BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

Dalam bagian ini penulis akan mengemukakan beberapa teori pendukung yang dianggap dapat menjelaskan konsep-konsep dasar yang berhubungan dengan masalah penelitian yang ada. Dalam suatu galian tanah, salah satu hal penting yang harus dipertimbangkan adalah adanya gerakan massa tanah disekitar galian. Stabilitas galian dan gerakan tanah akan dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain kuat geser tanah,lebar galian, jarak antara dasar galian dengan tanah keras dan kedalaman galian.

Zanussi (1991), Chan (1997) dalam Raharjo dan Handoko, (2005) melaporkan kegagalan pondasi bangunan gedung di Jakarta yang disebabkan oleh gerakan tanah yang terjadi akibat galian disekitar gedung, serta mengindikasikan bahwa banyak kegagalan konstruksi terjadi karena kurangnya pengetahuan dan teknologi, penyelidikan geoteknik yang sangat minim, *design* kurang memadai, konstruksi yang salah dan kurangnya informasi dari *design* bagi pelaksana.

Pola gerakan massa tanah akibat adanya galian yang dilakukan serta ketinggian galian maximum yang tidak boleh dilampaui dalam suau pekerjaan galian sangat penting untuk diketahui dan kaji agar tidak terjadi kegagalan konstruksi. Prediksi perilaku tanah dan pola keruntuhan *(failure)* tanah akibat adanya galian tanah dan beban konstruksi dapat diamati dengan membuat model di laboratorium dan menganalisis kembali dengan metode elemen hingga.

Raharjo dan Handoko, (2005) melakukan kajian geoteknik pada galian tanah lunak dan menganalisis kembali secara numerik terhadap peristiwa kegagalan pondasi yang terjadi di Jakarta pada tahun 1990. Dalam tinjauannya menyimpulkan bahwa, galian pada tanah lunak yang tidak dikontrol atau yang tidak di proteksi dengan baik dapat menyebabkan gerakan massa tanah yang besar dalam arah lateral dan dapat menyebabkan kegagalan pondasi tiang yang telah dibangun.

Melinda dkk., (2000), melakukan studi kasus pada proyek galangan kapal, Tanjung Mas, Semarang denan membuat model konstruksi turap berjangkar pada tanah lunak menggunakan metode elemen hingga. Hasil studi menyimpulkan basarnya gaya-gaya yang bekerja pada turap yang dihitung secara numerik lebih rendah dibandingkan dengan hitungan konvensional.

2.1 Tanah

Tanah selalu mempunyai peranan penting dalam suatu pekerjaan konstruksi. Tanah adalah sebagai dasar pendukung suatu bangunan atau bahan konstruksi dari bangunan itu sendiri. Pada umumnya semua bangunan dibuat diatas dan dibawah permukaan tanah, maka diperlukan suatu sistem pondasi yang akan menyalurkan beban dari bangunan ke tanah. Untuk menentukan dan mengklasifikasi tanah diperlukan suatu pengamatan di lapangan.

Untuk memperoleh hasil klasifikasi yang objektif, biasanya tanah itu secara sepintas dibagi dalam tanah berbutir kasar dan berbutir halus berdasarkan suatu hasil analisa mekanis. Selanjutnya tahap klasifikasi tanah berbutir halus diadakan berdasarkan percobaan konsistensi. (Suyono Sosrodarsono dan Kazuto Nakazawa, 1990).

Tabel 2.1. Nilai Tipikal Berat Volume Tanah (sumber: soil mechanics and Foundation, Jhon Wiley & Sons., 1962)

Jenis Tanah	**γ_{sat} (kN/m^3)**	**γ_{dry} (kN/m^3)**
Kerikil	20-22	15-17
Pasir	18-20	13-16
Lanau	18-20	14-18
Lempung	16-22	14-21

2.2 Data Sondir

Alat sondir atau *Duch Cone Penetrometer (CPT)* merupakan alat penyelidikan tanah yang paling sederhana, murah, praktis dan sangat populer digunakan di Indonesia. Alat sondir dari Belanda ini memberikan tekanan konus dengan atau tanpa hambatan pelekat (*friction resistance*) yang dapat dikorelasikan pada parameter tanah seperti *undrained shear strength*, kompresibilitas tanah dan dapat memperkirakan jenis lapisan tanah. Dari nilai qc dan FR dapat dikorelasikan terhadap jenis tanah. Hubungan antara tekanan konus (qc), *Friction ratio* (FR) dan jenis tanah.

Tabel 2.2. Korelasi Berat Jenis Tanah Jenuh (γ_{sat}) untuk Tanah Non Kohesif (sumber: soil mechanics, Whitman, Robert V., 1962)

Description	**Very Loose**	**Loose**	**Medium**	**Dense**	**Very Dense**
NSPT					
Fine	1-2	3-6	7-15	16-30	
Medium	2-3	4-7	8-20	21-40	>40
Coarse	3-6	5-9	10-25	26-45	>45
Φ					
Fine	26-28	28-30	30-34	33-38	
Medium	27-28	30-32	32-36	36-42	<50
Coarse	28-30	30-34	33-34	40-50	
γ_{wet} (kN/m^3)	11-16	14-18	17-20	17-22	20-23

Tabel 2.3. Korelasi Berat Tanah (γ) Untuk Tanah Non Kohesif dan Kohesif (φ) (sumber: soil mechanics, Whitman, Robert V., 1962)

	Cohesionless Soil				
N	0-10	11-30	31-50	>50	
Unit Weight γ.kN/m^3	12-16	14-18	16-20	18-23	
Angle of Friction φ	25-35	18-36	30-40	>35	
State	Loose	Medium	Dense	Very Dense	
	Cohesif				
N	<4	4-6	6-15	16-25	>25
Unit Weight γ.kN/m^3	14-18	16-18	16-18	16-20	>20
q_u.kPa	<25	20-50	30-60	40-200	>100
Consistency	Very Soft	Soft	Medium	Stiff	Hard

2.3. Data Boring

Pengeboran merupakan cara yang paling awal dan mudah dalam penyelidikan tanah. Maksud dari pekerjaan bor ini adalah untuk mengidentifikasikan kondisi tanah, sampai kedalaman yang ditetapkan, sehingga dapat digunakan untuk merencanakan pondasi, timbunan tanah, khususnya penanggulangan longsoran. Pekerjaan ini menggunakan mesin bor dan tabung untuk mengambil contoh tanah tak terganggu. Selain itu juga dilakukan *Standard Penetration Test* (SPT) pada setiap interval tertentu. *Standard Penetration Test* (SPT) digunakan untuk menentukan konsistensi atau *density* tanah dilapangan. Korelasi antara N-SPT dengan *relative density* dan sudut geser dalam.

Tabel 2.4. Nilai SPT dan *properties* tanah berdasarkan *Standard Penetration Test* (sumber : Terzaghi & Peck)

Sand		***Clay***	
Nilai N-SPT	**Relative Density**	**Nilai N-SPT**	**Konsistensi**
0 – 4	*Very Loose*	<2	*Very Solf*
4 – 10	*Loose*	2 – 4	*Solf*
10 – 30	*Medium*	4 – 8	*Medium*
30 – 50	*Dense*	8 – 15	*Stiff*
> 50	*Very Dense*	15 – 30	*Very Stiff*
		> 30	*Hard*

Tabel 2.5. Nilai-nilai n_h untuk tanah granuler (c=10) (Poulus dan Davis,1980).

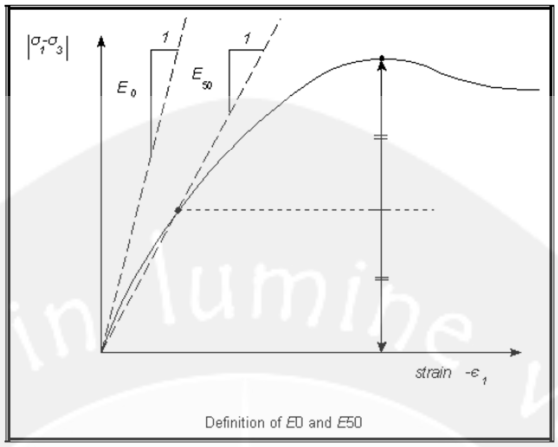
Kerapatan Relatif	Tak Padat	Sedang	Padat
Interval nilai A	100-300	300-1000	1000-2000
Nilai A dipakai	200	600	1500
n_h, pasir kering atau lembab (Terzaghi)(kN/m^3)	2425	7275	19400
n_h pasir terendam air (kN/m^3) Terzaghi	1386	4850	11779
Reese et al	5300	16300	34000

2.3.1 Modulus Young

Dengan menggunakan data sondir, boring dan grafik triaksial dapat digunakan untuk mencari besarnya nilai elastisitas tanah. Nilai yang dibutuhkan adalah nilai qc atau *cone resistance*. Nilai yang dibutuhkan adalah nilai N. Modulus elastisitas didekati dengan:

$E = 6 (N + 5)$ k/ft^2 (untuk pasir berlempung).....(2.1a)

$E = 10 (N + 15)$ k/ft^2 (untuk pasir).....(2.1b)



Gambar 2.1. Penentuan E_{50} (sumber : Manual PLAXIS)

Dari diagram tegangan regangan nilai E_0 adalah kemiringan pada awal tahap. Untuk analisa batuan dan lempung berkonsolidasi tinggi dengan jangkauan linear elastis yang tinggi dapat langsung digunakan E_0, sedangkan pada pasir dan lempung yang terkonsolidasi secara normal digunakan nilai E_{50}. Pada umumnya lapisan tanah yang lebih dalam akan mempunyai niai E yang lebih besar. Nilai Modulus Young didapat dengan menggunakan rumus :

$$E_{50} = \frac{(\sigma_1 - \sigma_3)50}{\varepsilon_{rata-rata}} \quad \text{.....(2.2)}$$

Dimana :

σ_1 = tegangan 1

σ_3 = tegangan 3

$\square_{rata\text{-}rata}$ = regangan rata-rata

Tabel 2.6. Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah

(Sumber : Bowles, 1997)

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	10000-140000
Padat	50000-100000
Pasir dan Kerikil	
Padat	80000-200000
Tidak Padat	50000-140000
Lanau	2000-20000
Loess	15000-60000
Serpih	140000-1400000

2.3.2 Poissons Ratio

Nilai *poisson rasio* ditentukan sebagai rasio kompresi poros terhadap regangan permuaian lateral. Nilai *poisson rasio* dapat ditentukan berdasarkan jenis tanah seperti yang terlihat dalam tabel 2.7 dibawah ini :.

Tabel 2.7. Nilai Perkiraan Angka Poisson Tanah (sumber : Bowles, 1997)

Macam Tanah	υ (Angka Poisson Tanah)
Lempung Jenuh	0.40 – 0.50
Lempung Tidak Jenuh	0.10 – 0.30
Lempung Berpasir	0.20 – 0.30
Lanau	0.30 – 0.35
Pasir	0.10 – 1.00
Batuan	0.10 – 0.40
Umum dipakai untuk tanah	0.30 – 0.40

2.3.3 Pondasi Tiang

Menurut Hardiyatmo (2002) pondasi tiang digunakan untuk mendukung bangunan apabila lapisan tanah kuat terletak sangat dalam. Pondasi tiang juga dapat digunakan untuk mendukung bangunan yang menahan gaya angkat ke atas, terutama pada bangunan-bangunan tinggi yang dipengaruhi oleh gaya-gaya penggulingan akibat beban angin. Tiang-tiang juga digunakan untuk menahan gaya-gaya lateral yang diakibatkan oleh gaya-gaya horisontal. Oleh karena itu pondasi tiang dapat 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 pondasi mampu memberikan dukungan yang cukup oleh gesekan dinding tiang dengan tanah di sekitarnya.
3. Untuk mengangker bangunan yang dipengaruhi oleh gaya angkat ke atas akibat tekanan *hidrostatis* atau momen penggulingan.
4. Untuk menahan gaya-gaya horisontal dan gaya yang arahnya miring.

5. Untuk memadatkan tanah pasir, sihingga kapasitas dukung tanah tersebut menjadi bertambah lebih tinggi.
6. Untuk mendukung bagunan yang permukaan tanahnya mudah tergerus air.

Secara umum pondasi tiang merupakan elemen struktur yang berfungsi meneruskan beban pada tanah, baik beban dalam arah vertikal maupun arah horizontal. Pemakaian pondasi tiang pancang pada suatu bangunan, apabila tanah dasar dibawah bangunan tersebut tidak mempunyai daya dukung yang cukup untuk memikul berat bangunan dan bebannya, atau apabila tanah keras yang mempunyai daya dukung yang cukup untuk memikul berat bangunan dan bebannya tetapi letaknya sangat dalam, (Sardjono HS, 1988).

2.3.4. Pondasi Tiang Pancang

Pondasi tiang digolongkan berdasarkan kualitas bahan material dan cara pelaksanaan. Menurut kualitas bahan material yang digunakan, tiang pancang dibedakan menjadi empat yaitu tiang pancang kayu, tiang pancang beton, tiang pancang baja dan tiang pancang composite (kayu – beton dan baja – beton). Tiang pancang beton berdasarkan cara pembuatannya dibedakan menjadi dua macam yaitu *cast in place* (tiang beton cor ditempat atau pondasi tiang bor) dan *precast pile* (tiang beton dibuat ditempat lain atau dibuat dipabrik)

2.4. Kapasitas Dukung Tiang

Dalam menentukan kapasitas dukung tiang diperlukan klasifikasi tiang untuk mendukung beban yang bekerja. Menurut Terzaghi, klasifikasi tiang didasarkan pada pondasi tiang yaitu :

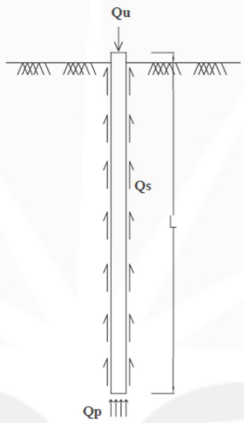
1. Tiang gesek *(friction pile)*, bila tiang pancang pada tanah berbutir. Akibat pemancangan tiang, tanah disekitar tiang menjadi padat. Porositas dan kompresibilitas tanah akibat getaran pada waktu tiang dipancang menjadi berkurang dan angka gesekan antara butir – butir tanah dan permukaan tiang pada arah lateral menjadi bertambah.
2. Tiang lekat *(cohesion pile)*, bila tiang dipancang pada tanah lunak (permeabilitas rendah) atau tanah mempunyai kohesi yang tinggi.
3. Tiang pendukung dibagian ujung tiang *(point / end bearing pile)*, bila tiang dipancang dengan ujung tiang mencapai tanah keras sehingga seluruh beban yang dipikul oleh tiang diteruskan ke tanah keras melalui ujung tiang.
4. Tiang tekan, bila tiang telah menumpu pada tanah keras dan mendapatkantekanan vertikal dari beban mati maupun beban hidup.
5. Tiang tarik, bila tiang pancang pada tanah berbutir mendapat gaya yang bekerja dari lendutan momen yang mengakibatkan tiang mengalami gaya tarik.

Pada kenyataannya di lapangan, tanah sangat heterogen dan pada umumnya merupakan kombinasi dari kelima hal tersebut di atas. Berbagai metode dalam usaha menentukan kapasitas dukung tiang ini, namun pada

umumnya dibedakan dalam dua kategori yaitu untuk tiang tunggal dan kelompok tiang.

2.4.1 Kapasitas Dukung Tiang Tunggal

Kapasitas dukung tiang terdiri dari kapasitas dukung ujung tiang (Q_p) dan kapasitas dukung selimut tiang (Q_s), yang dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 2.2. Kapasitas dukung tiang pancang

2.4.2. Tahanan Ujung Tiang (Qp)

Menurut cara Meyerhoff (1976), untuk menentukan kapasitas dukung ujung tiang tergantung jenis tanahnya. Untuk menghitung kapasitas dukung ujung tiang menurut jenis tanahnya untuk tanah pasir :

$fb = w_1 . w_2 \cdot qc_a$.....(2.3)

Dimana :

w_1 = Koefisien modifikasi pengaruh skala

w_2 = Koefisien modifikasi untuk penetrasi tiang dalam lapisan pasir

qc_a = Nilai rata-rata pada zona 1d dibawah ujung tiang dan 4d diatasnya

2.4.3. Kapasitas Dukung Ijin Didasarkan Pada Tiang Tunggal (Qs)

Kapasitas dukung selimut tiang (Qs) dapat dihitung dengan rumus berikut ini (Sumber : Braja M Das).

$Qs = \alpha \cdot Cu \cdot As$.....(2.4)

$As = p \cdot \Delta$.....(2.5)

Dimana :

α = Faktor adhesi

As = Luas selimut tiang (m2)

p = Keliling tiang (m2)

ΔL = Panjang tiang (m)

f = Gesekan selimut

2.4.4. Kapasitas Dukung Ultimate Tiang

Kapasitas dukung ultimate tiang(Qu) :

$Qu = Qp + Qs - W$.....(2.6)

Karena W dianggap = 0, maka kapasitas dukung ultimit adalah:

$Qu = Qp + Qs$

Dimana :

Qu = Kapasitas dukung ultimit tiang (ton)

Qp = Kapasitas dukung ujung tiang (ton)

Qs = Kapasitas dukung selimut tiang (ton)

W = Berat Tiang

2.4.5. Kapasitas Dukung Ijin Tiang (Qa)

Nilai kapasitas dukung ijin tiang (Qa) dihitung dengan memakai rumus berikut ini :

Qa = *SF* / Qu.....(2.7)

Dimana :

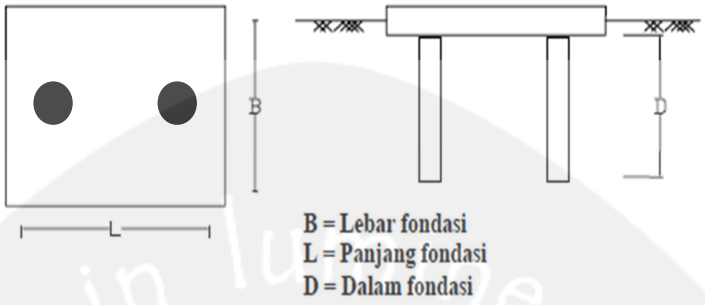
Qu = Kapasitas dukung ultimate tiang

SF = Faktor aman tahanan ujung = 2

2.4.6. Kapasitas Dukung Kelompok Tiang

Pondasi tiang pancang yang umumnya dipasang secara berkelompok. Yang dimaksud berkelompok adalah sekumpulan tiang yang dipasang secara relatif berdekatan dan biasanya diikat menjadi satu dibagian atasnya dengan menggunakan *pile cap.* Untuk menghitung nilai kapasitas dukung kelompok tiang, ada bebarapa hal yang harus diperhatikan terlebih dahulu, yaitu jumlah tiang dalam satu kelompok, jarak tiang, susunan tiang dan efisiensi kelompok tiang. Untuk menghitung kapasitas dukung ultimit kelompok tiang dengan memperhatikan faktor efisiensi tiang :

Qg = Eg . n . Qu.....(2.8)



Gambar 2.3. Kelompok tiang

2.4.7. Jumlah Tiang (n)

Untuk menentukan jumlah tiang yang akan dipasang didasarkan beban yang bekerja pada pondasi dan kapasitas dukung ijin tiang, maka rumus yang dipakai adalah sebagai berikut :

n = P / Qa.....(2.9)

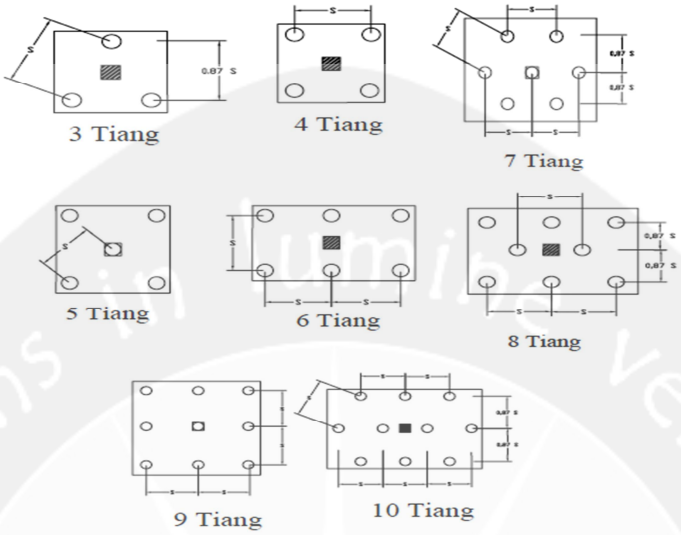
Dimana :

P = Beban yang berkerja

Qa = Kapasitas dukung ijin tiang tunggal

2.4.8. Susunan Tiang

Susunan tiang sangat berpengaruh terhadap luas denah *pile cap*, yang secara tidak langsung tergantung dari jarak tiang. Bila jarak tiang kurang teratur atau terlalu lebar, maka luas denah *pile cap* akan bertambah besar dan berakibat volume beton menjadi bertambah besar sehingga biaya konstruksi membengkak



Gambar 2.4. Contoh susunan tiang (sumber : Teknik Fondasi 2, Hary Cristady Hardiyatmo)

2.4.9. Efisiensi Kelompok Tiang

Untuk menghitung efisiensi kelompok tiang, cara yang di gunakan adalah: *Converse-Labarre formula*

$E_g = 1 - \frac{\text{————————}}{\text{————————}}$ .....(2.10)

Dimana :

Eg = Efisiensi kelompok tiang

m = Jumlah baris tiang

Ø = arc tg d/s, dalam derajat

n = Jumlah tiang dalam satu baris

d = Diameter tiang (m)

s = Jarak pusat ke pusat tiang

Efisiensi kelompok tiang :

$E_g = \frac{Qg}{n \ .Qu}$ .....(2.11)

Dimana :

Eg = Efisiensi kelompok tiang

Qg = Beban maksimum kelompok tiang yang mengakibatkan keruntuhan

Eg = Beban maksimum kelompok tiang tunggal yang mengakibatkan keruntuhan

n = Jumlah tiang dalam kelompok

2.4.10. Menghitung Analisa Gaya Yang berkerja pada Kelompok Tiang.

Untuk menghitung tekanan aksial pada masing-masing tiang adalah sebagai berikut :

$Qi = \frac{V}{n} \pm \frac{M_{y.X_i}}{\sum x^2} \pm \frac{M_{x.Y_i}}{\sum y^2}$ .....(2.12)

Dimana :

P1 = Beban yang diterima satu tiang pancang (ton)

$\sum$V = Jumlah beban vertikal (ton)

N = Jumlah tiang pancang

Mx = Momen yang bekerja pada kelompok tiang searah sumbu x (tm)

My = Momen yang bekerja pada kelompok tiang searah sumbu y (tm)

Xi = Jarak tiang pancang terhadap titik berat tiang kelompok pada arah X (m)

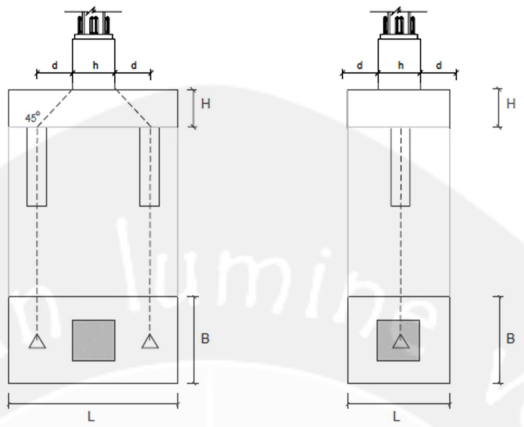
Yi = Jarak tiang pancang terhadap titik berat tiang kelompok pada arah Y (m)

$\sum x^2$ = Jumlah kuadrat tiang pancang pada arah x (m^2)

$\sum y^2$ = Jumlah kuadrat tiang pancang pada arah y (m^2)

2.4.11. *Pile Cap*

Pile Cap berfungsi untuk menyalurkan beban bangunan yang diterima oleh kolom sehingga pondasi tiang akan menerima beban sesuai dengan kapasitas dukung ijin. Pada umumnya susunan tiang dibuat simetris sehingga pusat berat kelompok tiang dan pusat berat *Pile Cap* terletak pada satu garis vertikal. Jarak antar tiang diusahakan sedekat mungkin untuk menghemat *Pile Cap*, tetapi jika pondasi memikul beban momen maka jarak tiang perlu diperbesar yang berarti menambah atau memperbesar tahanan momen. *Pile Cap* dapat dilihat pada Gambar 2.6



Gambar 2.5. *Pile cap* (Sumber : Teng, 1962)

2.5. Kapasitas Daya Dukung Tanah

Analisis kapasitas dukung tanah mempelajari kemampuan tanah dalam mendukung beban pondasi yang bekerja diatasnya. Pondasi adalah bagian dari struktur yang berfungsi meneruskan beban akibat berat strukutr secara langsung ketanah yang terletak dibawahnya. Banyak cara yang telah dibuat untuk merumuskan persamaan kapasitas dukung tanah, namun seluruhnya hanya merupakan cara pendekatan untuk memudahkan hitungan.

Persamaan – persamaan yang dibuat di kaitkan dengan sifat-sifat tanah dan bentuk bidang geser yang terjadi saat keruntuhannya *(Teori Terzaghi).* Rumus persamaan umum beban ultimit persatuan luas :

$qu = C*Nc + Po*Nq + 0{,}5*\gamma*B*N\gamma$.....(2.13)

Dimana :

qu = kapasitas dukung ultimit

c = kohesi (kN/m2)

Po= Df . γ = Tekanan *overburden* pada dasar pondasi (kN/m2)

Df = kedalaman pondasi (m)

γ = berat volume tanah (kN/m3)

B = lebar pondasi (m)

Nγ, Nc, Nq = factor kapasitas dukung tanah (fungsi φ)

Nilai-nilai dari *Nγ, Nc, Nq* dalam bentuk grafik yang diberikan Mayerhof (1963), Hamsen (1961), dan Vesic (1973)

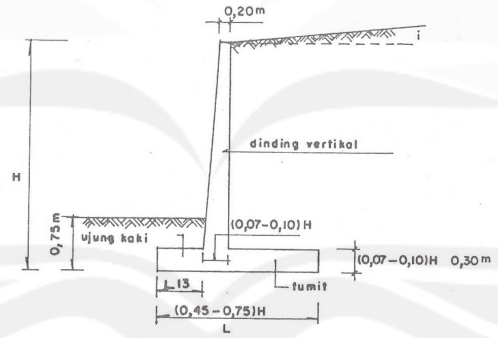
Tabel 2.8. Faktor-faktor kapasitas dukung Meyerhof (1963), Hansen(1961) dan Vesic (1973).

φ(o)	Meyerhof (1963)			Hansen (1961)			Vesic (1973)		
	Nc	*Nq*	*Nγ*	*Nc*	*Nq*	*Nγ*	*Nc*	*Nq*	*Nγ*
0	5,14	1,00	0	5,14	1,00	0,00	5,14	1,00	0,00
1	5,38	1,09	0,00	5,38	1,09	0,00	5,38	1,09	0,07
2	5,63	1,20	0,01	5,63	1,20	0,01	5,63	1,20	0,15
3	5,90	1,31	0,02	5,90	1,31	0,02	5,90	1,31	0,24
4	6,19	1,43	0,04	6,19	1,43	0,05	6,19	1,43	0,34
5	6,49	1,57	0,07	6,49	1,57	0,07	6,49	1,57	0,45
6	6,81	1,72	0,11	6,81	1,72	0,11	6,81	1,72	0,57
7	7,16	1,88	0,15	7,16	1,88	0,16	7,16	1,88	0,71
8	7,53	2,06	0,21	7,53	2,06	0,22	7,53	2,06	0,86
9	7,92	2,25	0,28	7,92	2,25	0,30	7,92	2,25	1,03
10	8,34	2,47	0,37	8,34	2,47	0,39	8,34	2,47	1,22
11	8,80	2,71	0,47	8,80	2,71	0,50	8,80	2,71	1,44
12	9,28	2,97	0,60	9,28	2,97	0,63	9,28	2,97	1,69
13	9,81	3,26	0,74	9,81	3,26	0,78	9,81	3,26	1,97
14	10,37	3,59	0,92	10,37	3,59	0,97	10,37	3,59	2,29
15	10,98	3,94	1,13	10,98	3,94	1,18	10,98	3,94	2,65
16	11,63	4,34	1,37	11,63	4,34	1,43	11,63	4,34	3,06
17	12,34	4,77	1,66	12,34	4,77	1,73	12,34	4,77	3,53
18	13,10	5,26	2,00	13,10	5,26	2,08	13,10	5,26	4,07
19	13,93	5,80	2,40	13,93	5,80	2,48	13,93	5,80	4,68
20	14,83	6,40	2,87	14,83	6,40	2,95	14,83	6,40	5,39

2.5.1 Tembok penahan *conterfort (counterfort wall)*

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

Sedangkan tekanan pada tumit cukup besar maka bagian badan dan tumit diperlukan *counterfort* yang berfungsi sebagai pengikat dan di tempatkan pada bagian-bagian interval tertentu, serta berfungsi mengurangi momen lentur dan gaya lintang yang besar di dalam menahan badan dinding. (Pratama,2010).



Gambar 2.6. *Counterfort Wall* (Sumber : Joseph E. Bowles)

2.5.2 Pemodelan Tanah Dalam Perhitunngan Metode Elemen Hingga

Program *plaxis* merupakan program yang didasarkan prinsip metode elemen hingga yang diperutungkan khusus untuk analisa deformasi dan stabilitas permasalahan-permasalahan geoteknik. Beberapa permasalahan geoteknik dapat dianalisis dengan mengunakan program

plaxis, seperti turap (*sheet pile*), *anchor*, pondasi, bendungan, timbungan terowongan, stabilitas lereng dan yang lainnya. Proses kalkulasinya dilakukan secara otomatis dan didasarkan pada prosedur numerik yang baku. Program *plaxis* di bagi menjadi empat program yang masing – masing program mempunyai fungsi yang berbeda–beda yaitu :

1. Plaxis input

Merupakan program *plaxis* yang dipergunakan untuk membuat suatu model dengan menggambarkan keadaan sebenarnya dari konstruksi yang ditinjau. Pemodelan geometris pada program plaxis dapat dibuat dengan penggambaran model dua dimensi.

2. ***Plaxis calculation***

Plaxis calculation program digunakan setelah proses *input* pada pekerjaan yang telah ditinjau telah selesai. Pilihan pekerjaan yang akan dikalkulasikan dapat dipanggil setelah *input* yang dilakukan disimpan terlebih dahulu.

3. ***Plaxis output***

Plaxis output program berisi semua fasilitas untuk melihat dan mengetahui hasil dari input data perhintungan elemen hingga. Jika *plaxis input* sudah selesai dan telah memilih titik yang akan ditinjau, maka dapat dilanjutkan dengan *plaxis output*.

4. ***Plaxis curve.***

Plaxis curve program dapat dipakai untuk menggambarkan kurva hubungan beban atau waktu terhadap *displacement*, diagram

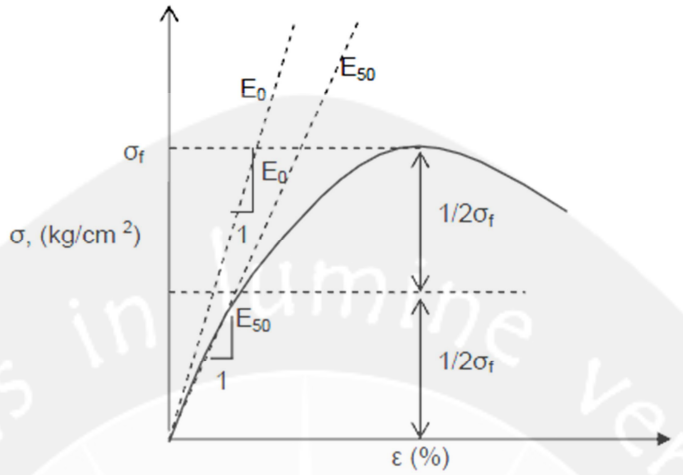
tegangan–regangan dari lokasi yang sebelumnya dipilih pada *calculation program*.

Pada program *plaxis* kondisi *retaining wall* dapat diidealisasikan sebagai kondisi " *Plane strain*". Bila suatu struktur panjang (relatif panjang dibanding dimensi lintang) dan beban bekerja sepanjang struktur tersebut dengan arah pada bidang X-Y (dan kedua ujung struktur tersebut praktis tidak bisa bergerak), maka kondisi ini disebut dengan " *plane strain*" (Suhendro 2000).

Adapun data yang akan dimasukan kedalam *program plaxis* dan rumus – rumus yang digunakan antara lain sebagai berikut ini.

1. **Modulus Elastisitas**

Plaxis menggunakan *modulus young* sebagai modulus kekasaran dasar pada model *elastic* dan model *Mohr-Coulumb*. Modulus kekakuan mempunyai satuan tegangan. Dalam mekanika tanah *slope* kemiringan awal biasanya ditunjukan sebagai E_0 dan *modulus scant* pada kekuatan 50% dinyatakan dalam E_{50} **(**lihat Gambar 2.7**)**



Gambar 2.7. Defenisi E_0 dan E_{50} (sumber : Manual PLAXIS)

E_0 diperoleh dengan nilai mangambil perbandingan hubungan tegangan regangan awal yang terjadi, sehingga E_{50} diperoleh dengan membagi dua perbandingan nilai tegangan maximum dengan nilai regangan yang terjadi saat ini. Pada tanah lempung yang sangat *over* konsolidasi dan berapa batuan cukup *realistic* untuk menggunakan E_0, sedangkan jenis tanah pasir dan tanah lempung yang dikonsolidasi normal, lebih sering menggunakan E_{50}.

Dalam mekanika bahan hubungan antara regangan–tegangan untuk bahan yang mempunyai sifat *isotropic* pada kondisi *linear-elastis* di nyatakan dalam persamaan :

$$\sigma = E.\varepsilon \quad \text{.....(2.14)}$$

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_{xy} \end{Bmatrix} = \frac{E}{(1+\upsilon)(1-2\upsilon)} \begin{bmatrix} (1-\upsilon) & \upsilon & 0 \\ \upsilon & (1-\upsilon) & 0 \\ 0 & 0 & (1-2\upsilon)/2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} \quad \text{.....(2.15)}$$

Dimana :

E = Modulus Elastisitas Bahan (kN/m^2)

υ = *Poisson's ratio,*

ε_h = Regangan arah lateral (%)

ε_v = Regangan arah vertikal (%)

σ_x = Tegangan normal pada bidang X, searah X

σ_y = Tegangan normal pada bidang Y, searah Y

σ_{xy} = Tegangan normal pada bidang X, searah Y

γ_{xy} = perubahan sudut antara line elemen akibat deformasi pada bidang XY.

2). *Poisson's ratio*

Poisson ratio pada material *elastis* dapat didefinisikan sebagai:

$$\upsilon = \frac{-\varepsilon_h}{-\varepsilon_v} \quad \text{.....(2.16)}$$

Angka *poisson's ratio* dalam analisis kondisi *undrained* untuk tanah diambil 0,3 - 0,5.

3). Parameter c dan φ

Parameter c (kohesi) adalah parameter kekuatan tanah yang mempunyai dimensi dan parameter φ adalah sudut gesek dalam tanah dengan satuan

derajat parameter ini didapatkan dengan melakukan pengujian geser langsung di laboratorium.

4). *Plane strain* dengan elemen segi tiga.

Fungsi *displacement* yang diambil adalah *polynimial bilinier* untuk u dan v sebagai berikut :

$u = a_1 + a_2 x + a_3 y$

$\upsilon = a_4 + a_5 x + a_6 y$

dengan penyesuaian terhadap kondisi batas *displacement* di titik–titik nodal, fungsi *displacement* $\begin{Bmatrix} u \\ \upsilon \end{Bmatrix}$ dapat ditulis sebagai fungsi *vector nodal displacement* $\{u^e\}$:

$$\begin{Bmatrix} u \\ \upsilon \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x & y & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & x & y \end{bmatrix} \frac{1}{2A} \begin{Bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ u_2 \\ v_2 \\ u_3 \\ v_3 \end{Bmatrix} \quad \text{.....(2.17)}$$

$$\begin{Bmatrix} u \\ \upsilon \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} N_1 & N_2 & N_3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & N_1 & N_2 & N_3 \end{bmatrix} \{u\} \quad \text{.....(2.18)}$$

Dimana :

N_1 = matrik *shape fungtion*

u = *vector nodal displacement*

Hubungan antara *strain–displacement* diberikan dalam persamaan:

$$\varepsilon = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} & 0 \\ 0 & \frac{\partial}{\partial y} \\ \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial x} \end{bmatrix} (N)\{U\} \quad \text{.....(2.19)}$$

$$\varepsilon = [D][N]\{u^e\} \quad \text{.....(2.20)}$$

$$\varepsilon = [B]\{u^e\} \quad \text{.....(2.21)}$$

Dimana :

D = matrik operator

B = matrik *stain–displacement*

Selanjutnya matrik kekakuan elemen segi tiga dapat ditulis :

$$\left[k_l^{\,e}\right] = \iiint_V [B]^T .[E][B]d \quad \text{.....(2.22)}$$

Matrik kekakuan semua elemen, setelah ditransformasikan ke koordinat global dapat disuperposisi menjadi matrik kekakuan struktur $[k]$, dan persamaan kesimbangan struktur dapat diformulasikan dalam persamaan:

$$[K]\{U\}=\{P\} \quad \text{.....(2.23)}$$

Dengan $\{U\}$ dan $\{P\}$ berturut–turut adalah *vector displacement* struktur dan vector beban struktur dalam koordinat global.