derajat konsistensi menurut Terzaghi ditunjukkan pada Tabel 2.4.

Tabel 2.7. Konsistensi Kuat Tekan Bebas Tanah Lempung

Konsistensi	q_u (kN/m ²)
Lempung keras	>400
Lempung sangat kaku	200 – 400
Lempung kaku	100 – 200
Lempung sedang	50 – 100
Lempung lunak	25 – 50
Lempung sangat lunak	< 25

(Sumber: Hardiyatmo, 2014)

Sebagian besar teori daya dukung dikembangkan berdasarkan teori plastisitas dimana tanah dianggap berkelakuan sebagai bahan yang bersifat plastis. Paham ini dikenalkan oleh Prandtl (1921) yang mengembangkan persamaan dari analisis kondisi aliran. Teori ini kemudian dikembangkan oleh Terzaghi (1943), Meyerhof (1955), Hansen (1970), Vesic (1975) dan lainnya. Paham analisis perhitungan daya dukung tanah lempung yang dikembangkan para ahli tersebut mengasumsikan tanah lempung dalam keadaan *undrained*. Teori ini dikembangkan dari persamaan Mohr-Coulomb :

$$\tau = c + \sigma \tan \nu \dots\dots\dots(\text{Pers.2.11.})$$

dimana :

τ = tahanan geser tanah

c = kohesi tanah

ν = sudut geser dalam tanah

σ = tegangan normal tanah

2.2.4 Teori Perhitungan Daya Dukung Tanah

1. Analisis Terzaghi

Menurut Terzaghi, daya dukung ultimit didefinisikan sebagai beban maksimum per satuan luas dimana tanah masih dapat menopang beban tanpa mengalami keruntuhan. Pemikiran Terzaghi ini dinyatakan dalam persamaan:

$$qu = \left(\frac{Pu}{A} \right) \dots\dots\dots(\text{Pers.2.12.})$$

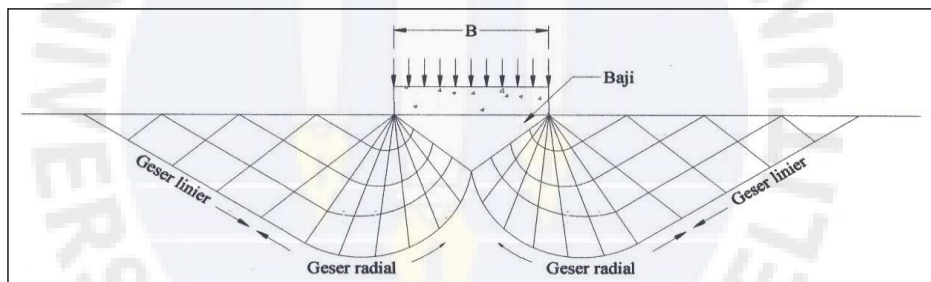
dimana:

q_u = daya dukung ultimit

P_u = beban ultimit

A = luas pondasi

Pada analisis daya dukung Terzaghi bentuk pondasi diasumsikan sebagai memanjang tak berhingga yang diletakkan pada tanah homogen dan dibebani dengan beban terbagi rata q_u . Beban total pondasi per satuan panjang P_u merupakan beban terbagi rata q_u yang dikalikan dengan lebar pondasi B . Karena adanya beban total tersebut, pada tanah yang terletak tepat di bawah pondasi akan membentuk suatu baji tanah yang menekan tanah ke bawah yang digambarkan sebagai berikut. Gerakan baji menyebabkan tanah di sekitarnya bergerak, yang menghasilkan zona geser di kiri dan kanan dengan tiap-tiap zona terdiri dari dua bagian yaitu bagian geser radial yang berdekatan dengan baji dan bagian geser linier yang merupakan kelanjutan dari bagian geser radial.



(Sumber : Hardiyatmo, 2014)

Gambar 2.5. Pembebanan Pondasi dan Bentuk Bidang Geser

Terzaghi mengembangkan teori keruntuhan plastis Prandtl dalam evaluasi daya dukung sehingga keruntuhan yang terjadi dalam analisisnya dianggap keruntuhan geser umum.

Daya dukung ultimit memperhitungkan kohesi tanah, beban terbagi rata dan berat volume tanah ($q_u = q_c + q_q + q_\gamma$) dengan q_c dan q_q adalah tekanan tanah pasir per satuan luas dengan komponen kohesi dan beban terbagi rata P_o . Berdasarkan persamaan tersebut, Terzaghi membuat persamaan umum daya dukung ultimit pondasi memanjang sebagai berikut.

$$q_u = c N_c + P_o N_q + 0,5 \gamma B N_\gamma \dots\dots\dots \text{(Pers.2.13.)}$$

Karena persamaan $P_o = D_f \gamma$, maka persamaan di atas menjadi:

$$q_u = c N_c + D_f \gamma N_q + 0,5 \gamma B N_\gamma \dots\dots\dots (\text{Pers.2.14.})$$

Dimana:

q_u = daya dukung ultimit untuk pondasi memanjang (kN/m^2)

c = kohesi tanah (kN/m^2)

D_f = kedalaman pondasi yang tertanam di dalam tanah (m)

γ = berat volume tanah (kN/m^3)

$P_o = \gamma \cdot f D$ = tekanan *overburden* pada dasar pondasi (kN/m^2)

N_c = faktor daya dukung tanah akibat kohesi tanah

N_q = faktor daya dukung tanah akibat beban terbagi rata

N_γ = faktor daya dukung tanah akibat berat tanah

Nilai faktor daya dukung ini merupakan fungsi dari sudut geser dalam tanah ϕ dari Terzaghi. Persamaan daya dukung pondasi di atas hanya dapat digunakan untuk perhitungan daya dukung ultimit pondasi memanjang. Oleh karena itu Terzaghi memberikan pengaruh faktor bentuk terhadap daya dukung ultimit yang didasarkan pada analisis pondasi memanjang sebagai berikut.

- Untuk pondasi bujur sangkar

$$q_u = 1,3 c N_c + P_o N_q + 0,4 \gamma B N_\gamma \dots\dots\dots (\text{Pers.2.15.})$$

- Untuk pondasi lingkaran

$$q_u = 1,3 c N_c + P_o N_q + 0,3 \gamma B N_\gamma \dots\dots\dots (\text{Pers.2.16.})$$

- Untuk pondasi persegi panjang

$$q_u = c N_c (1+0,3B/L) + P_o N_q + 0,5 \gamma B N_\gamma (1-0,2 B/L) \dots\dots\dots (\text{Pers.2.17.})$$

dimana:

q_u = daya dukung ultimit untuk pondasi memanjang (kN/m^2)

c = kohesi tanah (kN/m^2)

D_f = kedalaman pondasi yang tertanam di dalam tanah (m)

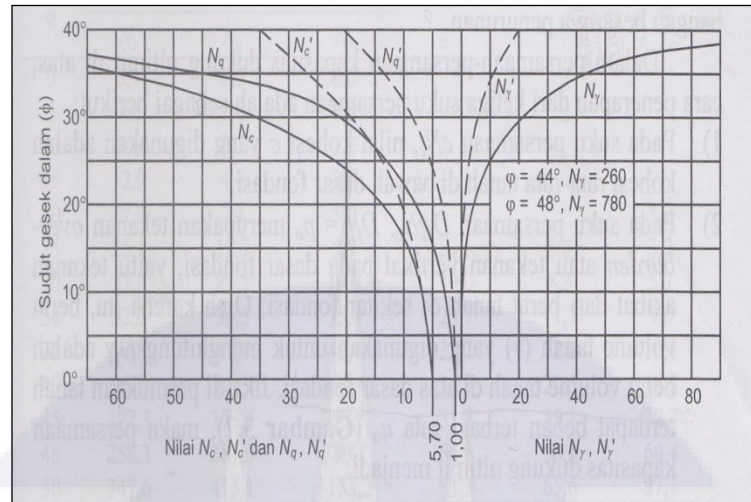
γ = berat volume tanah yang dipertimbangkan terhadap posisi muka air tanah (kN/m^3)

$P_o = \gamma \cdot f D$ = tekanan *overburden* pada dasar pondasi (kN/m^2)

B = lebar atau diameter pondasi (m)

L = panjang pondasi (m)

Persamaan daya dukung Terzaghi mengabaikan kuat geser tanah di atas pondasi dan hanya cocok untuk pondasi dangkal dengan $D_f \leq B$. Oleh karena itu, kesalahan perhitungan untuk pondasi yang dalam menjadi besar.



(Sumber : Hardiyatmo, 2014)

Gambar 2.6. Kapasitas Koefisien Daya Dukung

Tabel 2.8. Koefisien Daya Dukung dari Terzaghi

ϕ	Keruntuhan geser umum ✓			Keruntuhan geser lokal ✗		
	N_c	N_q	N_γ	N_c'	N_q'	N_γ'
0	5,7	1,0	0,0	5,7	1,0	0,0
5	7,3	1,6	0,5	6,7	1,4	0,2
10	9,6	2,7	1,2	8,0	1,9	0,5
15	12,9	4,4	2,5	9,7	2,7	0,9
20	17,7	7,4	5,0	11,8	3,9	1,7
25	25,1	12,7	9,7	14,8	5,6	3,2
30	37,2	22,5	19,7	19,0	8,3	5,7
34	52,6	36,5	35,0	23,7	11,7	9,0
35	57,8	41,4	42,4	25,2	12,6	10,1
40	95,7	81,3	100,4	34,9	20,5	18,8
45	172,3	173,3	297,5	51,2	35,1	37,7
48	258,3	287,9	780,1	66,8	50,5	60,4
50	347,6	415,1	1153,2	81,3	65,6	87,1

(Sumber : Hardiyatmo, 2014)

2. Analisis Skempton

Analisis Skempton (1951) terbatas pada persamaan daya dukung ultimit pondasi dan hanya pada lempung jenuh. Analisisnya menyatakan bahwa

perhitungan pondasi tersebut harus memperhatikan faktor-faktor bentuk dan kedalaman pondasi.

Pada sembarang kedalaman pondasi empat persegi panjang yang terletak pada tanah lempung, Skempton memberikan faktor pengaruh bentuk pondasi (sc) sebesar $(1 + 0,2 \frac{B}{L})$. Faktor kapasitas dukung N_c untuk bentuk pondasi tertentu diperoleh dari mengalikan faktor bentuk pondasi sc dengan N_c pada pondasi yang besarnya dipengaruhi oleh kedalaman (D_f).

Kondisi-kondisi yang merupakan analisis Skempton antara lain:

a. Pondasi di permukaan ($D_f = 0$)

$$N_c(\text{permukaan}) = 5,14 \text{ (untuk pondasi memanjang)}$$

$$N_c(\text{permukaan}) = 6,20 \text{ (untuk pondasi lingkaran dan bujur sangkar)}$$

b. Pondasi pada kedalaman $0 < D_f < 2,5B$

$$N_c = (1 + 0,2 \frac{D_f}{B}) \times N_c(\text{permukaan}) \dots\dots\dots(\text{Pers. 2.18.})$$

c. Pondasi pada kedalaman $D_f > 2,5B$

$$N_c = 1,5 N_c(\text{permukaan}) \dots\dots\dots(\text{Pers.2.19.})$$

Analisis Skempton mengusulkan persamaan kapasitas dukung ultimit dengan memperhatikan faktor kedalaman pondasi, sebagai berikut.

$$q_u = c_u N_c + D_f \gamma \dots\dots\dots(\text{Pers.2.20.})$$

$$q_{un} = c_u N_c \dots\dots\dots(\text{Pers.2.21.})$$

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

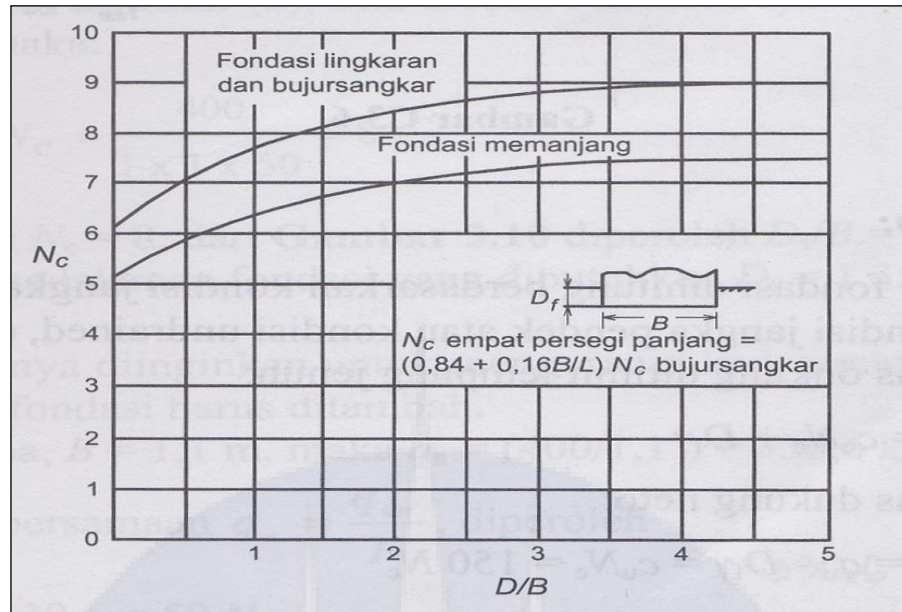
q_{un} = kapasitas dukung ultimit neto (kN/m^2)

D_f = kedalaman pondasi (m)

γ = berat volume tanah (kN/m^3)

C_u = kohesi tak terdrainase (kN/m^2)

N_c = faktor daya dukung Skempton

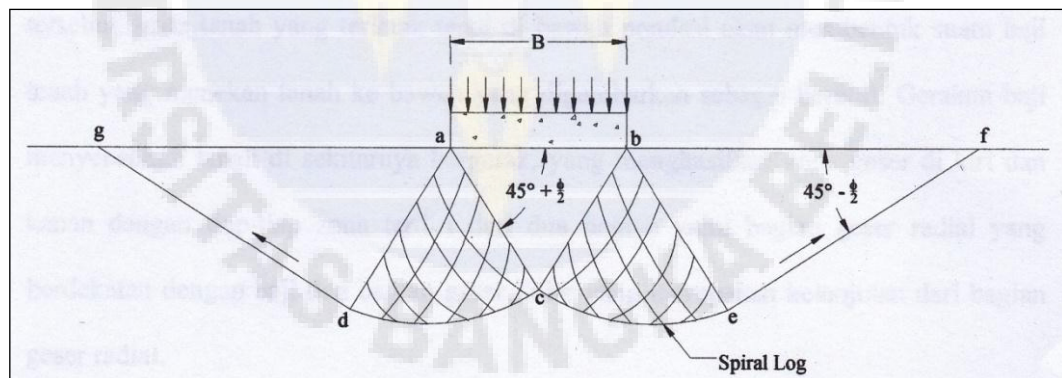


(Sumber : Hardiyatmo, 2014)

Gambar 2.7. Faktor Kapasitas Dukung

3. Analisis Prandtl

Prandtl mengembangkan persamaan dari analisis kondisi aliran yang diasumsikan seperti pada Gambar 2.8.



(Sumber: Medio Agustian Nusantara, 2014)

Gambar 2.8. Bidang Keruntuhan Daya Dukung Pondasi di Permukaan Tanah Menurut Prandtl.

Bagian melengkung dari busur ed atau ce dianggap sebagai bagian dari suatu spiral logaritmis. Suatu keseimbangan plastis terjadi di atas permukaan $gdcef$ sedangkan sisi tanah lainnya berada dalam keseimbangan elastis.

Berdasarkan teori plastisitas yang dikembangkannya, Prandtl menyelesaikan permasalahan daya dukung ultimit pada pondasi di atas lempung jenuh dalam kondisi tak terdrainase ($v_u = 0$) dengan kekuatan geser c u secara eksak sebagai berikut.

$$q_u = (\pi + 2)c \dots\dots\dots(Pers.2.22)$$

2.2.5 Perbaikan Tanah

Perbaikan dan perkuatan tanah merupakan usaha yang dilakukan dengan tujuan untuk meningkatkan kualitas karakteristik tanah, utamanya parameter kuat geser tanah yang akan mendukung sebuah struktur sehingga mampu menahan beban struktur yang akan dibangun dengan deformasi yangizinkan. Secara garis besar perbaikan dan perkuatan tanah dimaksudkan untuk :

1. Menaikkan daya dukung & kuat geser
2. Menaikkan modulus
3. Mengurangi kompresibilitas
4. Mengontrol stabilitas volume (*shrinking & swelling*)
5. Mengurangi kerentanan terhadap liquifaksi
6. Memperbaiki kualitas material untuk bahan konstruksi
7. Memperkecil pengaruh lingkungan

Beberapa metode perbaikan dengan cara perkuatan sebagai berikut :

1. Pemasangan *Vertical Drain*

Tanah lempung lunak jenuh adalah tanah dengan rongga kapiler yang sangat kecil sehingga proses konsolidasi saat tanah dibebani memerlukan waktu cukup lama, sehingga untuk mengeluarkan air dari tanah secara cepat adalah dengan membuat *vertical drain* pada radius tertentu sehingga air yang terkandung dalam tanah akan termobilisasi keluar melalui *vertical drain* yang telah terpasang. *Vertical drain* ini dapat berupa *stone column* atau menggunakan material *fabricated* lainnya. Pekerjaan *vertical drain* ini biasanya dikombinasikan dengan pekerjaan *pre-load* berupa timbunan tanah, dengan maksud memberikan beban

pada tanah sehingga air yang terkandung dalam tanah bisa termobilisasi dengan lebih cepat.

2. Menggunakan Cerucuk Bambu atau *Corduroy*

Prinsip kerjanya sebelum dilakukan penimbunan terlebih dahulu memasang bantalan baik yang terbuat dari bambu (cerucuk) atau dari kayu gelondongan (*corduroy*) sehingga saat tanah dihampar tidak bercampur dengan tanah asli dibawahnya dan tanah timbunan tersebut membentuk satu kesatuan yang mengapung diatas tanah aslinya semacam ponton yang mengapung diatas air. Biasanya digunakan kayu bakau, terutama pada tanah lunak. Metode ini sebagai perkuatan yang termurah. Sistem ini lebih sesuai untuk tanah yang selalu basah atau muka air selalu dipermukaan, misal pada proyek didaerah pantai. Jenis kayu bakau setempat yang kuat dan bulat diameter sekitar 5 sampai 10 cm dengan panjang 2 samapi 5 meter. Pemancangan tiang cerucuk secara manual biasanya.

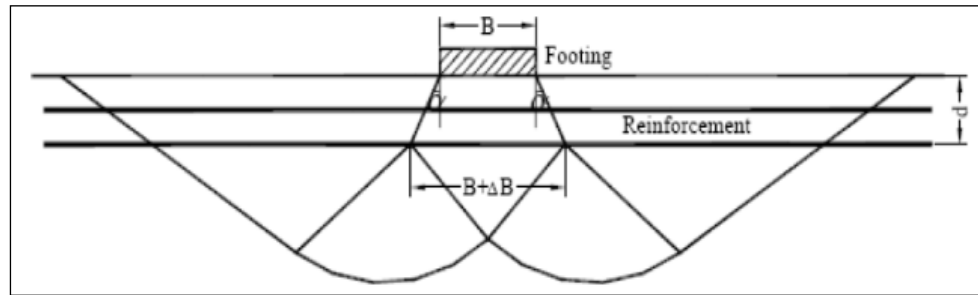
3. Menggunakan Tiang Pancang

Tiang pancang adalah beton prategang yang digunakan untuk pondasi dalam, tiang pancang sangat efektif digunakan pada tanah jenis tanah yang lunak.

4. Metode Perbaikan Tanah Dengan Geosintetik

Metode perbaikan dengan cara ini adalah metode perbaikan tanah dengan menggunakan material buatan berupa polymer sintesis jenis-jenisnya adalah sebagai berikut :

- Geotekstil
- Geomembrane
- Geogrid
- Geonet
- Geomat
- Geosynthetic Clay Liner Atau GCL
- Geopipe
- Geocomposit dan
- Geocell



(Sumber : Ramli, 2014)

Gambar 2.9. Mekanisme keruntuhan pada tanah yang diperkuat

2.2.6 Kuat lentur

Kuat lentur adalah kemampuan balok beton yang diletakkan pada dua perletakan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji, yang diberikan padanya, sampai benda uji patah yang dinyatakan dalam Mega Pascal (MPa). Menurut peraturan SNI-4431-2011 untuk menentukan nilai kuat lentur dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\sigma_i = (P.L)/(b.h^2) \dots\dots\dots(Pers.2.23.)$$

dimana : σ_i = kekuatan lentur benda uji (MPa)

P = beban tertinggi yang terbaca pada mesin uji

L = jarak (bentang) antara dua garis perletakan (mm)

b = lebar tampang lintang patah arah horizontal (mm)

h = lebar tampang lintang patah arah vertikal (mm)

Setelah menghitung dengan rumus diatas dan mengetahui nilai kuat lentur pada pengujian laboratorium. Dilakukan perhitungan lagi untuk menentukan nilai kuat lentur pada benda uji yang direncanakan yaitu dengan menggunakan rumus perbandingan berbalik nilai (www.ukurandansatuan.com, 2017). Rumus yang digunakan yaitu :

$$P1 \times L1 = P2 \times L2 \dots\dots\dots(Pers.2.24.)$$

Dimana :

L1 = Luas benda uji pada pengujian laboratorium

P1 = Nilai kuat lentur benda uji pada pengujian laboratorium

L2 = Luas benda uji pada permodelan

P2 = Nilai kuat lentur benda uji pada permodelan

2.2.7 Bambu

Bambu merupakan salah satu jenis kayu yang bisa didapatkan dengan mudah dan banyak tumbuh subur di Indonesia. Bila dibandingkan dengan bahan lainnya, bambu memiliki beberapa kelebihan diantaranya batangnya kuat, ulet, lurus, rata dan keras. Selain itu, bambu juga mudah dibelah, dibentuk dan dikerjakan, serta ringan sehingga mudah untuk diangkut. Anyaman bambu yang dalam hal ini yaitu grid bambu sangat mudah didapatkan dan harganya pun relatif murah. Sebagai perkuatan, grid bambu ini diletakkan pada tanah lempung dengan daya dukung rendah yang di atasnya diperkuat dengan lapisan sirtu. Diharapkan dari penempatan perkuatan grid bambu tersebut adalah bidang runtuh tanah akan terpotong oleh grid bambu, sehingga daya dukung tanah akan meningkat.

Perlu disadari, konstruksi bambu juga mempunyai beberapa kelemahan, misalnya tak tahan terhadap gempuran rayap atau serangga, serta daya dukung yang kecil. Kendati begitu, hal tersebut di atas dapat diatasi melalui proses pengawetan dan harus mengikuti persyaratan-persyaratan yang telah ditentukan sebelum digunakan sebagai bahan bangunan. Beberapa alasan yang membuat bambu digunakan secara luas, antara lain :

1. Bambu mudah didapatkan dan banyak dijual dengan harga yang terjangkau.
2. Mudah dikerjakan dengan alat-alat sederhana.
3. Memiliki keterampilan yang diperoleh secara tradisional.

1) Sifat-Sifat Fisis Bambu

a. Dimensi

Tinggi dan diameter bambu bervariasi. Beberapa jenis bambu tumbuh hingga mencapai tinggi 36 m, sedangkan beberapa jenis lainnya tingginya ada yang tidak lebih dari semak belukar. Diameternya pun bervariasi antara 1 cm sampai dengan 30cm.

b. Perobekan

Bambu memiliki kecenderungan yang mudah robek. Kecenderungan ini biasanya nyata pada daerah antar ruas, yang memiliki koefisien geser yang lebih rendah dibandingkan pada ruasnya. Sebaiknya pemotongan dilakukan sedikit diluar ruas untuk mengurangi perobekan. Kecenderungan perobekan ini menghalangi penggunaan paku, sekrup atau pasak, oleh karena itu pemasangannya perlu dilobangi terlebih dahulu.

c. Daya Tahan

Bambu sangat mudah rusak oleh kelembaban, serangga, jamur dan api. Daya tahannya bervariasi antara species yang satu dengan species yang lainnya, bagian tengah dan pucuk batang mempunyai daya tahan yang lebih rendah dibandingkan dengan bagian dasarnya. Bambu yang ditanam di dalam tanah, rusak setelah 6 bulan sampai 2 tahun. Dalam percobaan bambu yang diletakkan di atas tanah mencapai umur 22 sampai 44 bulan. Sedangkan bambu yang terlindung dan tidak bersentuhan langsung dengan tanah berumur 2 sampai 7 tahun.

d. Berat

Struktur bambu lebih ringan dibandingkan dengan struktur kayu. Berat jenis kayu berkisar antara 0,5 sampai 0,7 dengan rata-rata 0,6.

e. Kadar Air

Kadar air bambu beragam sesuai dengan umur tanaman dan musim. Kadar air akan turun dengan bertambahnya jarak dari pangkalnya. Kadar air pada musim hujan kira-kira 3 kali dari pada musim kemarau. Kadar air pada pangkal batang kira-kira 2 kali pucuknya pada musim kemarau dan 1,3 kali pada musim hujan.

2) Sifat Mekanis Bambu

Bambu terkenal dengan kekuatan tariknya yang besar tetapi kekuatan gesernya yang rendah, kekuatan tariknya tidak dapat digunakan sepenuhnya. Batang bambu memiliki struktur yang mengeras pada daerah ruas yang berfungsi untuk mencegah tekuk dan lentur pada uji lentur statis, benda uji pada titik pembebanan di ruasnya memiliki kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan benda uji dengan titik pembebanan antara ruas.

2.2.8 Terpal

Terpal plastik (juga dikenal sebagai lembar terpal atau politelin) adalah lembaran bahan yang kuat, fleksibel, kedap air, dan tahan rembes (Rick Bauer dan Graham Sounder, 2007). Ada banyak kualitas dari terpal plastik, namun terpal yang dipakai dalam percobaan ini adalah terpal yang banyak dijual di toko-toko.



(Sumber : Ramli, 2014)

Gambar 2.10. Bagian-Bagian Lapisan Terpal Plastik

Kebanyakan terpal plastik terbuat dari pelapisan kasa anyaman dari polietilen dengan kerapatan tinggi (*High Density Polyethylene/HDPE*) antara dua lapisan polietilen dengan kerapatan rendah (*Low Density Polyethylene/LPDE*).

Bahan kimia tambahan lain (seperti kalsium karbonat) ditambahkan baik pada inti anyaman dan pelapisan bagian luar untuk memberi warna, agar bahan tersebut lebih fleksibel, untuk meningkatkan kestabilan terhadap UV dan untuk mengubah keburaman. Terpal plastik umumnya digunakan dalam kotruksi untuk proyek-proyek hunian keluarga, sanitasi atau prasarana. 1 meter terpal plastik menempati volume sekitar 2,5 m³. Terpal plastik harus disimpan ditempat kering, tidak terkena sinar matahari, dan tidak ada binatang pengerat. Alasan penggunaan terpal plastik secara luas antara lain :

1. Terpal mudah didapatkan dan relatif murah.
2. Mudah dikerjakan dengan alat-alat sederhana.

1). Sifat-Sifat Fisis Terpal

a. Dimensi

Ukuran terpal plastik umumnya diproduksi dengan ukuran standar, misalnya lebar 2m dan kemudian disambungkan bersama sehingga membentuk lembar dengan lebar standar 4m. Terpal plastik yang dihasilkan kemudian dipotong menjadi gulungan dengan panjang standar (umumnya dengan panjang 50m atau 60m) atau menjadi lembar-lembar terpisah (umumnya 4mx6m atau 4mx5m). Sejumlah pabrik saat ini sudah menghasilkan lembar terpal plastik dengan lebar 4m tanpa sambungan.

b. Perobekan

Terpal memiliki kecenderungan yang mudah robek jika terkena benda tajam. kekuatan terpal plastik dapat melemah dan robek bila dibentangkan pada sebuah struktur yang akan menahan dan melepaskan panas, khususnya permukaan logam atau berwarna hitam

c. Daya Tahan

Terpal plastik mudah terbakar dan menghasilkan asap beracun ketika terbakar. kebakaran bisa menyebar dengan cepat dan dapat menghancurkan struktur dalam waktu kurang dari 60 detik.

d. Berat

Terpal memiliki berat 200 gram per m².

b). Sifat-Sifat Mekanis Terpal

Spesifikasi terpal plastik yang ada saat ini didasarkan pada standar-standar dari Organisasi Internasional untuk Standarisasi (*International Standards Organisation/ISO*), Institut Inggris untuk Standarisasi (*British Standards Institute/BSI*), Asosiasi Amerika untuk Pengujian dan Standar Material (*American Society for Testing and Materials Standards/ASTM*) atau Asosiasi Fabrik Internasional (*International Fabrics Association*). Lembaga-lembaga tersebut memberikan spesifikasi metode uji laboratorium yang rinci yang memungkinkan sampel terpal plastik untuk dibandingkan secara akurat dengan spesifikasi. Spesifikasi sifat-sifat mekanis dari terpal plastik tertera pada tabel 2.6 dibawah ini:

Tabel 2.9. Spesifikasi Kekuatan Terpal

Spesifikasi minimum: 200g/m² Gulungan dan lembaran	
Spesifikasi dasar:	
Berat	200g/m ² ± 5% (ISO 3801). Tambahan 10% untuk penguatan. <i>(Versi-versi yang lebih ringan yang memenuhi spesifikasi kinerja bahan di bawah dapat dipertimbangkan)</i>
Lembar anyaman	HDPE, warna HITAM (Warna hitam memberikan privasi dan mengurangi pemanasan di bawah terpal karena matahari)
Bahan lapisan	LDPE, warna PUTIH pada setidaknya satu sisi. <i>(Warna putih memantulkan panas secara lebih baik di iklim panas).</i>
Baik pita penguat (gulungan dan lembaran) atau kancing lubang pengencang (hanya untuk betul lembaran):	
Bagian tepi yang dilekatkan (Dengan lubang kancing)	Satu lubang kancing aluminium yang kuat setiap 1.00m ± 5% pada tepinya. Dilekatkan pada di semua sisi (atau 2 bagian dilekatkan dengan panas dan dua bagian yang dijahit dua kali), dengan nilon atau tali HDPE di tepi.
Pita penguat	6 pita abu-abu dengan lebar 7.5cm terbuat dari HDPE anyam hitam yang dilaminasi pada kedua bagian.

2.2.10 Program Plaxis

Untuk memodelkan dan menghitung penurunan pondasi dangkal dalam penelitian ini digunakan program *Plaxis* yang sudah dilengkapi dengan kemampuan untuk melakukan permodelan elemen hingga.

2.2.10.1 Sejarah Program Plaxis

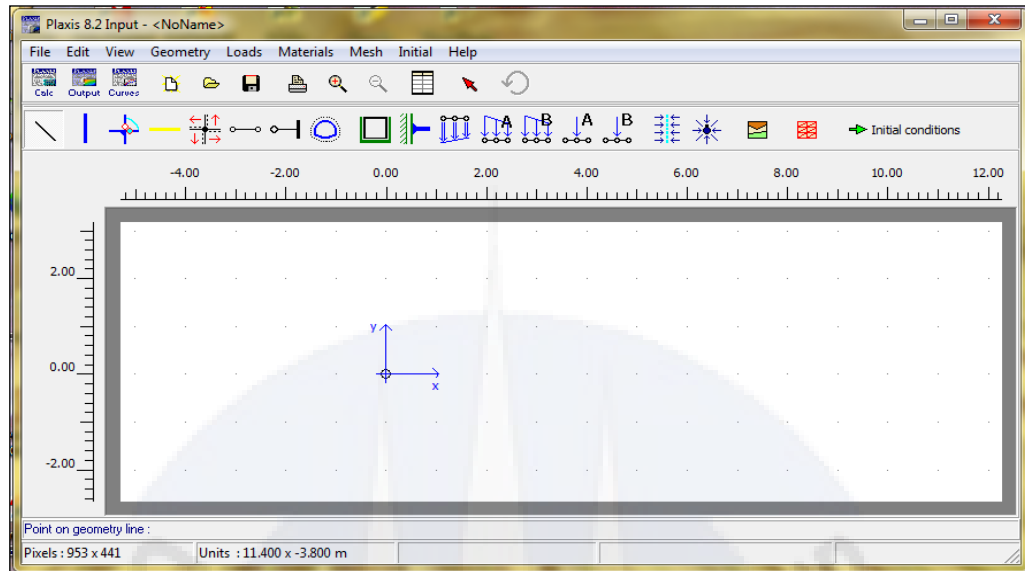
Program Plaxis pertama kali dikembangkan oleh Departemen Pekerjaan Umum dan Pengendalian Air di negara Belanda pada tahun 1987. Pada awal pembuatannya elemen hingga, yang merupakan dasar dari program ini, masih harus ditentukan atau dimodelkan secara manual. Tujuan utama pengembangan program Plaxis pada waktu itu adalah untuk dapat menggunakan metode elemen hingga agar lebih mudah dalam pengaplikasiannya untuk analisis tanggul sungai pada tanah lunak. Di sini dapat ditentukan tingkat 'kehalusan' elemen tersebut, di mana semakin halus elemen yang dipakai maka hasil perhitungan akan semakin akurat.

Penggunaan Program Plaxis dikhususkan sebagai alat bantu untuk memudahkan pekerjaan yang dikerjakan oleh Insinyur Geoteknik dalam mengerjakan perhitungan manual menggunakan metode elemen hingga yang cukup rumit serta membutuhkan waktu yang cukup lama dalam pengerjaannya. Program Plaxis mempunyai banyak kemampuan menganalisis seperti: kestabilan konstruksi, faktor keamanan, deformasi, analisis konstruksi. Yang digunakan dalam aplikasi konstruksi timbunan, dinding penahan tanah dan terowongan.

2.2.10.2 Menu- Menu Pada Program Plaxis

Plaxis adalah program analisis geoteknik, terutama untuk analisis stabilitas tanah dengan menggunakan metode elemen hingga yang mampu melakukan analisis yang dapat mendekati perilaku sebenarnya. Geometri tanah yang akan dianalisis memungkinkan untuk di *input* dengan cukup teliti. Karena *Plaxis* dilengkapi fitur-fitur khusus yang berhubungan dengan banyak aspek dari struktur geometri yang kompleks.

Tampilan utama dari program *Plaxis* dapat terlihat pada Gambar 2.10. Adapun menu yang terdapat pada program *Plaxis* adalah sebagai berikut:



(Sumber : Dokumen Penulis)

Gambar 2.11. Tampilan Utama Program *Plaxis*

1) *Geometri line*



Berfungsi untuk membuat elemen ataupun garis berdasarkan koordinat-koordinat yang kita inginkan.

2) *Plate*



Berfungsi sebagai *input* material berupa pelat dari bahan baja.

3) *Hinge and Rotation Spring*



Berfungsi sebagai pengaturan rotasi pada material yang diinginkan

4) *Geogrid*



Berfungsi sebagai *input* material perkuatan berupa *geogrid*

5) *Interface*



Berfungsi sebagai pengaturan muka tanah

6) *Node to Node Anchor*



Berfungsi untuk memasang anker pada model yang akan di buat

7) *Fixed-end Anchor* 

Berfungsi untuk memasang angker pada model yang akan di buat lalu dikondisikan dalam keadaan jepit.

8) *Tunnel* 

Berfungsi sebagai *input* bahan berupa terowongan.

9) *Standard Fixities* 

Berfungsi sebagai lembar kerja yang akan disimulasikan nantinya.

10) *Rotation Fixities* 

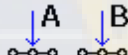
Berfungsi untuk mengatur lembar kerja atau elemen-elemen yang terdapat perletakkan jepit.

11) *Prescribed Displacements* 

Berfungsi sebagai *input* penurunan tanah akibat tekanan.

12) *Distributed Lode Sytem* 

Berfungsi sebagai distribusi tekanan yang bekerja pada model dengan arah vertical dan horizontal.

13) *Point Load System* 

Berfungsi sebagai *input* beban terpusat dengan arah vertical dan horizontal.

14) *Draine* 

Berfungsi untuk memberikan drainase pada model yang akan dibuat.

15) *Well* 

Berfungsi untuk *input* bahan berupa sumur pompa pada model yang akan dibuat.

16) *Material Sets* 

Berfungsi untuk *Input* material dengan berbagai variasi.