

BAB II KAJIAN PUSTAKA

2.1 Tanah

Tanah adalah campuran butiran-butiran mineral dengan atau tanpa kandungan bahan organik yang berasal dari pelapukan batuan yang mengendap, terdiri dari air, udara, dan butir-butir tanah yang padat, di mana bagian yang berisi dengan air dan udara disebut rongga atau pori. Sifat-sifat dasar tanah harus diperhatikan dalam perencanaan konstruksi karena sangat berpengaruh terhadap kekuatan konstruksi.

Tanah dibagi ke dalam beberapa jenis menurut batasan-batasan ukurannya. Pada **Tabel 2.1** terdapat batasan-batasan ukuran golongan jenis tanah yang telah dikembangkan oleh *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), *U.S. Departemenent of Agriculture* (USDA), *American Association of State Highway and Transportation* (AASHTO), *Unified Soil Classification System* (USCS).

Tabel 2.1 Batasan-batasan ukuran golongan tanah

Nama Golongan	Ukuran butiran (mm)			
	Kerikil	Pasir	Lanau	Lempung
<i>Massachusetts Institute of Technology</i> (MIT)	>2	2 - 0,06	0,06 - 0,002	< 0,002
<i>U.S. Departemenent of Agriculture</i> (USDA)	>2	2 - 0,05	0,05 - 0,002	< 0,002
<i>American Association of State Highway and Transportation</i> (AASHTO)	76,2 - 2	2 - 0,075	0,75 - 0,002	< 0,002
<i>Unified Soil Classification System</i> (USCS)	76,2 - 4,75	4,75 - 0,075	Halus (yaitu lanau dan lempung) <0,0075	

(Sumber : Das Braja M, 1985)

2.1.1 Pasir

Pasir (*sand*) adalah sebagian besar terdiri dari mineral *quartz* dan *feldspar*. Butiran dari mineral yang lain mungkin juga masih ada pada golongan ini (Braja M. Das, 1985) Parameter yang didapat dari tanah pasir yaitu sudut geser tanah.

Pada **Tabel 2.1** didefinisikan pasir memiliki ukuran butiran yang dikategorikan cukup besar, menurut MIT ukuran butiran pasir sebesar $2 - 0,06$ mm. Pasir memiliki sifat permeabilitas yang tinggi karena memiliki pori-pori yang besar antar butirannya.

2.1.2 Lanau

Sebagian besar merupakan fraksi mikroskopis (berukuran sangat kecil) dari tanah yang terdiri dari butiran-butiran *quartz* yang sangat halus, dan sejumlah partikel berbentuk lempengan-lempengan pipih yang merupakan pecahan dari mineral-mineral mika (Braja M. Das, 1985). Menurut MIT ukuran butiran lanau sebesar $0,06-0,002$ mm seperti di definisikan pada **Tabel 2.1**.

2.1.3 Lempung

Sebagian besar terdiri dari partikel mikroskopis dan sub mikroskopis (tidak dapat dilihat dengan jelas bila hanya dengan mikroskopis biasa) yang berbentuk lempengan-lempengan pipih dan merupakan partikel-partikel dari mika, mineral-mineral lempung (*clay materials*), dan mineral-mineral yang sangat halus lainnya (Braja M. Das, 1985). Lempung merupakan jenis tanah berukuran kecil seperti yang didefinisikan pada **Tabel 2.1** berukuran $<0,002$ mm. Berbeda dengan pasir, lempung memiliki sifat permeabilitas yang rendah. Parameter yang didapat dari tanah lempung adalah kohesi (c).

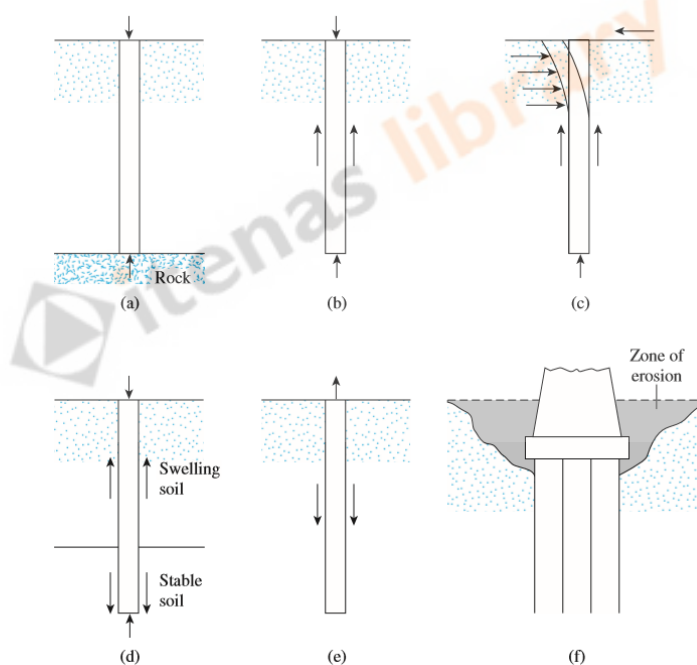
2.2 Fondasi

Fondasi adalah bagian dari bangunan struktur yang berfungsi sebagai penyaluran beban dari bagian atas struktur menuju lapisan tanah keras. Berdasarkan letak tanah kerasnya fondasi dibagi menjadi 2 yaitu, fondasi dangkal (*shallow Foundation*) dan fondasi dalam (*deep Foundation*). Untuk fondasi dalam terdapat beberapa macam salah satunya adalah tiang pancang. Fondasi tiang mengandalkan kekuatan daya dukung dari ujung tiang dan gaya geser tiang.

Baja, beton, atau kayu adalah material yang digunakan untuk membangun fondasi tiang. Fondasi tiang biasanya memiliki harga yang lebih mahal dibanding fondasi dangkal. Meskipun harganya mahal, penggunaan fondasi tiang sering kali

diperlukan untuk beberapa kondisi. Berikut beberapa kondisi yang memerlukan fondasi tiang (Vesic, 1977):

- Ketika satu atau lebih lapisan tanah atas sangat *compressible* dan terlalu lemah untuk mendukung beban yang ditransmisikan oleh struktur atas.
- Ketika tanah dasar tidak ditemukan pada kedalaman yang wajar di bawah permukaan tanah
- Ketika mengalami gaya horizontal
- Terdapat tanah ekspansif di bawah struktur
- Untuk beberapa struktur, seperti menara transmisi, bangunan lepas pantai, dan bangunan lainnya
- Jembatan penyangga dan dermaga biasanya dibangun di atas fondasi tiang

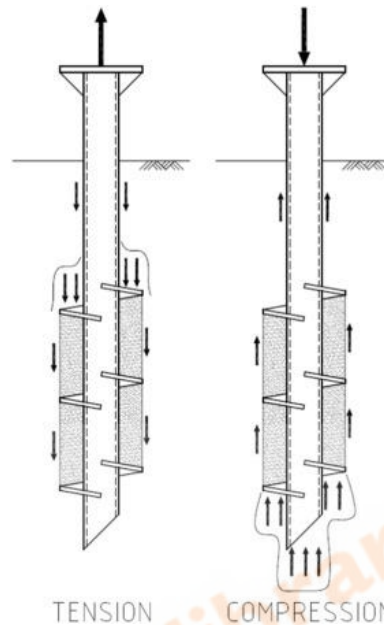


Gambar 2.1 Kondisi yang membutuhkan fondasi tiang (Das, Braja M., 1985)

2.3 Fondasi Tiang Ulir (*Helical pile*)

Fondasi tiang berulir (*helical pile*) adalah fondasi tiang yang biasanya berbahan baja yang memiliki beberapa ulir (*helix*) di ujung atau beberapa bagian dalam satu tiang. *Helix* tersebut berfungsi untuk menambah daya dukung fondasi tiang. *Helical pile* sering digunakan sebagai *anchors* untuk menahan beban tarik dalam bangunan *tower* atau pun bangunan pendukung lainnya. Dalam beberapa

dekade terakhir, *Helical pile* ini telah banyak digunakan dalam proyek konstruksi untuk menahan beban tekan, tarik, dan lateral.



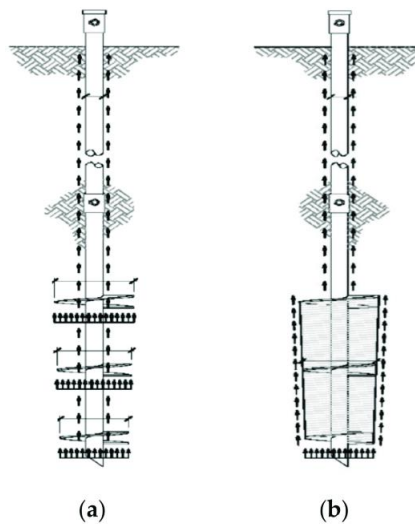
Gambar 2.2 Fondasi tiang ulir (*Helical pile*) (Mohajerani, Abbas 2015)

Helical pile memiliki beberapa keunggulan, antara lain :

- a) Tidak menimbulkan getaran pada saat pemasangan
- b) Dapat dibangun tanpa perlu menggali tanah
- c) Dapat dibangun tanpa menggunakan beton
- d) Pekerjaan cepat dan juga lebih bersih
- e) Tidak merusak lingkungan.

2.4 Kapasitas Daya Dukung Fondasi *Helical pile*

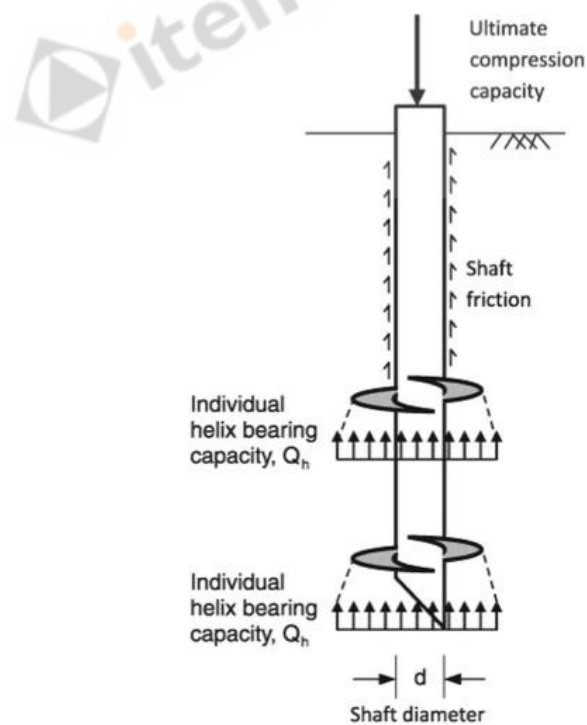
Kapasitas daya dukung yang harus diperhitungkan adalah daya dukung ujung ($Q_{bearing}$), daya dukung *helix* (Q_{helix}), dan daya dukung lekatan tiang (Q_{shaft}). Metode untuk menghitung daya dukung fondasi *helical pile* seperti ditunjukkan pada **Gambar 2.3** adalah metode *Individual Bearing* dan metode *cylindrical shear*.



Gambar 2.3 (a) *Individual Bearing Method* (b) *Cylindrical Shear Method* (Kim, 2018)

2.4.1 *Individual Bearing Method*

Trofimenkov dan Maruipolshii (1965) pertama kali memperkenalkan metode *Individual Bearing* dengan mekanisme keruntuhan setiap *helix* bekerja sendiri-sendiri dan kapasitas daya dukung di dapat dari tahanan setiap *helix* dan lekatan antara tiang dan tanah seperti terlihat pada **Gambar 2.4**.



Gambar 2.4 *Individual Bearing Method* (Sakr, 2009)

1) Daya dukung tarik

$$Q_t = \sum Q_{bearing} + Q_{shaft} \dots\dots\dots 2.1$$

Halmana :

Q_t = Kapasitas daya dukung tarik (kN),

$Q_{bearing}$ = Kapasitas daya dukung ujung (*bearing*) (kN),

Q_{shaft} = Kapasitas daya dukung lekatan (*Friction*) (kN).

2) Daya dukung tekan

$$P_u = \sum Q_{bearing} + Q_{shaft} \dots\dots\dots 2.2$$

$$Q_{bearing} = q_{ult} A_n$$

$$Q_{shaft} = \alpha H (\pi d)$$

Halmana :

q_{ult} = *ultimate bearing pressure* ,

A_n = Luas *helix* (m^2),

α = Adhesi pada *Shaft* (kN/m^2),

H = Panjang *helical pile* diatas *helix* (m),

d = diameter *Shaft* (m).

Ultimate bearing pressure dapat dihitung dengan persamaan 2.3 yang dikemukakan oleh Terzaghi (1943):

$$q_{ult} = cN_c s_c d_c + q' N_q s_q d_q + 0,5 \gamma B N_\gamma s_\gamma d_\gamma \dots\dots\dots 2.3$$

Halmana :

c	= Kohesi (kN/m^2),
q'	= Tekanan <i>overbudden</i> efektif (kN/m^2),
γ	= Berat jenis tanah (kN/m^3),
B	= Lebar (m),
N_c, N_q, N_γ	= Faktor kapasitas daya dukung,
s_c, s_q, s_γ	= Faktor bentuk,
d_c, d_q, d_γ	= Faktor kedalaman.

Untuk menghitung faktor bentuk dapat dihitung menggunakan persamaan 2.4 sampai dengan persamaan 2.6.

$$s_c = 1 + \frac{N_q B}{N_c L} \dots\dots\dots 2.4$$

$$s_q = 1 + \frac{B}{L} \tan \phi \dots\dots\dots 2.5$$

$$s_\gamma = 1 + 0,4 \frac{B}{L} \dots\dots\dots 2.6$$

Untuk menghitung faktor kedalaman dapat dihitung menggunakan persamaan 2.7 sampai dengan persamaan 2.10.

$$d_c = 1 + 0,4K \dots\dots\dots 2.7$$

$$d_q = 1 + 2K \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 \dots\dots\dots 2.8$$

$$d_\gamma = 1 \dots\dots\dots 2.9$$

$$K = \tan^{-1} \left(\frac{H}{B} \right) \dots\dots\dots 2.10$$

Halmana :

L = Panjang fondasi (m),

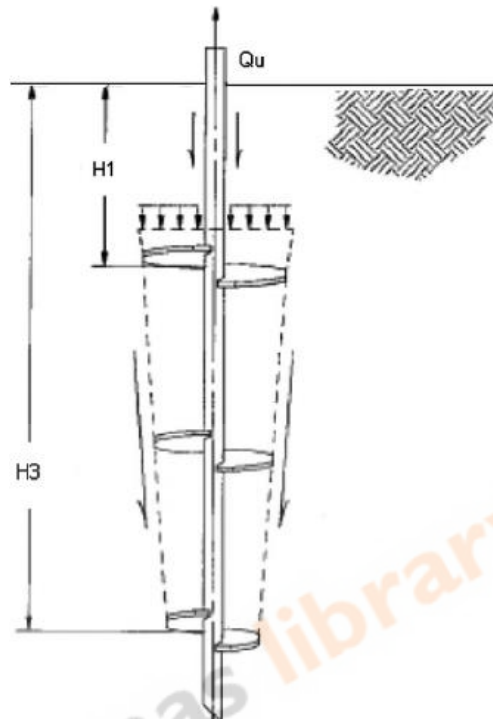
K = Skala parameter,

ϕ = Sudut geser dalam tanah ($^\circ$).

2.4.2 *Cylindrical shear*

Mitch dan Clemence (1985) memperkenalkan metode *Cylindrical Shear* untuk *helical pile* pada tanah pasir sedangkan untuk tanah lempung dan lanau oleh Mooney (1985). Metode ini merupakan gabungan antara *bearing* di permukaan

helix dan gaya gesek sepanjang silinder tanah antar pelat *helix*. Seperti ditunjukkan pada **Gambar 2.5**.



Gambar 2.5 Cylindrical Shear Method
(Sumber : Buhler,2010)

1) Daya Dukung Tarik

Kapasitas daya dukung tarik pada lempung :

a. Kapasitas daya dukung tarik

$$Q_t = Q_{helix} + Q_{bearing} + Q_{shaft} \dots\dots\dots 2.11$$

Halmana :

Q_t = Kapasitas daya dukung tarik (kN),

Q_{helix} = Kapasitas daya dukung *helix* (kN),

$Q_{bearing}$ = Kapasitas daya dukung ujung (*bearing*) (kN),

Q_{shaft} = Kapasitas daya dukung lekatan (*Friction*) (kN).

b. Kapasitas daya dukung *helix*

$$Q_{helix} = S_f \times (\pi \times D \times L_c) \times c_u \dots\dots\dots 2.12$$

Halmana :

S_f = Faktor rasio jarak antar *helix*,

D = Diameter *helix* (m),

L_c = Jarak antar *helix* (m),

c_u = Kuat geser *undrained* tanah lempung (kPa).

Syarat untuk faktor rasio antar *helix*, yaitu:

$$\frac{s}{D} < 1,5 \quad \rightarrow S_f = 1,00$$

$$1,5 \leq \frac{s}{D} < 3,5 \quad \rightarrow S_f = 0,683 + 0,069 \times \left(3,5 - \frac{s}{D}\right)$$

$$3,5 \leq \frac{s}{D} < 4,6 \quad \rightarrow S_f = 0,700 + 0,148 \times \left(4,6 - \frac{s}{D}\right)$$

c. Kapasitas daya dukung ujung (*bearing*)

$$Q_{bearing} = A_h \times (c_u \times N_u + \gamma' \times H) \dots\dots\dots 2.13$$

Halmana :

A_h = Luas penampang *helix* (m²),

γ' = Berat isi efektif (kN/m³),

N_u = Faktor kapasitas tahanan ujung tarik untuk tanah lempung

$N_u = 1,2 \frac{H_1}{D} \leq 9$ (Mayerhoff, 1976), dengan H_1 = kedalaman *helix* paling atas (m),

c_u = Kuat geser *undrained* tanah lempung (kPa),

H = Kedalaman *helical pile* (m).

d. Kapasitas daya dukung selimut tiang (*Friction*)

$$Q_{shaft} = \pi \times d \times H_{eff} \times \alpha \times c_u \dots\dots\dots 2.14$$

Halmana :

d = Diameter tiang *helical pile*,

H_{eff} = Panjang efektif tiang di bawah *helix* atas,

α = Faktor kapasitas tahanan ujung untuk lempung,

c_u = Kuat geser *undrained* tanah lempung (*kPa*).

2) Daya Dukung Tekan

$$Q_t = Q_{helix} + Q_{bearing} + Q_{shaft} \dots\dots\dots 2.15$$

Untuk tanah kohesif (lempung) (Mooney dan Narasimha, 1991) :

$$Q_{helix} = S_f \times (\pi \times D \times L_c) \times c_u \dots\dots\dots 2.16$$

$$Q_{bearing} = A_h \times c_u \times N_c \dots\dots\dots 2.17$$

$$Q_{shaft} = \pi \times D \times H_{eff} \times \alpha \times c_u \dots\dots\dots 2.18$$

Untuk tanah non-kohesif (Mitsch dan Clemence, 1985) :

$$Q_{helix} = \frac{1}{2} \times \pi \times D_a \times \gamma' \times (H_3^2 - H_1^2) \times K_s \times \tan \phi \dots\dots\dots 2.19$$

$$Q_{bearing} = \gamma' \times H \times A_H \times N_q \dots\dots\dots 2.20$$

$$Q_{shaft} = \frac{1}{2} \times P_s \times H_{eff}^2 \times \gamma' \times K_s \times \tan \phi \dots\dots\dots 2.21$$

Nilai K_s tergantung sudut geser (ϕ) :

$$K_s = 2(1 - \sin \phi) \dots\dots\dots 2.22$$

Halmana :

S_f = Faktor spasi *helix*

D_a = Rata-rata diameter *helix* (*m*)

D = Diameter *helix* (*m*)

L_c = Jarak antara top *helix* (*m*)

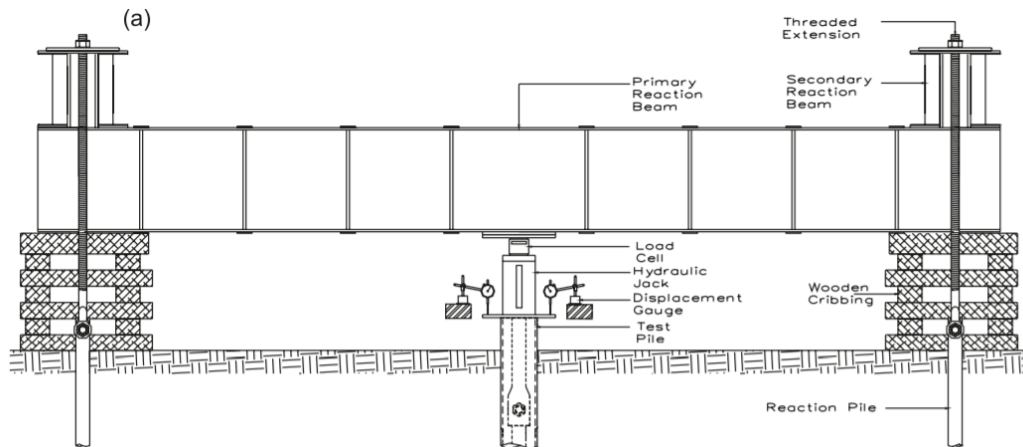
c_u = Kohesi (*undrained*) (*kPa*)

A_h	= Luas are <i>helix</i> bagian bawah ($\pi \times (D_H^2 - d^2)/4$) (m^2)
H_{eff}	= Panjang efektif <i>pile</i> (m)
α	= Faktor <i>adhesi</i>
γ'	= Berat jenis tanah efektif (kN/m^3)
K_s	= Koefisien lateral
ϕ	= Sudut geser tanah ($^\circ$)
H	= Kedalaman <i>embedment pile</i> (m)
H_1	= Kedalaman <i>top helix</i> (m)
H_3	= Kedalaman <i>bottom helix</i> (m)
P_s	= Keliling dari <i>Shaft pile</i> (m)

2.5 Loading test

Pengujian terhadap tiang fondasi *helical pile* perlu dilakukan agar mengetahui dengan pasti daya dukung dari fondasi *helical pile*. Terdapat beberapa jenis pengujian tiang fondasi, salah satunya adalah dengan cara *Pile Loading test*. *Loading test* atau uji pembebanan biasa digunakan untuk memastikan asumsi yang telah diperhitungkan sebelumnya pada saat perancangan dengan cara menambahkan beban pada tiang yang di uji. Terdapat dua cara pengujian yaitu uji pembebanan statik (bertahap) dan uji pembebanan dinamik (berulang).

Uji pembebanan statik (bertahap) yaitu pengujian yang dilakukan sesuai ASTM D1143-81 yang pembebanannya dilakukan secara langsung guna mengetahui daya dukung *ultimate* fondasi dimana daya dukung dilihat pada saat kondisi deformasi *ultimate* atau paling kritis yaitu nilai deformasi sebesar 0,025 m atau 1 inch. Uji pembebanan dinamik (berulang) dilakukan dengan cara memberikan beban *impact* (tumbuk) guna mengetahui daya dukung *ultimate* fondasi. Pada penelitian ini jenis pengujian yang dilakukan adalah uji pembebanan statik. Uji pembebanan statik (bertahap) yang dilakukan pada penelitian ini hanya menggunakan sistem *reaction piles* seperti terlihat pada **Gambar 2.6**.



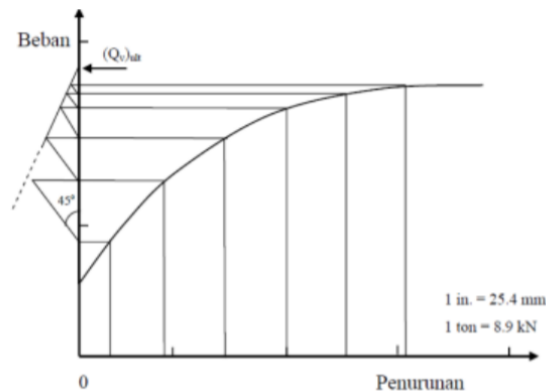
Gambar 2.6 Pembebanan Sistem *Reaction Piles*
(Sumber : Livneh, 2008)

Sistem *reaction piles* memiliki beberapa metode dimana setiap metode memiliki kriteria uji yang berbeda-beda, menurut Shaarawi (2003) dalam jurnal *Studi Analisis Perilaku Daya Dukung Fondasi Tiang Bor Dengan Menggunakan Uji Beban Statik dan Model Tanah Mohr Coulomb Pada Proyek Paragon Square Tangerang, Banten* (2017) menginterpretasikan pengujian menggunakan sistem *reaction piles* dalam uji pembebanan statik terdapat beberapa metode yaitu Metode Mazurkiewicz dan Metode Davisson.

2.5.1 Metode Mazurkiewicz (1972)

Metode ini diasumsikan bahwa dengan kapasitas tahanan terbesar (*ultimate*) akan didapatkan dari beban yang berpotongan, diantaranya beban yang searah sumbu tiang untuk dihubungkan beban dengan titik-titik dari posisi garis terhadap sudut 45° pada beban sumbu yang berbatasan dengan beban (Prakash dan Sharma, 1990).

Metode ini mengasumsikan bahwa kurva beban – penurunan berupa *parabolic*. Nilai beban keruntuhan yang didapat dari metode ini seharusnya mendekati 80% dari kenyataan. Hal ini dapat diperlihatkan Gambar di bawah ini.

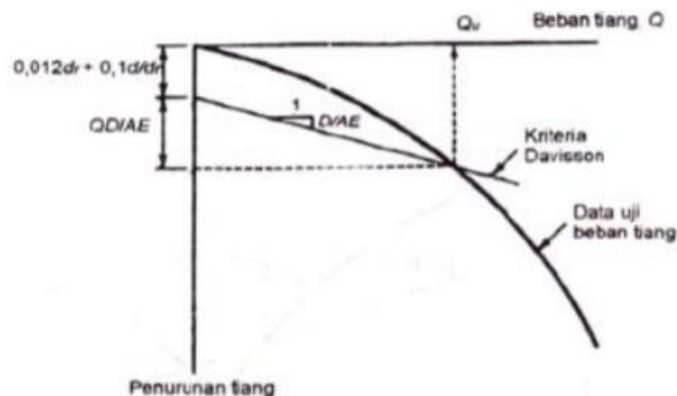


Gambar 2.7 Grafik Hubungan Beban Dengan Penurunan Metode *Mazurkiewicz*
(Sumber : Hardiyatmo, 2010)

2.5.2 Metode Davisson (1973)

Jika Kurva beban penurunan telah diperoleh dari uji beban tiang, dengan metode Davisson dapat diestimasi besarnya beban *ultimate* tiang. Pada jenis tanah lempung lunak, beban yang menyebabkan keruntuhan tiang terjadi pada beban yang konstan dengan penurunan yang berlebihan. Akan tetapi, bila tiang pada pasir tanah, tanah campuran atau lempung kaku, penentuan titik keruntuhan tiang pada kurva beban – penurunan menjadi agak sulit (Hardiyatmo, 2010).

Penentuan Q_u dengan metode Davisson dapat dilihat pada Gambar di bawah ini.



Gambar 2.8 Penentuan Q_u Dengan Metode Davisson (Sumber : Hardiyatmo, 2010)

Davisson (1973) mengusulkan cara yang telah banyak dipakai saat ini. Cara ini didefinisikan kapasitas dukung *ultimate* tiang pada penurunan tiang sebesar

$$Q_{ult} = 0,012d_r + 0,1 \frac{d}{d_r} + \frac{QD}{AE}$$

Halmana :

d = Diameter

d_r = 1 ft = 300 mm

Q = Beban Yang Bekerja Pada Tiang

D = Kedalaman Tiang (mm)

A = Luas Penampang Tiang (mm^2)

E = Modulus Elastis Tiang (Mpa)

2.6 Material Model Tanah

Perilaku mekanis tanah dan batuan dapat dimodelkan pada berbagai model, untuk tugas akhir ini material model tanah yang digunakan adalah *mohr coloumb*. *Mohr coloumb* yaitu keruntuhan sebagai akibat dari kombinasi kritis antara tegangan normal dan geser dan bukan hanya akibat tegangan normal maksimum dan tegangan geser maksimum saja. Sehingga pada bidang keruntuhan dapat dinyatakan bahwa :

$$\tau = C + \mu \sigma \dots\dots\dots 2.23$$

Halmana :

τ = tegangan geser

C = kohesi

σ = tegangan normal

μ = koefisien geser dalam batuan = $\tan \phi$

2.7 Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga atau biasa disebut *Finite Element Method* (FEM) adalah prosedur numeris yang dapat dipakai untuk menyelesaikan masalah-masalah dalam bidang rekayasa (*engineering*), seperti analisa tegangan pada struktur, perpindahan panas, *elektromagnetis*, dan aliran fluida (*Moaveni*). Konsep dasar dari metode elemen hingga ini adalah gaya dari luar yang diberikan diserap oleh sistem dan akan menimbulkan gaya dalam dan perpindahan. Terdapat persamaan matriks untuk mendefinisikan sistem tersebut sebagai berikut :

$$[K]\{D\} = \{R\} \dots\dots\dots 2.24$$

Halmana :

$\{R\}$ = Matriks Gaya Global

$\{D\}$ = Matriks Perpindahan Global

$[K]$ = Matriks Kekakuan Global

Penyelesaian untuk metode elemen hingga dibutuhkan *software*, salah satu *software* yang digunakan adalah PLAXIS 3D. PLAXIS 3D dimensi adalah program elemen hingga tiga dimensi tujuan khusus yang digunakan untuk melakukan analisis deformasi dan stabilitas untuk berbagai jenis penerapan geoteknik. *Software* ini menghasilkan persamaan dari masalah yang dianalisis dengan pendekatan dari nilai yang tidak diketahui pada titik tertentu dalam sistem perhitungan yang *continue*.

2.8 Penelitian Terkait

Penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penelitian ini menjadi acuan penulis dalam memperkaya kajian pustaka dalam tugas akhir ini. Dari penelitian terdahulu, peneliti menemukan beberapa penelitian yang mengangkat topik yang sama. Namun dalam pemodelan dan cara mendapatkan data berbeda-beda. Ada yang menggunakan metode analitis, pemodelan dua dimensi, maupun dengan uji skala lab. Berikut diuraikan hasil penelitian terdahulu berupa jurnal yang berkaitan dengan penelitian ini.

2.8.1 Analisis Daya Dukung *Helical pile* Menggunakan Metode Elemen Hingga

Penelitian yang dilakukan oleh Aprin Aryanata tahun 2015 dengan judul “Analisis Daya Dukung *Helical pile* Menggunakan Metode Elemen Hingga”. Penelitian dalam menentukan kapasitas daya dukung *ultimate* pada fondasi *helical pile* dengan cara membandingkan antara metode analitis (metode *Cylindrical Shear* dan metode *individual bearing*) dengan metode elemen hingga (PLAXIS 2D) baik pada tanah lempung maupun tanah pasir. Hasil yang didapatkan dari penelitian kapasitas daya dukung *ultimate* fondasi *helical* ini yaitu metode *Cylindrical Shear* mempunyai prediksi yang cukup mendekati metode elemen hingga. Ini dinyatakan dengan selisih rata-rata persentasinya yang mendekati nilai nol% yaitu 4,371%.

2.8.2 Pengaruh Jumlah dan Diameter *Helix* terhadap Daya Dukung Fondasi *Helical pile*

Penelitian ini dilakukan oleh Sena Bayu untuk menyelesaikan program studi S1 pada tahun 2018. Fondasi *helical pile* adalah fondasi tiang baja yang memiliki *helix* untuk menambah daya dukung yang dihasilkan. Ada beberapa hal yang dapat dilakukan untuk menentukan kapasitas daya dukung fondasi *helical pile* seperti, membandingkan metode analitis yang terdiri dari metode *Cylindrical Shear* dan metode *Individual Bearing* dengan metode elemen hingga (PLAXIS 2D). Banyak

variasi yang dilakukan untuk meningkatkan daya dukung fondasi *helical pile*, variasi yang dilakukan untuk mengetahui kapasitas daya dukung fondasi ini seperti menambah jumlah *helix* dan memvariasikan diameter *helix* pada *helical pile*. Hasil perhitungan kapasitas daya dukung akibat bertambahnya jumlah *helix* menunjukkan penambahan sebesar 9,38% pada tanah lempung dan 5,58% pada tanah pasir dan adanya penambahan ukuran diameter tengah sebesar 50% menambah daya dukung 19,66% pada tanah lempung dan 10,83% pada tanah pasir.

2.8.3 Analisis Daya Dukung Tarik Pada Fondasi *Helical pile*

Penelitian ini menganalisis fondasi *helical pile* satu tiang untuk mengetahui daya dukung tarik dengan menerapkan beberapa kondisi yang berbeda dengan menggunakan metode elemen hingga dimodelkan secara 2D. Penambahan jumlah *helix* pada tanah lempung menambah daya dukung tarik sebesar 17,77% sedangkan pada tanah pasir sebesar 10,76%.

2.8.4 *Axial testing and numerical modeling of square Shaft helical piles under compressive and tensile loading*

Penelitian tersebut dilakukan oleh Ben Livneh dan M. Hesham El Naggar di The University of Western Ontario, London, Canada. Penelitian ini membahas tentang kapasitas daya dukung tekan dan tarik pada *helical pile* dengan pengujian di lapangan menggunakan sistem *reaction pile* dan pemodelan numerik menggunakan Plaxis 3D *Foundation*. Hasil perhitungan kapasitas daya dukung tekan dan tarik menunjukkan perkiraan kapasitas tiang menggunakan metode ini terbukti akurat dalam 12 % dari nilai yang diukur dalam semua kasus.

2.8.5 Evaluasi Kapasitas Daya Dukung Tekan Fondasi *Helical pile* Dengan Pendekatan Analisis Numerik Plaxis 3D

Penelitian yang dilakukan oleh Adiyuna Nugraha tahun 2019 menganalisis pengaruh jumlah *helix*, jarak antar *helix* pada fondasi *single helical pile* dan fondasi *helical pile group*. Dari penelitian yang didapat kenaikan paling optimum terjadi pada *single helical pile* dengan 3 *helix* untuk tanah lempung, yaitu sebesar 20,70%

sedangkan tanah pasir mengalami kenaikan paling optimum pada *single helical pile* dengan 4 *helix*, yaitu sebesar 16,00%.

2.8.6 Analisa Kekuatan Daya Dukung Fondasi Tiang Berulir Dengan Jumlah dan Jarak Pemasangan Pelat Ulir Bervariasi Sebagai Metode Peningkatan Daya Dukung Fondasi Tiang Pada Lapisan Tanah Gambut

Penelitian ini menganalisis kekuatan daya dukung fondasi *helical pile* dengan variasi jumlah *helix* dan jarak antar *helix* pada lapisan tanah gambut. Penelitian ini dilakukan oleh Ferry Fatnanta, Syawal Satibi, dan Muhandi. Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah pemberian pelat ulir dapat meningkatkan daya dukung tiang mencapai 2,90 – 5,65 kali lebih besar dibandingkan tanpa pelat ulir.

2.8.7 Peningkatan Nilai Daya Dukung Fondasi Tiang Baja Ulir Pada Tanah Pasir

Penelitian ini memodifikasi dari fondasi tiang biasa dengan menambahkan pelat ulir di sekeliling tiang. Dengan membesarnya diameter ulir besarnya beban yang menyebabkan keruntuhan semakin tinggi yang akan menyebabkan besarnya beban *ultimate* pada tiang semakin membesar. Pengaruh ulir terlihat besar pengaruhnya terhadap beban *ultimate* terjadi yaitu pada diameter ulir 8 cm dan 10 cm, di mana nilai beban *ultimate* nya hampir 2 kali lebih besar.

2.8.8 Studi Perbandingan Perhitungan Daya Dukung Aksial Fondasi Tiang Bor Menggunakan Uji Beban Statik dan Metode Dinamik

Penelitian ini dilakukan oleh Niken Simi Surjandari (2018), fondasi tiang bor di uji menggunakan uji beban statik dan dinamik di mana hasil akhir nya akan dibandingkan. Dari penelitian ini di dapat Qult metode tangen sebesar 220ton, metode Fuller and Hor sebesar 225ton, metode chin sebesar 417ton, metode mazukiewicz sebesar 420ton dan PDA sebesar 550ton. Maka kesimpulan yang dapat di ambil adalah uji PDA paling mendekati metode interpretasi mazurkiewicz.

2.8.9 Studi Analisis Perilaku Daya Dukung Fondasi Tiang Bor Dengan Menggunakan Uji Beban Statik dan Model Tanah *Mohr Coulomb* Pada Proyek *Paragon Square* Tangerang, Banten

Analisis yang dilakukan pada Proyek *Paragon Square* ini yaitu untuk membandingkan besarnya daya dukung dan penurunan (*settlement*) yang terjadi pada fondasi tiang bor dengan menggunakan beberapa metode empirik dan juga dengan menggunakan metode elemen hingga. Penelitian yang dilakukan oleh Nurmaidah (2017) mendapat kesimpulan daya dukung *ultimate* dari titik SPT1 pada *bored pile* sepanjang 22 meter diperoleh sebesar 617,09 ton dan pada titik SPT2 sebesar 637,10 ton. Serta berdasarkan hasil daya dukung *Loading test* nilai daya dukung *ultimate* untuk 3 metode diantaranya yang menggunakan metode Davisson (685 Ton), metode Mazurkiewicz (718 Ton) dan metode Chin (833 Ton).

2.8.10 Analisis Perbandingan Daya Dukung Hasil *Loading test* Pada *Bore Pile* Diameter Satu Meter Tunggal Dengan Metode Elemen Hingga Memakai Model Tanah *Mohr Coulomb* Pada Proyek *Crystal Square* Medan

Penelitian ini dilakukan oleh Suhairiani, Roesyanto, dan Rudi Iskandar (2017) membandingkan daya dukung pada *bore pile* diameter satu meter tunggal antara *Loading test* dan metode elemen hingga dengan memakai model tanah *mohr coulomb*. Hasil dari penelitian ini adalah daya dukung dari *output* pemodelan elemen hingga sebesar 630 ton sedangkan hasil dari *Loading test* sebesar 791,5 ton.