

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

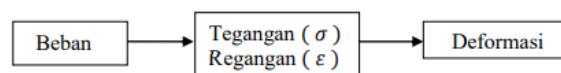
2.1 Deskripsi Tanah

Tanah adalah kumpulan partikel-partikel mineral yang terikat secara kimia satu sama lain yang terbentuk akibat adanya pelapukan dari batuan. Proses penghancuran dalam pembentukan tanah dari batuan terjadi secara fisis dan kimiawi. Secara fisis dapat diakibatkan oleh erosi, angin, cuaca, suhu atau perpecahan akibat pembekuan dan pencairan es dalam batuan. Sedangkan cara kimiawi adalah Ketika mineral batuan induk diubah menjadi mineral-mineral baru melalui reaksi kimia. Air dan karbon dioksida dari udara membentuk asam-asam karbon yang kemudian bereaksi dengan mineral-mineral batuan dan membentuk mineral-mineral baru ditambah garam-garam terlarut. Akibat dari pembentukan secara kimiawi, maka tanah mempunyai struktur dan sifat-sifat yang berbeda (Das, Braja M, 1985). Struktur material yang membentuk tanah antara lain adalah:

1. Butiran tanah (*soil*), berukuran makroskopis dan mikroskopis
2. Ruang pori (*void*), merupakan ruang terbuka antara butiran tanah
3. Air (*water*), yang mengisi pori-pori tanah dalam keadaan jenuh atau jenuh sebagian.

2.2 Dasar-Dasar Perkuatan Tanah

1. Konsep Tegangan - Regangan Salah satu fungsi yang terpenting dalam studi Mekanika Tanah adalah perkiraan mengenai besarnya, tegangan akibat suatu beban atau pembebanan yang akan menghasilkan deformasi yang berlebihan disebut “Tegangan Runtuh”, dapat dilihat pada Gambar 2.1 (Purwanto, 2012).



Gambar 2.1 Tegangan dan Regangan

2. Masa Tanah

Tanah merupakan material berbutir halus, keruntuhan yang terjadi terutama disebabkan oleh terguling dan tergelincirnya butiran-butiran dan bukan karena oleh tarikan atau tekanan antar butir-butir tanah. Oleh karena itu sifat keruntuhan:

- a. Tegangan yang perlu ditinjau adalah Tegangan Geser, sedangkan tanah atau kekuatan yang ditinjau adalah Kuat Geser.
- b. “Keruntuhan” adalah suatu perubahan keadaan dalam struktur tanah yang disertai dengan “deformasi” pada zona tegangan sampai deformasi itu berhenti.

2.3 Tanah Lunak

Tanah lunak adalah tanah yang memiliki kuat geser yang rendah dan kompresibilitas yang tinggi. Jika diperhatikan tanah lunak merupakan tanah yang paling sering menjadi penyebab terjadinya masalah ketidakstabilan serta penurunan yang tidak dapat ditolerir. Menurut Panduan Geoteknik 1 pada Proses Pembentukan dan Sifat-sifat Dasar Tanah Lunak (2002), tanah lunak terbagi menjadi dua yaitu tanah lempung lunak dan gambut.

2.3.1 Tanah Lempung Lunak

Tanah lempung lunak mengandung mineral lempung dan mengandung kadar air yang tinggi sehingga mengakibatkan kuat geser tanah menjadi rendah. Dalam rekayasa Geoteknik istilah “lunak” dan “sangat lunak” didefinisikan untuk lempung dengan kuat geser seperti yang ditunjukkan pada table 2.4 (Panduan Geoteknik 1: Proses Pembentukan dan Sifat-sifat Dasar Tanah Lunak, 2002) berikut ini:

Tabel 2.1 Definisi Kuat Geser Lempung Lunak

Konsistensi	Kuat Geser (kN/m ²)
Lunak	12,5 - 25
Sangat Lunak	< 12,5

Tabel diatas menunjukkan bahwa semakin lunak konsistensi tanah maka nilai kuat gesernya akan semakin kecil. Sebagai indikasi dari kekuatan lempung tersebut, konsistensi tanah dapat dilihat dari identifikasi lapangan. Pada tanah yang berkonsistensi “lunak” memiliki indikasi lapangan yang mudah dibentuk dengan menggunakan jari tangan, sedangkan untuk tanah yang berkonsistensi “sangat lunak” menunjukkan indikasi lapangan yang apabila tanah tersebut di remas dalam kepalan tangan maka akan keluar diantara jari tangan.

Definisi tanah lempung menurut para ahli:

1. Menurut Terzaghi (1987) tanah lempung merupakan tanah dengan ukuran mikrokonis sampai dengan sub mikrokonis yang berasal dari pelapukan unsur-unsur kimiawi penyusun batuan. Tanah lempung sangat keras dalam keadaan kering, bersifat plastis pada kadar air sedang, sedangkan pada keadaan air yang lebih tinggi tanah lempung akan bersifat lengket (kohesif) dan sangat lunak.
2. Menurut Braja M.Das (1995) tanah lempung merupakan tanah yang terdiri dari partikel-partikel tertentu yang menghasilkan sifat plastis apabila dalam kondisi basah.
3. Menurut Hardiyatmo (1992) 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. Dengan adanya pengetahuan mengenai mineral tanah tersebut, pemahaman mengenai perilaku tanah lempung dapat diamati.

2.3.1.1 Sifat Karakteristik Tanah Lempung

Lempung mengandung leburan silica dan atau aluminium yang halus. Unsur- unsur silikon, oksigen, dan aluminium adalah unsur yang paling banyak menyusun kerak bumi. Lempung terbentuk dari proses pelapukan batuan silica oleh asam karbonat dan sebagian dihasilkan dari aktivitasi panas bumi.

Lempung membentuk gumpalan keras saat kering dan lengket apabila basah terkena air. Sifat ini ditentukan oleh jenis mineral lempung yang mendominasinya. Mineral lempung digolongkan berdasarkan susunan lapisan

oksida silikon dan oksida aluminium yang membentuk kristalnya. Sifat-sifat yang dimiliki tanah lempung menurut Hardiyatmo (1992) adalah sebagai berikut:

1. Ukuran butir halus, yaitu kurang dari 0,002 mm.
2. Permeabilitas rendah.
3. Kenaikan air kapiler tinggi.
4. Bersifat sangat kohesif.
5. Kadar kembang susut yang tinggi.
6. Proses konsolidasi lambat.

2.3.1.2 Mineral Lempung

Mineral-mineral lempung merupakan produk pelapukan batuan yang terbentuk dari penguraian kimiawi mineral - mineral silikat lainnya dan selanjutnya terangkut ke lokasi pengendapan oleh berbagai kekuatan. Mineral - mineral lempung digolongkan ke dalam golongan besar yaitu:

1) Kaolinite

Kaolinite merupakan anggota kelompok kaolinite serpentin, yaitu hidrus alumino silikat dengan rumus kimia $Al_2 Si_2 O_5 (OH)_4$. Kekokohan sifat struktur dari partikel kaolinite menyebabkan sifat-sifat plastisitas dan daya pengembangan atau menyusut kaolinite menjadi rendah.

2) Illite

Illite dengan rumus kimia $K_y Al_2 (Fe_2 Mg_2 Mg_3) (Si_4 y Al_y) O_{10} (OH)_2$ adalah mineral bermika yang sering dikenal sebagai mika tanah dan merupakan mika yang berukuran lempung. Istilah illite dipakai untuk tanah berbutir halus, sedangkan tanah berbutir kasar disebut mika hidrus.

3) Montmorilonite

Mineral ini memiliki potensi plastisitas dan mengembang atau menyusut yang tinggi sehingga bersifat plastis pada keadaan basah dan keras pada keadaan kering. Rumus kimia montmorilonite adalah $Al_2 Mg (Si_4 O_{10}) (OH)_2 \cdot x H_2 O$.

2.3.2 Tanah Gambut

Tanah gambut adalah tanah yang pembentuk utamanya terdiri dari sisa-sisa tumbuhan. Kandungan organik yang tinggi tentunya memiliki kadar air yang

tinggi pula sehingga menyebabkan nilai kemampatan dan daya dukung suatu tanah menjadi rendah. Dalam rekayasa geoteknik, klasifikasi tanah dibedakan menjadi tiga tipe tanah berdasarkan kadar organiknya yang dapat dilihat pada Tabel 2.2 (Panduan Geoteknik 1: Proses Pembentukan dan Sifat-sifat Dasar Tanah Lunak, 2002) berikut:

Tabel 2.2 Tipe Tanah Berdasarkan Kadar Organik

Jenis Tanah	Kadar Organik (%)
Lempung	< 25
Lempung Organik	25 – 75
Gambut	>75

Jenis tanah lempung memiliki kadar organik kurang dari 25%. Lempung organik memiliki kadar organik sebesar 25% sampai dengan 75%. Lempung organik adalah suatu material campuran antara lempung dan gambut yang tergantung pada jenis dan kuantitas sisa-sisa tumbuhan. Tanah organik bisa berperilaku seperti lempung atau gambut. Sedangkan pada jenis tanah gambut memiliki kadar organik yang melebihi 75%.

2.4 Tekanan Tanah Lateral

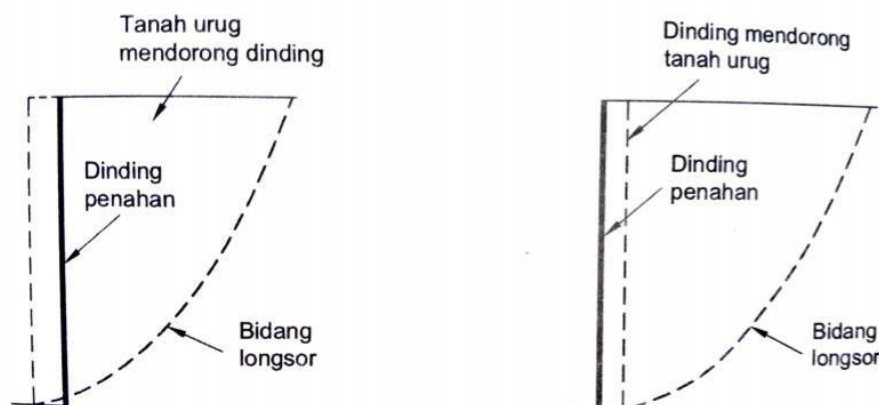
Tekanan tanah lateral adalah gaya yang ditimbulkan oleh akibat gaya dorongan tanah dibelakang struktur penahan tanah. Besarnya tekanan tanah lateral dipengaruhi oleh perubahan letak (displacement) dari dinding penahan dan sifat sifat tanahnya (Hardiyatmo, 2010). Analisis tekanan tanah lateral berguna untuk perancangan dinding penahan tanah dan struktur penahan yang lain.

Tekanan tanah lateral merupakan sebuah parameter perencanaan yang penting dalam sejumlah persoalan Teknik fondasi, dinding penahan tanah maupun konstruksi konstruksi lain yang berada didalam tanah, semuanya memerlukan perhitungan tekanan lateral secara kuantitatif pada pekerjaan konstruksi, baik untuk analisa perencanaan maupun untuk analisa stabilitas. Tekanan tanah timbul selama pergeseran tanah (soil displacement) (atau selama peregangan) tetapi sebelum tanah tersebut mengalami kerutuhan (on the verge of failure) seperti yang yang didefenisikan oleh selubung kerutuhan Mohr, maka tegangan-tegangan (stresses)

tersebut tidak mempunyai harga tertentu (interminate). Tegangan-tegangan tersebut juga belum tentu terdapat pada bagian yang runtuh (rupture) karena sangat sukar untuk menghasilkan keadaan kesetimbangan plastis secara serempak di mana-mana di dalam masa tanah, hal ini pada prakteknya sudah biasa dianalisis sebagai suatu kejadian keadaan yang ideal, baik untuk mempermudah persoalannya maupun dari segi pembatasan parameter tanah yang diperlukan dengan tingkat reliabilitas yang tinggi struktur (Joseph E. Bowles, 1991).

2.4.1 Tekanan Tanah Aktif dan Tekanan Tanah Pasif

Tekanan tanah aktif adalah tekanan lateral minimum yang mengakibatkan keruntuhan geser tanah oleh akibat gerakan dinding menjauhi tanah dibelakangnya. Sementara, tekanan tanah pasif adalah tekanan tanah lateral maksimum yang mengakibatkan keruntuhan geser tanah, keruntuhan geser tanah adalah akibat gerakan dinding menekan tanah urug. Tekanan tanah pasif lebih besar dari nilai koefisien tanah saat diam dan koefisien tanah aktif atau persisnya $K_p > K_o > K_a$. Tekanan tanah lateral saat runtuh dapat dilihat pada Gambar berikut.



Gambar 2.2 Tekanan Aktif dan Tekanan Pasif

(Sumber : (Hardiyatmo, 2010))

Nilai koefisien tanah aktif dan koefisien tanah pasif pada permukaan tanah urug horizontal ($z=0$) didefinisikan dalam Persamaan 2.1 dan 2.2 berikut.

$$\begin{aligned} K_a &= \frac{1+\sin \varphi}{1-\sin \varphi} \\ &= \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \end{aligned} \quad (2.1)$$

$$\begin{aligned} K_p &= \frac{1}{K_a} \\ &= \frac{1}{\tan^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right)} \\ &= \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \end{aligned} \quad (2.2)$$

2.4.2 Tekanan Tanah Lateral pada Tanah Kohesif

Tanah urug yang mempunyai nilai kohesi (c) pada sudut gesek dalam (φ) maka berdasarkan teori Rankine, nilai tekanan tanah aktif didefinisikan dalam Persamaan berikut.

$$P_a = y z \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) - 2 c \tan \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \quad (2.3)$$

Atau

$$P_a = y z K_a - 2 c \sqrt{K_a} \quad (2.4)$$

Dalam persamaan tersebut, terlihat bahwa terdapat kemungkinan P_a negatif, yang berarti ada gaya tarik yang bekerja pada tanah. Pada bagian tanah yang menderita gaya tarik tersebut, tanah menjadi retak-retak. Retakan bila terisi oleh air hujan selain mengurangi kohesi juga mengakibatkan tambahan tekanan tanah lateral akibat tekanan hidrostatik. Kedalaman kritis h_c yang menyatakan kedalaman tanah yang retak, terjadi saat $P_a = 0$ dapat dilihat pada Persamaan berikut.

$$h_c = \frac{2 c}{y \sqrt{K_a}} \quad (2.5)$$

Berdasarkan Persamaan 2.4 jika terjadi dipermukaan tanah ($z=0$) maka nilai P_a dapat dilihat pada Persamaan 2.6 berikut.

$$Pa = 2 c \tan \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) = - 2 c \sqrt{Ka} \quad (2.6)$$

Bila tanah pada kedudukan pasif (Pp) maka berdasarkan Rankine dapat dilihat pada Persamaan 2.7 berikut.

$$Pp = y z - 2 c \sqrt{Kp}. \quad (2.7)$$

Memperhatikan persamaan diatas maka jika dipermukaan tanah (z = 0) maka nilai Pp didefinisikan pada Persamaan 2.8 berikut.

$$Pp = 2 c \sqrt{Kp}. \quad (2.8)$$

Besarnya gaya gaya tekanan tanah aktif dan pasif dengan jenis tanah urug kohesif dapat dinyatakan pada Persamaan 2.9 dan Persamaan 2.10 berikut.

Tekanan tanah aktif

$$Pa = 0.5 H 2\gamma Ka - 2 c H \sqrt{Ka} \quad (2.9)$$

Tekanan tanah pasif

$$Pp = 0.5 H 2\gamma Ka + 2 c H \sqrt{Kp}. \quad (2.10)$$

Dimana,

Pa = tekanan tanah aktif total (kN)

Pp = tekanan tanah pasif total (kN)

γ = berat volume tanah urug (kN/m³)

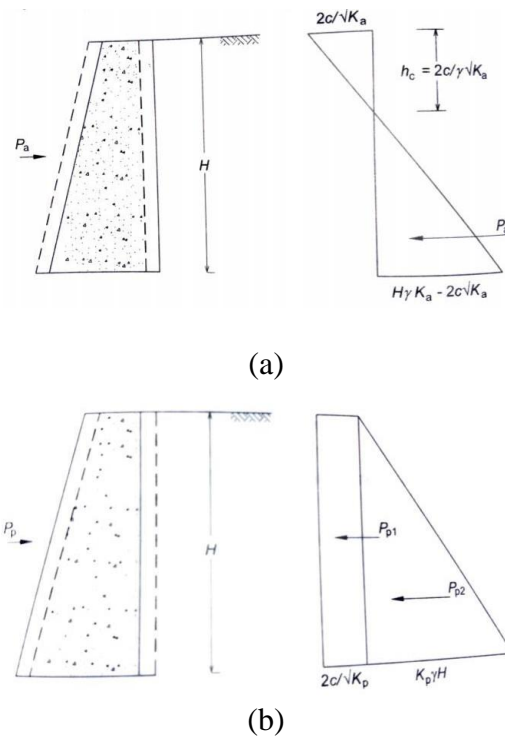
Ka = koefisien permeabilitas tanah aktif

Kp = koefisien permeabilitas tanah pasif

H = tinggi tanah urugan (m)

c = kohesi tanah urug (kN/m²)

Adapun diagram tekanan tanah aktif dan tekanan tanah pasif pada tanah kohesif dapat dilihat pada Gambar 2.3 berikut



Gambar 2.3 (a) Diagram Tekanan Aktif Tanah Kohesif

(b) Diagram tekanan Pasif Tanah Kohesif

Sumber : (Hardiyatmo, 2010)

Tekanan tanah lateral juga dapat diakibatkan beban merata pada tanah urug yang didefinisikan pada Persamaan 2.11 dan 2.12 berikut.

$$Pa = Q H Ka \quad (2.11)$$

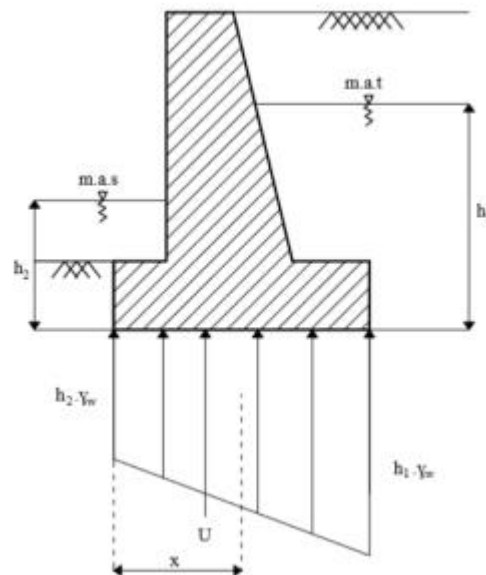
Permukaan air tanah dapat mempengaruhi nilai tekanan tanah lateral pada dinding penahan tanah. Nilai tekanan tanah lateral yang diakibatkan adanya permukaan air tanah dengan nilai $Ka = 1$ yang didefinisikan sesuai dengan Persamaan 2.12 berikut

$$Pa = 0.5 H_{air}^2 \gamma_{air} K_{air} \quad (2.12)$$

2.4.3 Tekanan Angkat (Uplift)

Pada konstruksi-konstruksi di daerah yang tergenang air (pilar jembatan, dinding penahan tanah dan lain-lain) atau muka air tanah yang tinggi, akan terjadi tekanan hidrostatis yang mengurangi besarnya angka faktor keamanan. Tekanan air

akan mempengaruhi gaya vertikal dan menyebabkan tahanan terhadap guling 18 semakin kecil, sehingga kemungkinan terjadinya guling semakin tinggi (Chairullah, 2013).



Gambar 2.4 Pengaruh tekanan uplift pada dinding penahan tanah (Chairullah, 2013)

$$U = 0,5 \times B \times h \times \gamma_w \quad .(2.13)$$

Momen akibat gaya angkat (uplift)

$$M_u = U \times x \quad (2.14)$$

dengan:

U = tekanan uplift (kN),

M_u = momen uplift (kNm),

h_1, h_2 = tinggi permukaan air (m),

B = lebar pondasi (m),

x = lengan beban (m),

γ_w = berat volume air (kN/m³).

2.5 Dinding Penahan Tanah

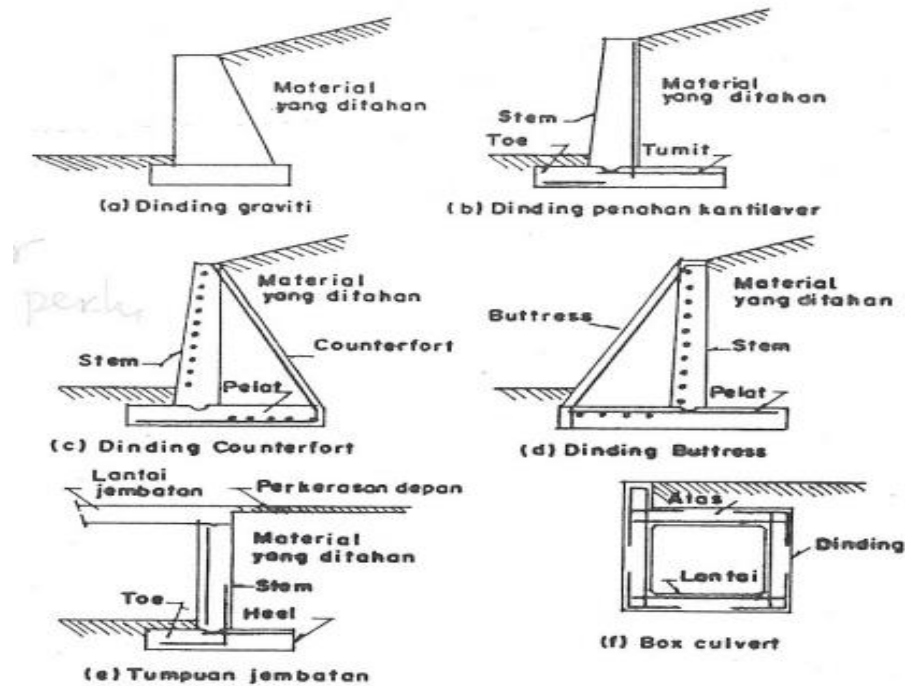
Dinding penahan tanah adalah suatu konstruksi yang berfungsi untuk menahan keruntuhan tanah yang miring yang memiliki tingkat kestabilan rendah. Menurut Hardiyatmo (2010), bangunan dinding penahan tanah digunakan untuk menahan tekanan tanah lateral yang ditimbulkan oleh tanah urug atau tanah asli yang labil. Kestabilan dinding penahan tanah diperoleh dari berat sendiri struktur dan berat tanah yang berada di atas pelat fondasi. Besar dan distribusi tekanan tanah pada dinding penahan tanah, sangat bergantung pada gerakan tanah ke arah lateral tanah relatif terhadap dinding. Dinding penahan tanah dapat digolongkan dalam beberapa jenis diantaranya yaitu dinding gravitasi, dinding penahan kantilever, dinding butterss, dinding jembatan, dan *box culvert*.

a. Dinding Gravitasi (*Gravity Wall*)

Dinding ini biasanya dibuat dari beton murni (tanpa tulangan) atau dari pasangan batu kali. Stabilitas konstruksi diperoleh hanya dengan mengandalkan berat sendiri konstruksi. Biasanya tinggi dinding tidak lebih dari 4 meter (gambar 2.5)

b. Dinding Penahan Kantilever (*Cantilever Retaining Wall*)

Dinding penahan type kantilever dibuat dari beton bertulang yang tersusun dari suatu dinding vertical dan tapak lantai. Masing-masing berperan sebagai balok atau pelat kantilever. Stabilitas konstruksi diperoleh dari berat sendiri dinding penahan dan berat tanah di atas tumit tapak (heel). Terdapat 3 bagian struktur yang berfungsi sebagai kantilever, yaitu bagian dinding vertikal (stem), tumit tapak dan ujung kaki tapak (toe). Biasanya ketinggian dinding ini tidak lebih dari 6-7 meter (Gambar 2.5)



Gambar 2.5 jenis jenis dinding penahan tanah

c. Dinding Kontrafort (*Counterfort Wall*)

Apabila tekanan tanah aktif pada dinding vertikal cukup besar, maka bagian dinding vertikal dan tumit perlu disatukan (kontrafort). Kontrafort berfungsi sebagai pengikat tarik dinding vertikal dan ditempatkan pada bagian timbunan dengan interval jarak tertentu. Dinding kontrafort akan lebih ekonomis digunakan bila ketinggian dinding lebih dari 7 meter.

d. Dinding Butters (*Buttrerss Wall*)

Dinding ini hampir sama dengan dinding kontrafort, hanya bedanya bagian kontrafort diletakkan di depan dinding. Dalam hal ini, struktur kontrafort berfungsi memikul tegangan tekan. Pada dinding ini, bagian tumit lebih pendek daripada bagian kaki. Stabilitas konstruksinya diperoleh dari berat sendiri dinding penahan dan berat tanah di atas tumit tapak. Dinding ini lebih ekonomis untuk ketinggian lebih dari 7 meter.

e. Abutment Jembatan (*Bridge Abutment*)

Struktur ini berfungsi seperti dinding penahan tanah yang memberikan tahanan horisontal dari tanah timbunan di belakangnya. Pada perencanaannya, struktur dianggap sebagai balok yang dijepit pada dasar dan ditumpu bebas pada bagian atasnya.

f. *Box Culvert*

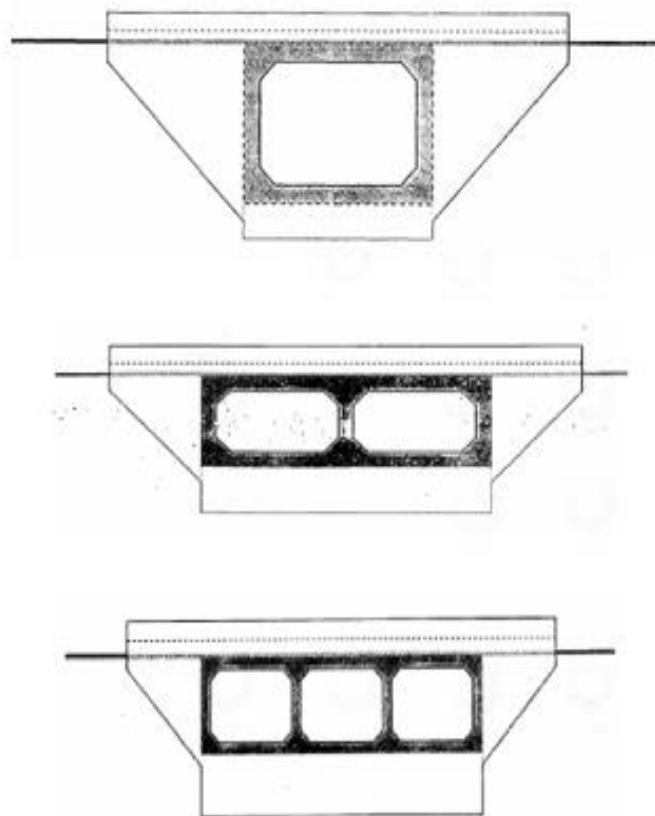
Box seperti ditunjukkan pada Gambar 2.5f dapat dibuat dengan satu atau dua lubang, dan berfungsi sebagai portal kaku tertutup yang dapat menahan tekanan tanah lateral dan beban vertikal.

Box culvert adalah salah satu jenis dinding penahan tanah yang berbentuk persegi empat. *Box Culvert* merupakan bangunan yang dipakai untuk membawa aliran air (saluran irigasi atau pembuangan) melewati bawah jalan atau kereta api

Biasanya *Box Culvert* di cor di pabrik (Precast) ataupun dicor ditempat, dimensi dari *Box Culvert* tergantung kepada debit air yang akan dialirkan melalui *Box Culvert*. *Box Culvert* yang dicor di pabrik dapat utuh dengan bentuk profil bulat atau persegi ataupun trapesium, ataupun modular yang terpisah atas dengan bawah. Konstruksi *Box Culvert* beton memiliki keunggulan dari segi korosi dan pembebanan, hal ini tentu juga tergantung dari proses pembuatannya tebal selimut beton sangat mempengaruhi terhadap proses korosi pada tulangan *box culvert* itu sendiri, tebal minimum yang disyaratkan oleh har adalah 75 mm (untuk beton yang dicor langsung diatas tanah dan selalu berhubungan langsung dengan tanah).

Menurut Dirjen Bina Marga tentang kriteria desain jembatan standar tahun 2017 sesuai bentang ekonomis dan kondisi lalu lintas air dibawahnya apabila *Box culvert* (single, double, triple) tidak direncanakan secara khusus maka ukuran yang digunakan untuk bentang adalah 6 s/d 10 meter, namun disesuaikan kembali dengan kondisi dilapangan. Standarisasi *Box Culvert* yang dilakukan bertujuan untuk memudahkan para perencana dan pelaksana gorong-gorong persegi sedemikian rupa, sehingga tercapainya kelancaran pembangunan gorong-gorong persegi. Konstruksi *Box Culvert* pada buku standar Bina Marga merupakan konstruksi *Box*

Culvert dengan beton bertulang. Pada umumnya struktur beton bertulang mengalami tegangan Tarik yang cukup besar akibat dari adanya gaya-gaya luar yang ada. Tegangan Tarik yang ditimbulkan oleh gaya-gaya luar tersebut dapat ditahan oleh tulangan tarik yang berada pada struktur beton bertulang. Konstruksi gorong-gorong persegi beton bertulang ini direncanakan dapat menampung berbagai variasi lebar perkerasan jalan, sehingga pada prinsipnya panjang gorong-gorong persegi adalah bebas, tetapi pada perhitungan volume dan berat besi tulangan diambil terbatas dengan lebar perkerasan jalan yang umum yaitu 3,5 m; 4,5 m; 6 m dan 7 m. Standar Box Culvert dari Dirjen Bina Marga terdiri dari 3 tipe yaitu tipe single; double dan tripel



Gambar 2.6 Standar Gorong-gorong Persegi Beton Bertulang (*Box Culvert*)

(sumber: Direktorat Bina Program Jalan Direktorat Jendral Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum)

2.5.1 Stabilitas Dinding Penahan Tanah Terhadap Pergeseran

Dinding penahan tanah dapat mengalami pergeseran dikarenakan beban tanah timbunan yang ada didalam strukturnya serta beban yang dapat mempengaruhi kekuatan dinding penahan tanah. Gaya yang dapat menahan dinding penahan tanah dari pergeseran adalah adanya gesekan tanah dengan dasar fondasi serta tekanan tanah pasif didepan dinding penahan tanah. Faktor aman terhadap penggeseran dapat diperhitungkan sebagai berikut.

$$Fgs = \frac{\sum Rh}{\sum Ph} \geq 1,5 \dots \dots \dots (2.15)$$

Untuk tanah dengan nilai $c > 0$ dan $\varphi > 0$

$$\sum Rh = ca \times B + W \tan \delta b \dots \dots \dots (2.16)$$

Keterangan :

$\sum Rh$ = Tahanan Dinding penahan Tanah terhadap penggeseran

W = Berat total dinding penahan tanah dan tanah diatas nya (kN)

δb = Sudut gesek antara tanah dan dasar fondasi

ca = kohesi antara tanah dan dasar dinding (kN/m²)

c = kohesi tanah dasar (kN/m²)

B = Lebar fondasi (m)

$\sum Ph$ = gaya horizontal (kN)

$\tan \delta b$ = koefisien geser tanah dasar dan fondasi

Adapun nilai koefisien geser dasar fondasi dan tanah dasar dapat dilihat pada Tabel 2.3 berikut.

Tabel 2.3 Koefisien gesek dasar fondasi dan tanah dasar

Jenis tanah dasar fondasi	$\tan\delta b$
Tanah granuler kasar tak mengandung lanau atau lempung	0,55
Tanah granuler kasar mengandung lanau	0,45
Tanah lanau tak berkohesi	0,35
Batu keras permukaan kasar	0,60

Sumber : (Hardiyatmo, 2010)

Berdasarkan (BSN, 2017) SNI 8460:2017 tentang faktor keamanan minimum dinding penahan tanah dikatakan aman terhadap gaya guling jika nilai $SF \geq 1,5$.

2.5.2 Stabilitas Dinding Penahan Tanah Terhadap Penggulingan

Stabilitas dinding penahan tanah perlu ditinjau terhadap penggulingan. Tekanan tanah lateral pada belakang dinding penahan tanah dapat menggulingkan dinding penahan tanah dengan pusat rotasi pada ujung kaki depan pelat fondasi. Momen ini disebut penggulingan dapat ditahan oleh momen akibat berat sendiri dan akibat berat tanah diatas dinding penahan tanah. Adapun faktor aman terhadap penggulingan dapat dihitung seperti pada Persamaan 2.17 berikut.

$$Fgl = \frac{\sum Mw}{\sum Mgl} > FS \quad (2.17)$$

Keterangan : $\sum Mw$ = Momen penahan penggulingan (kNm)

$$\sum Mgl = \text{Momen pengguling (kNm)}$$

Berdasarkan (BSN, 2017) SNI 8460:2017 tentang faktor keamanan minimum dinding penahan tanah dikatakan aman terhadap gaya guling jika nilai $SF \geq 2$.

2.5.3 Stabilitas Dinding Penahan Tanah Terhadap Kapasitas Dukung Tanah

Stabilitas dinding penahan tanah terhadap kapasitas dukung ditinjau agar mengetahui kedudukan dinding penahan tanah dapat stabil diatas tanah dasar.

Perhitungan nilai stabilitas terhadap kapasitas dukung tanah dihitung seperti Persamaan 2.18 berikut.

1. Persamaan Hansen (1970) dan Vesic (1975)

Kapasitas dukung ultimit (q_u) dihitung dengan menggunakan persamaan Hansen (1970) dan Vesic (1975) untuk beban miring dan eksentris:

$$q_u = d_c i_c c N_c + d_q i_q D_f \gamma N_q + d_\gamma i_\gamma 0,5 B \gamma N_\gamma \quad (2.18)$$

- d_c, d_q, d_γ = Faktor kedalaman;
 i_c, i_q, i_γ = Faktor kemiringan beban;
 B = Lebar dasar fondasi sebenarnya (m);
 e = Eksentrisitas beban (m);
 γ = Berat volume tanah (kN/m³);
 N_c, N_q, N_γ = Faktor-faktor kapasitas dukung.

Tabel 2.4 Faktor kedalaman fondasi (Hansen, 1970)

Faktor kedalaman	Nilai	Keterangan
d_c	$1 + 0,4 (B/D)$	
d_c'	$0,4(B/D)$	Bila $(B/D) > 1$ maka (D/B) Diganti dengan $\text{arc tg } (D/B)$
d_q	$1 + 2 (D/B) \text{tg } \varphi (1 - \sin \varphi)^2$	
d_γ	1	

Dalam tabel 2.5, bila dasar fondasi tidak sangat kasar, maka c (kohesi) diganti c_a (adhesi) = faktor adhesi (a_d) x kohesi (c).

Tabel 2.5 Faktor kemiringan beban (Hansen, 1970)

Faktor kemiringan beban	Nilai	Keterangan
i_c	$i - \frac{(1 - i_q)}{N_q - 1}$	
i_c'	$0,5 - 0,5\sqrt{1 - H/A'c_a}$	
i_q	$\left[1 - \frac{0,5 H}{V + A' c_a \operatorname{ctg} \varphi}\right]^5 \geq 0$	
i_γ	$\left[1 - \frac{0,7 H}{V + A' c_a \operatorname{ctg} \varphi}\right]^5 \geq 0$	
i_γ'	$\left[1 - \frac{(0,7 H - \frac{\alpha^2}{450})}{V + A' c_a \operatorname{ctg} \varphi}\right]^5 \geq 0$	Untuk dasar miring Batasan: $H \leq c_a A + V \operatorname{tg} \delta$

Sumber: Analisis dan Perencanaan Fondasi I, Hary C.Hardiyatmo, 2014

Dengan:

A' = Luas efektif fondasi = $B'L'$;

L' = $L - 2e_L$ = panjang efektif;

B' = $B - 2e_B$ = lebar efektif;

e_L = Eksentrisitas beban terhadap pusat luasan fondasi arah L;

e_B = Eksentrisitas beban terhadap pusat luasan fondasi arah B;

D_f = Kedalaman fondasi;

c_a = Faktor adhesi ($a_d \times c$) = adhesi antara tanah dan dasar fondasi;

c = kohesi tanah di dasar fondasi;

φ = Sudut gesek dalam tanah;

δ = Sudut gesek antara tanah dan dasar fondasi;

H = Komponen beban sejajar dasar fondasi;

V = Komponen beban tegak lurus dasar fondasi;

α = Sudut kemiringan dasar fondasi (positif searah jarum jam);

β = Sudut lereng pendukung fondasi (positif searah jarum jam).

Tabel 2.6 Faktor-faktor kapasitas dukung Hansen (1961)

ϕ (o)	Hansen (1961)		
	Nc	Nq	N γ
0	5,14	1,00	0,00
1	5,38	1,09	0,00
2	5,63	1,20	0,01
3	5,90	1,31	0,02
4	6,19	1,43	0,05
5	6,49	1,57	0,07
6	6,81	1,72	0,11
7	7,16	1,88	0,16
8	7,53	2,06	0,22
9	7,92	2,25	0,30
10	8,34	2,47	0,39
11	8,80	2,71	0,50
12	9,28	2,97	0,63
13	9,81	3,26	0,78
14	10,37	3,59	0,97
15	10,98	3,94	1,18
16	11,63	4,34	1,43
17	12,34	4,77	1,73
18	13,10	5,26	2,08
19	13,93	5,80	2,48
20	14,83	6,40	2,95
21	15,81	7,07	3,50
22	16,88	7,82	4,13
23	18,05	8,66	4,88
24	19,32	9,60	5,75
25	20,72	10,66	6,76
26	22,25	11,85	7,94
27	23,94	13,20	9,32
28	25,80	14,72	10,94
29	27,86	16,44	12,84
30	30,14	18,40	15,07
31	32,67	20,63	17,69
32	35,49	23,18	20,79
33	38,64	26,09	24,44
34	42,16	29,44	28,77
35	46,12	33,30	33,92
36	50,59	37,75	40,05
37	55,63	42,92	47,38
38	61,35	48,93	56,17
39	67,87	55,96	66,76
40	75,31	64,20	79,54
41	83,86	73,90	95,05
42	93,71	85,37	113,96
43	105,11	99,01	137,10
44	118,37	115,31	165,58
45	133,87	134,87	200,81
46	152,10	158,50	244,65
47	173,64	187,21	299,52
48	199,26	222,30	368,67
49	229,92	265,50	456,40
50	266,88	319,06	568,57

$$xe = \frac{\sum Mw - \sum Mgl}{\sum W} \quad (2.19)$$

$$e = B/2 - xe \quad (2.20)$$

$$B' = B - 2e \quad (2.21)$$

Dengan:

$\sum MW$ = Momen yang melawan penggulingan (kN.m);

$\sum MG$ = Momen yang mengakibatkan penggulingan (kN.m)

$\sum M$ = Total berat tanah di atas pelat fondasi + berat sendiri dinding penahan (kN);

e = Eksentrisitas beban (m);

B = Lebar dasar fondasi (m);

B' = Lebar efektif (m).

Jika tekanan fondasi ke tanah terbagi rata maka dapat dihitung

$$q' = \frac{V}{B'} \quad (2.22)$$

Dengan:

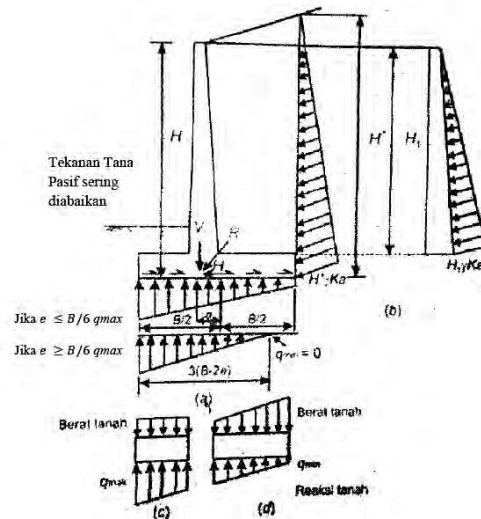
q' = Tekanan akibat beban struktur (kN/m²);

V = Beban vertikal total (kN);

B' = Lebar efektif (m)

Setelah didapat q' maka dapat dihitung faktor aman:

$$F = \frac{qu}{q'} \geq 3 \quad (2.23)$$



Gambar 2.7 Gaya-gaya pada dinding kantilever

Sumber : Hary Christady Hardiyatmo (2014)

2.6 Beban dan Reaksi Tanah

Beban yang berada pada samping Box Culvert dapat berpengaruh terhadap stabilitas tanah karena tanah mengalami reaksi berupa tekanan dan tegangan dalam tanah sehingga menyebabkan perubahan struktur tanah, untuk tegangan yang terjadi dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

2.6.1 Tegangan Dalam Tanah

Tegangan tekan atau σ yang bekerja pada massa tanah sebagian akan ditanggung oleh partikel tanah dan sebagian lagi oleh tekanan air pori (*pore water*). Gabungan keduanya disebut sebagai tegangan total. Sehingga tegangan di dalam tanah dapat dibagi dua yakni :

- Tegangan efektif yang dilambangkan dengan σ' , yang merupakan porsi tegangan yang ditanggung oleh partikel tanah.
- Tegangan air pori yang dilambangkan dengan u , yang merupakan porsi yang ditanggung oleh air pori.

Persamaan di atas dikenalkan oleh Terzaghi (1883-1963). Prinsip dari tegangan efektif tanah ini adalah prinsip paling penting di dalam mekanika tanah. Deformasi tanah adalah merupakan fungsi dari tegangan efektif bukan tegangan total. Prinsip dari tegangan efektif berimplikasi hanya pada tegangan normal sajudan bukan pada tegangan geser.

Tegangan efektif di dalam suatu massa tanah yang tidak disebabkan oleh beban luar dihitung dari berat unit tanah dan ke dalam muka air tanah. Jika ditinjau sebuah elemen tanah pada kedalaman z di bawah permukaan tanah dan permukaan air tanah berada pada permukaan tanah juga, maka tegangan total yang terjadi:

$$\sigma = \gamma_{sat} z \quad (2.24)$$

Dimana tekanan air pori

$$u = \gamma_w z \quad (2.25)$$

sehingga tekanan tegangan efektif yang terjadi adalah

$$\sigma' = \gamma \cdot z \quad (2.26)$$

2.7 Fondasi tiang pancang

Fondasi tiang pancang adalah sebuah tiang yang dipancang kedalam tanah sampai kedalaman yang cukup untuk menimbulkan tekanan gesek pada selimutnya atau tahanan ujungnya (Paulus P.Rahardjo, 2013).

Menurut Hardiyatmo (2002), fondasi tiang digunakan untuk beberapa maksud, antara lain :

1. Untuk meneruskan beban bangunan yang terletak di atas air atau tanah lunak, ke tanah pendukung yang kuat.
2. Untuk meneruskan beban ke tanah yang relatif lunak sampai kedalaman tertentu sehingga fondasi bangunan mampu memberikan dukungan yang cukup untuk mendukung beban tersebut oleh gesekan sisi tiang dengan tanah di sekitarnya.
3. Untuk mengangker bangunan yang dipengaruhi oleh gaya angkat ke atas akibat tekanan hidrostatis atau momen pengguling.

4. Untuk menahan gaya-gaya horizontal dan gaya yang arahnya miring.
5. Untuk memadatkan tanah pasir, sehingga kapasitas dukung tanah tersebut bertambah.
6. Untuk mendukung fondasi bangunan yang permukaan tanahnya mudah tergerus air.

Tiang pancang adalah bagian-bagian konstruksi yang terbuat dari kayu, beton dan baja, yang digunakan untuk menerima dan menyalurkan beban dari struktur atas ke tanah penunjang yang terletak pada kedalaman tertentu. Tiang pancang biasanya berbentuk persegi panjang, silinder ataupun segitiga dengan cara pemasangan yang berbeda-beda seperti dipukul, dibor atau ditumbuk menggunakan drop hammer ke dalam tanah.

Pemakaian tiang pancang sebagai fondasi bangunan apabila tanah dasar di bawah bangunan tersebut tidak mempunyai daya dukung (*bearing capacity*) yang cukup untuk memikul berat bangunan dan bebannya, atau apabila tanah keras yang mempunyai daya dukung yang cukup untuk memikul berat bangunan dan bebannya letaknya sangat dalam (Sardjono 1988).

Pada umumnya tiang pancang dipancang tegak lurus ke dalam tanah, tetapi apabila diperlukan untuk dapat menahan gaya horizontal maka tiang pancang akan dipancang miring (*batter pile*). Sudut kemiringan yang dapat dicapai oleh tiang pancang tergantung daripada alat pancang yang dipergunakan serta disesuaikan pula dengan perencanaannya (Sardjono 1988).

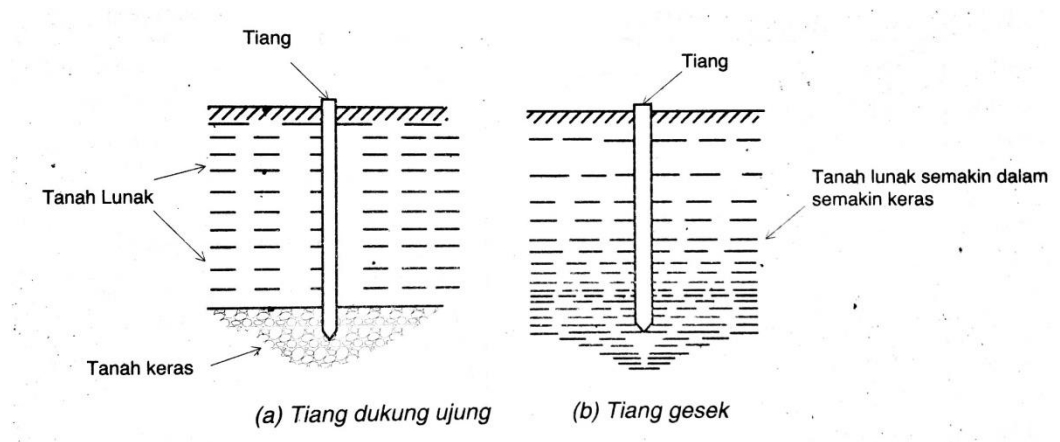
Menurut Hardiyatmo (2002), ditinjau dari cara mendukung beban, tiang dapat dibagi menjadi dua macam, yaitu :

1. Tiang dukung ujung (*End Bearing Pile*)

Tiang dukung ujung adalah tiang yang kapasitas dukungnya lebih ditentukan oleh tahanan ujung tiang. Umumnya, tiang dukung ujung berada dalam zona tanah yang lunak yang didasari tanah keras. Tiang-tiang dipancang sampai mencapai batuan dasar atau lapisan tanah keras, sehingga dapat mendukung beban yang diperkirakan dengan tidak mengakibatkan penurunan berlebihan. Kapasitas dukung tiang, sepenuhnya ditentukan dari tahanan dukung lapisan keras yang berada di bawah ujung tiang.

2. Tiang gesek (*Friction Pile*)

Tiang gesek adalah tiang yang kapasitas dukungnya lebih ditentukan oleh perlawanan gesek antara sisi tiang dan tanah di sekitarnya. Tahanan gesek dan pengaruh konsolidasi lapisan tanah di bawahnya diperhitungkan pada hitungan kapasitas dukung tiang.



Gambar 2.8 Tiang ditinjau dari cara mendukung beban (Tomlinson, 1977)

2.7.1 Daya Dukung Tiang Dari Uji Penetrasi Standar (SPT)

Penentuan daya dukung fondasi tiang dengan menggunakan data SPT dapat dilakukan dengan metode analitis pada penelitian ini menggunakan Metode Meyerhof (1976),

2.7.1.1 Metode Meyerhof (1976)

Meyerhof (1956) menganjurkan formula daya dukung untuk tiang pancang sebagai berikut :

$$Q_u = 40 N_b \cdot A_p + 0,2 N \cdot A_s \dots \dots \dots (2.27)$$

Dimana :

Q_u = daya dukung ultimit fondasi tiang pancang (ton)

N_b = harga N-SPT pada elevasi dasar tiang

A_p = luas penampang dasar tiang (m^2)

A_s = luas selimut tiang (m^2)

N = harga N-SPT rata-rata

Untuk tiang dengan desakan tanah yang kecil seperti tiang bor dan tiang baja H, maka daya dukung selimut hanya diambil separuh dari formula diatas menjadi :

$$Q_{ult} = 40 N_b \cdot A_p + 0,1 N \cdot A_s \dots\dots\dots(2.28)$$

Harga batas untuk N_b adalah 40 dan harga batas untuk $0,2 N$ adalah 10 ton/m².

Mayerhof (1976) memberikan persamaan untuk menghitung tahanan ujung tiang sebagai berikut:

$$q_p = 0,4 \cdot p_a \cdot N_{60} \cdot \frac{L}{D} \leq 4 \cdot p_a \cdot N_{60} \dots\dots\dots(2.29)$$

Dimana :

N_{60} = rata-rata NSPT pada kedalaman 10D diatas dan 4D dibawah ujung tiang

p_a = tekanan atmosfer (100 kN/m² atau 2000 lb/ft²)

Mayerhof (1976) menyatakan bahwa nilai N yang digunakan pada tanah pasir dalam persamaan 2.29 di atas merupakan nilai N yang telah dikoreksi terhadap tegangan vertikal efektif. Untuk unit tahanan ujung q_p (kPa) tiang pancang pada tanah pasir dan gravel yang dibawahnya ada lapisan yang lunak, Mayerhof (1976) merekomendasikan persamaan :

$$q_p = 400 \overline{N'o} + \frac{(40 \overline{N'B} - 40 \overline{N'o})}{b} D_B \dots\dots\dots(2.30)$$

$$q_p \leq 400 \overline{N'B} \dots\dots\dots(2.31)$$

Dimana :

$\overline{N'o}$ = Nilai rata-rata N_{SPT} yang telah dikoreksi terhadap tegangan vertikal efektif pada lapisan lunak dibawah lapisan pendukung.

$\overline{N'B}$ = Nilai rata-rata N_{SPT} yang telah dikoreksi terhadap tegangan vertikal efektif pada lapisan pendukung.

D_B = Panjang pembenaman tiang pada lapisan pendukung.

b = diameter tiang (m)

Nilai batas $400 \overline{N'B}$ tercapai ketika panjang pembenaman tiang pada lapisan pendukung mencapai 10 kali diameter tiang.

Panjang tiang yang duduk pada lapisan pasir pendukung homogen, unit tahanan ujung dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$q_p = \frac{(40 \overline{N'B} - DB)}{b} \leq 400 \overline{N'B} \dots\dots\dots(2.32)$$

2.8 Beban lateral

Beban lateral merupakan beban yang memiliki arah horizontal. Beban beban yang memiliki arah horizontal contohnya beban angin, beban gempa, beban tekanan arah lateral, beban hempasan ombak atau kapal pada isi struktur bangunan dan lain lain.

Beban lateral yang diterima oleh fondasi tiang akan bergantung pada struktur bangunan yang akan meneruskan gaya lateral yang diterima kolom bagian paling bawah dari uuper struktur dan diteruskan pada kelompok tiang fondasi

2.8.1 Metode Broms

Metode perhitungan ini menggunakan diagram tekanan tanah yang disederhanakan dengan menganggap bahwa sepanjang kedalaman tiang reaksi atau tahanan tanah mencapai nilai ultimate. Berikut ini adalah beberapa keuntungan menggunakan metode Broms:

- a. Dapat digunakan pada tiang Panjang ataupun pendek
- b. Dapat digunakan pada kondisi kepala tiang terjepit ataupun bebas

2.8.2 Menentukan tiang Panjang atau Tiang Pendek

Untuk tiang dalam tanah kohesif pengkaitan tipe tiang dan jepitan tiang berdasarkan factor tak berdimensi βL menurut Broms adalah sebagai berikut:

$$\beta = \left(\frac{kh \cdot d}{4 \cdot Ep \cdot Ip} \right)^{1/4} \quad (2.33)$$

$$Kh = k1 / 1,5 \quad (2.34)$$

Syarat penentuan tiang panjang atau pendek:

- Tiang ujung bebas berkelakuan seperti tiang pendek $\beta L < 1.5$
- Tiang ujung jepit berkelakuan seperti tiang pendek $\beta L < 0.5$
- Tiang ujung bebas dianggap seperti tiang panjang $\beta L > 2.5$
- Tiang ujung jepit dianggap seperti tiang panjang $\beta L > 1.5$

Metode Broms (1946) dapat digunakan untuk menghitung tahanan maksimum akibat gaya lateral baik rigid piles maupun long piles yang berada pada lapisan tanah homogen dan murni berupa tanah kohesif atau granular. Untuk tiap panjang dalam tanah granular:

$$Hu = \frac{My}{e + 3\frac{d}{2} + \frac{1}{2}f} \quad (2.35)$$

$$F = \frac{HU}{9.Cu.D} \quad (2.36)$$

Dimana:

Hu = Daya dukung lateral tiang (KN)

My = Momen maksimum yang dapat ditahan (KN.M)

d = Diameter tiang (m)

e = Jarak dari titik beban horizontal ke permukaan tanah (m)

f = Jarak kedalaman tiang dimana gaya geser sama dengan nol (m)

2.9 Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga atau *finited element method* (FEM) adalah suatu metode perhitungan yang berdasarkan konsep diskertiasi, yaitu menyederhanakan sebuah elemen kontiniu menjadi elemen-elemen yang lebih kecil. Metode Elemen Hingga dapat digunakan untuk mencari deformasi atau tegangan yang terjadi pada suatu elemen yang disebabkan oleh pengaruh beban dan gaya. Salah satu program yang dapat digunakan dalam melakukan analisis dengan metode Elemen Hingga salah satunya adalah *Plaxis*

2.9.1 Aplikasi *Plaxis Proffesional 8.6*

Program *Plaxis Proffesional 8.6* adalah program analisis geoteknik yang menganalisa stabilitas tanah dengan menggunakan metode elemen dua dimensi yang digunakan secara khusus untuk menganalisis deformasi dan stabilitas untuk berbagai aplikasi dalam bidang geoteknik, seperti daya dukung tanah. Kondisi sesungguhnya dapat dimodelkan dalam regangan bidang maupun secara *axisymetris*.

Program ini menerapkan metode antar muka grafis yang mudah digunakan sehingga pengguna dapat dengan cepat membuat model geometri dan jaring elemen berdasarkan penampang melintang dari kondisi yang ingin dianalisis. Program ini terdiri dari empat buah sub-program yaitu proses input, proses kalkulasi, dan proses output.

Hasil analisa yang didapatkan dari hasil perhitungan aplikasi plaxis ini adalah analisis tentang *displacement* atau deformasi tanah, dan perhitungan *safety factor* atau angka faktor keamanan lereng.

Pada program *Plaxis* juga terdapat beberapa jenis permodelan tanah (*soil model*). Adapun jenis permodelan tanah (*soil model*) tersebut, diantaranya : model *Linear Elastic*, model *Mohr-Coulomb*, model *Hardening Soil*, model *Hardening Soil with Small-Strain Stiffness*, model *Soft Soil Creep*, model *Soft Soil*, model *Jointed Rock*, dan model *Modified Cam-Clay*. Di bawah ini akan dijelaskan dari masing-masing jenis permodelan tanah tersebut.

1. Model *Linear Elastic* (LE)

Model *Elastis Linier* didasarkan pada hukum Hooke tentang elastisitas isotropik, yaitu modulus young dan poisson ratio. Meskipun model *Linear Elastic* tidak cocok untuk memodelkan tanah, model ini dapat digunakan untuk memodelkan volume kaku di tanah, seperti dinding beton, atau formasi batuan yang utuh.

2. Model *Mohr-Coulomb* (MC)

Model *Mohr-Coulomb* merupakan model elastis plastis yang terdiri dari lima buah parameter, diantaranya modulus elastisitas (E) dan angka poisson (ν) untuk memodelkan elastisitas tanah, sudut geser (ϕ) dan kohesi (c) untuk memodelkan plastisitas tanah dan ψ sebagai sudut dilatansi. Model *Mohr-Coulomb* merupakan suatu model pendekatan analisis untuk memodelkan perilaku elastisitas (elastis-plastis) tanah atau batuan. Model *Mohr-Coulomb* ini disarankan untuk digunakan dalam analisis awal dari masalah yang dihadapi.

3. Model *Hardening Soil* (HS)

Model *Hardening Soil* merupakan suatu model tingkat lanjut untuk memodelkan perilaku tanah. Model *Hardening Soil* dibedakan antara dua buah jenis, yaitu *Hardening* geser dan *Hardening* kompresi. *Hardening* geser digunakan untuk memodelkan regangan yang tidak dapat kembali seperti semula akibat tegangan deviator. *Hardening* kompresi digunakan untuk memodelkan regangan plastis yang tidak dapat kembali seperti semula akibat kompresi primer pada pembebanan satu arah dan pembebanan isotropis.

Seperti pada model *Mohr-Coulomb*, kondisi tegangan batas dideskripsikan oleh sudut geser (ϕ), kohesi (c), dan sudut dilatansi (ψ). Berbeda dengan model *Mohr-Coulomb*, model *Hardening Soil* mengikutsertakan modulus kekakuan

yang bergantung pada tegangan. Hal ini berarti bahwa kekakuan akan semakin meningkat terhadap tegangan.

4. Model *Hardening Soil with Small-Strain Stiffness* (HS_{small})

Model pengerasan tanah dengan kekakuan regangan kecil merupakan modifikasi dari model pengerasan tanah di atas yang menjelaskan peningkatan kekakuan tanah pada galur kecil. Pada tingkat regangan rendah, sebagian besar tanah memiliki kekakuan yang lebih tinggi daripada pada tingkat regangan teknik, dan kekakuan ini bervariasi secara non-linear dengan regangan. Perilaku ini dijelaskan dalam model HS_{small} menggunakan parameter regangan-sejarah tambahan dan dua parameter material tambahan, yaitu G_0^{ref} dan $\gamma_{0,7}$. G_0^{ref} adalah modulus geser regangan kecil dan $\gamma_{0,7}$ adalah level regangan di mana modulus geser telah berkurang hingga sekitar 70% dari modulus geser regangan kecil. fitur canggih model HS_{small} paling jelas dalam kondisi beban kerja. Di sini, model memberikan perpindahan yang lebih andal daripada model HS. Ketika digunakan dalam aplikasi dinamis, model *Hardening Soil* dengan kekakuan regangan kecil juga memperkenalkan redaman material histeretik.

5. Model *Soft Soil Creep* (SSC)

Model *Soft Soil Creep* merupakan jenis model yang ditujukan khusus untuk menganalisis rangkak (*creep*) dan relaksasi tegangan. Kompresi sekunder sangat dominan pada jenis tanah lunak, yaitu lempung yang terkonsolidasi normal, tanah lanau serta gambut. Model ini telah mengikutsertakan efek dari konsolidasi berlebih.

6. Model *Soft Soil* (SS)

Model *Soft Soil* merupakan jenis model *clay-clay* yang ditujukan khusus untuk menganalisis kompresi primer dari tanah lempung yang terkonsolidasi normal. Meskipun kemampuan model ini berada di bawah model *Hardening Soil*, namun model *Soft Soil* adalah model yang lebih mampu untuk memodelkan kelakuan tekanan dari tanah yang sangat lunak.

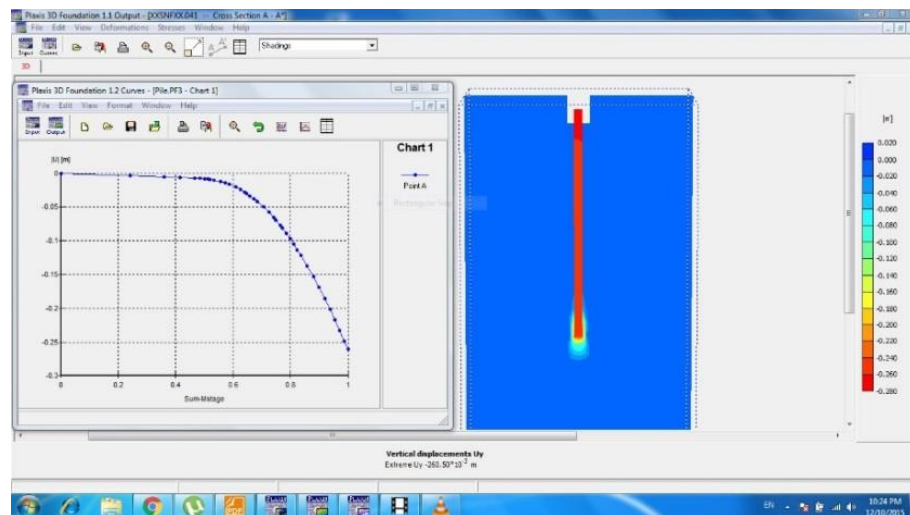
7. Model *Jointed Rock* (JR)

Model *Jointed Rock* atau model batuan kekar adalah sebuah model elastis-plastis anisotropis sempurna, yang dikembangkan secara khusus untuk

memodelkan perilaku dari lapisan batuan yang mempunyai asumsi batuan merupakan suatu kesatuan stratifikasi dan arah-arah kekar (*fault*) tertentu.

8. Model *Modified Cam-Clay* (MCC)

Model *Cam-Clay* yang dimodifikasi adalah model yang terkenal dari literatur pemodelan tanah internasional; lihat misalnya Muir Wood (1990). Hal ini dimaksudkan terutama untuk pemodelan tanah tipe lempung yang hampir secara normal terkonsolidasi. Model ini telah ditambahkan ke Plaxis untuk memungkinkan perbandingan dengan kode lain.

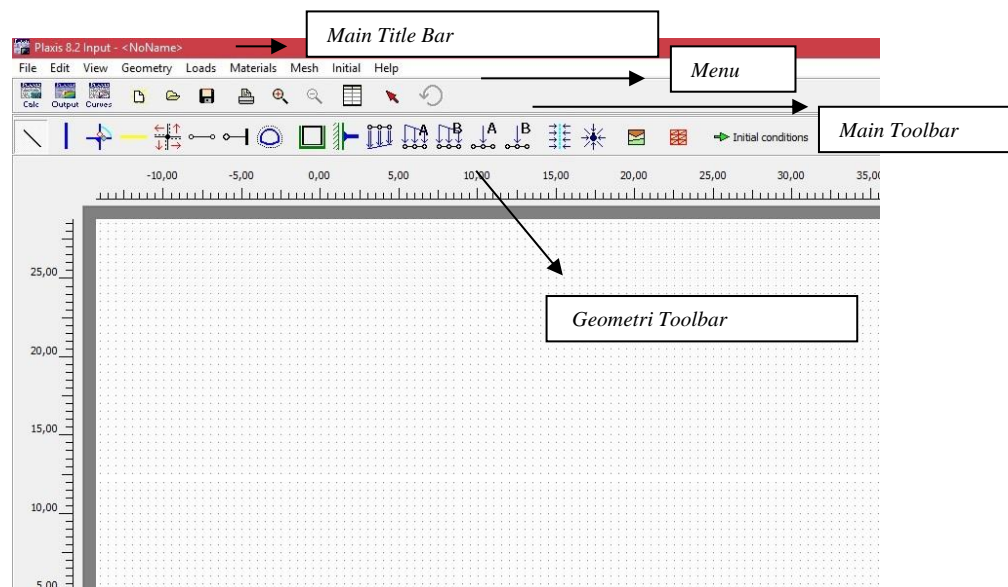


Gambar 2.9. Kurva hasil perhitungan program *Plaxis Professional 8.6*

Kondisi di lapangan yang disimulasikan ke dalam program ini bertujuan untuk mengimplementasikan tahapan pelaksanaan di lapangan ke dalam tahapan pengerjaan pada program, dengan harapan pelaksanaan di lapangan dapat didekati sedekat mungkin pada program, sehingga respon yang dihasilkan dari program ini dapat diasumsikan sebagai cerminan dari kondisi yang sebenarnya terjadi di lapangan.

2.9.2 Interface atau tampilan utama program *Plaxis Professional 8.6*

Tampilan *Plaxis Professional 8.6* dapat dilihat pada gambar di bawah ini, juga di lengkapi dengan keterangan mengenai bagian-bagiannya.



Gambar 2.10 Main windows program *Plaxis Professional 8.6*

2.9.2.1 Main window atau tampilan utama

Main Window atau tampilan utama program menampilkan seluruh *menu* yang digunakan pada program ini. Window ini dapat dipindahkan, diubah ukurannya, dimaksimalkan, diminimalkan, atau ditutup sebagaimana dengan standar operasi *Windows*. Dalam tampilan utama ini terdapat beberapa menu seperti *Main title bar*, *menu bar*, dan *main toolbar*.

2.9.2.2 Main Title bar

Main title bar terletak pada bagian atas *Main Window*. *Main title bar* berisikan informasi tentang nama program dan nama model struktur.

2.9.2.3 Menu Bar

Menu bar terletak tepat dibawah *main title bar*. Menu-menu pada *Menu Bar* memiliki berbagai opsi yang digunakan dalam operasi program *Plaxis Professional 8,6*. Menu yang ada di *Menu Bar* yaitu : *File*, *Edit*, *View*, *Geometry*, *Loads*, *Material*, *Mesh*, *Initial*, dan *Help*.

2.9.2.4 Main Toolbar

Main toolbar berisikan menu-menu spesifik dan berfungsi untuk memberikan akses yang cepat pada beberapa menu yang sering digunakan dalam

proses operasi program ini. Ada dua Main toolbar pada program ini, dimana pada toolbar baris paling atas

Pada *Main Toolbar* pertama, terdapat tiga opsi menu seperti menu *Input*, *Calculation*, dan *Curve*. Menu ini digunakan untuk proses memasukan data, proses perhitungan data dan proses pengeluaran data. Kemudian menu-menu dilanjutkan dengan menu akses biasa seperti seperti *new file*, *open file*, *save file*, *print*, *magnifice*, dan lain-lain.

2.9.2.5 Geometri Toolbar

Pada *Geometri Toolbar*, terdapat menu-menu yang berfungsi untuk memasukan pemodelan dari struktur lapisan tanah dan konstruksi bangunan yang digunakan. Selain itu pada menu ini terdapat variasi pembebanan Menu-menu tersebut adalah *Geometry Line*, *Plate*, *Hinge and Rotation Spring*, *Geogrid*, *Interface*, *Node to Node Anchor*, *Fixed*, *End Anchor*, dan menu-menu lainnya.

2.10 Data-data yang digunakan Plaxis 8.6

Ada banyak hal yang perlu diperhatikan ketika mengolah data dengan menggunakan Program *Plaxis Proffesional 8.6*, yaitu dimana pengguna harus menguasai teori dan konsep mengenai mekanika tanah dan rekayasa pondasi. Hal ini sangat penting karena aplikasi ini akan tetap melakukan kalkulasi dan memberikan hasil (*output*) meskipun data yang di-*input* adalah data yang salah. Oleh karena itu parameter yang diperlukan dalam proses input, baik dari parameter tanah maupun parameter konstruksi bangunan harus sangat diperhatikan.

Untuk data fisik tanah yang digunakan dalam proses *input* data program ini adalah :

2.10.1 Kohesi (c)

Kohesi adalah gaya tarik menarik antara partikel dalam batuan, dinyatakan dalam satuan berat per satuan luas. Salah satu aspek yang memengaruhi nilai kohesi adalah kerapatan dan jarak antar molekul dalam suatu benda. Kohesi berbanding lurus dengan kerapatan suatu benda, sehingga bila kerapatan semakin besar maka

kohesi yg akan didapatkan semakin besar. Nilai kohesi (c) diperoleh dari pengujian laboratorium yaitu pengujian kuat geser langsung (direct shear strength test) dan pengujian triaxial (triaxial test).

2.10.2 Sudut Geser (ϕ)

Sudut geser dalam merupakan sudut yang dibentuk dari hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser di dalam material tanah atau batuan. Sudut geser dalam adalah sudut rekahan yang dibentuk jika suatu material dikenai tegangan atau gaya terhadapnya yang melebihi tegangan gesernya. Semakin besar sudut geser dalam suatu material maka material tersebut akan lebih tahan menerima tegangan luar yang dikenakan terhadapnya

Berdasarkan *Carter, M. and Bentley, S., 1991. Correlations of soil properties. Penetech Press Publishers, London*, menyatakan bahwa untuk tanah dengan kategori lumpur organik dan lempung organik dengan plastisitas rendah dengan sudut geser minimal 22 dan maksimal 32.

2.10.3 Poisson Ratio (ν)

Poisson's ratio merupakan ukuran kompresibilitas sebuah benda yang tegak lurus dengan stress atau perbandingan strain latitudinal dengan strain longitudinal. Jika kita mempunyai sample berbentuk silinder kemudian ditekan oleh suatu gaya, maka sample tersebut akan memendek dan membuat jari-jari bertambah. Perbandingan perubahan panjang dan perubahan jari-jari itulah yang disebut *poisson ratio*

Angka *poison* sering dianggap sebesar 0,2 – 0,4 dalam pekerjaan-pekerjaan mekanika tanah. Nilai sebesar 0,5 biasanya dipakai untuk tanah jenuh dan nilai 0 sering dipakai untuk tanah kering dan tanah lainnya untuk kemudahan dalam perhitungan.

Tabel 2.7. Nilai Perkiraan Angka *Poison* Tanah (Bowles, 1997)

Jenis Tanah	ν (Angka <i>Poison</i> Tanah)
Lempung Jenuh	0,40 – 0,50
Lempung Tak Jenuh	0,10 – 0,30
Lempung Berpasir	0,20 – 0,30
Lanau	0,30 – 0,35
Pasir Padat	0,20 – 0,40
Pasir Kasar	0,15
Pasir Halus	0,25
Batu	0,10 – 0,40
Loess	0,10 – 0,30

2.10.4 Modulus Elastisitas (E)

Modulus elastisitas adalah perbandingan antara tegangan dan regangan aksial (satu dimensi) dalam deformasi yang elastis. Modulus elastisitas menggambarkan kekakuan suatu material yang berarti bahwa apabila suatu material memiliki nilai modulus elastisitas yang besar, maka semakin kecil perubahan bentuk yang terjadi apabila diberi tegangan tertentu.

Konsep modulus elastisitas ini menggambarkan bahwa setiap material akan mengalami perubahan bentuk yang ditandai dengan penambahan atau pengurangan panjang apabila mengalami tegangan tertentu. Besarnya perubahan panjang yang dimiliki oleh setiap material berbeda-beda tergantung dari besaran elastisitas material tersebut.

Tegangan adalah besaran yang menyatakan perbandingan antara suatu besaran gaya terhadap luas penampang yang tegak lurus terhadap gaya tersebut, berikut adalah persamaan matematis untuk tegangan :

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

dimana :

σ = Tegangan (N/m²)

F = Gaya (N)

A = Luas Penampang (m^2)

Regangan adalah besaran yang menyatakan suatu perbandingan antara perubahan panjang terhadap panjang awal dari suatu material, berikut adalah persamaan matematis untuk regangan :

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

dimana :

ε = Regangan (m/m)

ΔL = Perubahan Panjang (m)

L_0 = Panjang Awal (m)

Hubungan antara tegangan dan regangan yang dinyatakan dalam modulus elastisitas dapat dilihat pada persamaan berikut :

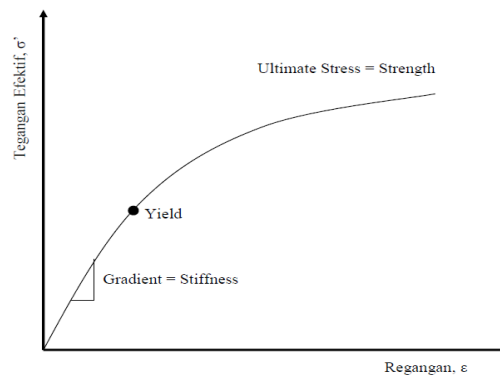
$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

dimana :

E = Modulus Elastisitas (N/m^2)

σ = Tegangan (N/m^2)

ε = Regangan (m/m)



Gambar 2.11 Grafik Modulus Elastisitas (E)

(Sumber : *An Introduction to The Mechanics of Soils and Foundations*, John Atkinson '93)

2.10.5 Sudut dilatasi (ψ)

Sudut Dilatasi merupakan sudut yang bergantung dari kepadatan dan sudut geser dalam tanah pasir ($\psi = \phi - 30^\circ$). Apabila sudut geser dalam besarnya kurang

dari 30° , maka sudut dilatasi sama dengan nol, begitu pula pada tanah lempung $\psi = 0$.

2.10.6 Berat volume tanah (γ)

Berat volume tanah merupakan rasio antara berat dan volume total contoh tanah, termasuk volume ruang pori yang ada didalamnya. Keragaman berat volume tanah sangat bergantung pada jenis fraksi penyusunan tanah termasuk tekstur tanah. Tanah-tanah yang bertekstur jarang biasanya mempunyai berat volume yang lebih rendah dibandingkan dengan tanah yang agak pejal.

2.10.7 Permeabilitas Tanah (k)

Permeabilitas tanah adalah kecepatan air merembes ke dalam tanah ke arah horizontal dan vertikal melalui pori-pori tanah atau pula dapat diartikan dengan kecepatan tanah meresapkan atau meloloskan air dalam keadaan jenuh. Kecepatan perembesan air dipengaruhi oleh tekstur tanah. Untuk nilai permeabilitas dapat diperoleh dari korelasi klasifikasi tanah, yang ditampilkan sebagai berikut:

2.10.8 Kekakuan Normal (EA)

Parameter EA merupakan salah satu data input pada program *Plaxis Professional 8.6* yang berfungsi untuk memasukan nilai kekakuan normal suatu material. Untuk mendapatkan nilai parameter kekakuan normal ini, diperlukan data modulus elastisitas dari material dan juga luasan permukaannya. Secara matematis kekakuan normal dinyatakan dengan persamaan:

$$EA = E_C \times A$$

Dimana:

E_C = Modulus elastisitas material

A = Luasan permukaan material

Sesuai dengan SK SNI T-15-1991-03 digunakan rumus nilai modulus elastisitas beton dengan mempertimbangkan unsur berat isi beton adalah

$$E_C = 4700\sqrt{f_c}$$

Dimana :

F_c' = Nilai kuat tekan beton yang disyaratkan dalam satuan Mpa atau kg/cm² dengan benda uji silinder

2.10.9 Kekakuan Lentur (EI)

Parameter EI merupakan salah satu data input pada program *Plaxis Professional 8.6* yang berfungsi untuk memasukan nilai kekakuan lentur suatu material. Untuk mendapatkan nilai parameter kekakuan normal ini, diperlukan data modulus elastisitas dari material dan juga nilai momen inersia dari material yang direncanakan. Secara matematis kekakuan inersia dinyatakan dengan persamaan:

$$EI = E_C \times I$$

Dimana:

E_C = Modulus elastisitas material

I = Momen inersia material

Sesuai dengan SK SNI T-15-1991-03 digunakan rumus nilai modulus elastisitas beton dengan mempertimbangkan unsur berat isi beton adalah

$$E_C = 4700\sqrt{f_c'}$$

Dimana :

F_c' = Nilai kuat tekan beton yang disyaratkan dalam satuan Mpa atau kg/cm² dengan benda uji silinder

2.11 Penelitian Terdahulu

Penelitian yang telah dilakukan berkaitan dengan penelitian-penelitian terdahulu, namun dengan lokasi, obyek, tujuan, dan metode yang berbeda. Pada penelitian terdahulu yang terkait dengan penelitian yang akan penulis lakukan, diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Alyvia Jacinda Shabrina melakukan penelitian yang berjudul “Analisis Deformasi Pondasi Tiang Akibat Konstruksi *Embankment* di Atas Tanah Lunak Studi Kasus Jalan Arteri Gedebage Bandung”. Penelitian dilakukan dengan menganalisis timbunan serta konstruksi yang sudah ada berupa pondasi tiang dengan menggunakan metode elemen hingga program plaxis. Setelah dilakukan interpretasi hasil analisis. Kemudian

hasil analisis berupa momen *allowable* pada brosur WIKA BETON. Dari perbandingan hasil analisis dapat disimpulkan bahwa penimbunan dengan tinggi tertentu dapat berdampak pada konstruksi yang sudah ada sebelumnya.

2. Lintang Kurnia Aridini melakukan penelitian yang berjudul “Pengaruh Beban Tanah Timbunan Terhadap Daya Dukung Pondasi Rakit Menggunakan Program *Plaxis*. Berdasarkan analisis yang telah dilakukan diperoleh nilai factor aman yang paling tinggi berada pada kondisi tanpa timbunan dengan tebal pelat 30 cm sebesar 1,1782, sedangkan nilai factor tebal pelat 40 cm dengan nilai 0,4560. Perbedaan tegangan efektif tanah yang terjadi pada pondasi rakit tidak berpengaruh secara signifikan karena pemodelan pada *Plaxis* lebih mengarah kepada factor aman dan deformasi tanah yang terjadi pada pondasi rakit.