

# Analisis Model Fisik dan Model Numerik pada Daya Dukung Fondasi Lingkaran di Atas Tanah Lunak

**DEVY DHEA WULANDARI, INDRA NOER HAMDHAN**

Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional, Bandung  
e-mail: devydheaw12@gmail.com

## **ABSTRAK**

*Pada umumnya fondasi dangkal tidak cocok untuk tanah kompresif seperti tanah lunak karena daya dukungnya yang rendah. Oleh karena itu diperlukan adanya perkuatan untuk meningkatkan daya dukung tanah dan meminimalisasi terjadinya penurunan. Analisis daya dukung pada fondasi dangkal dengan tipe lingkaran ini dilakukan dengan menambah lapisan perkuatan di atas tanah lunak berupa lapisan granular dan geogrid. Pada kedua jenis perkuatan tersebut dilakukan variasi ketebalan lapisan granular dan posisi kedalaman geogrid. Analisis dilakukan dengan metode numerik berbasis elemen hingga dan metode analitik yang selanjutnya dibandingkan dengan hasil uji fisik laboratorium yang telah dilakukan oleh Demir, A (2009). Semakin tinggi ketebalan lapisan granular dan geogrid maka daya dukung yang dihasilkan akan semakin besar. Daya dukung maximum berada pada tanah lunak yang diberi perkuatan lapisan granular 1,5D dan geogrid 0,25D.*

**Kata kunci:** *fondasi dangkal, tanah lunak, lapisan granular, geogrid, daya dukung, penurunan, metode elemen hingga*

## **ABSTRACT**

*Shallow foundation generally not compatible on compressive soil like soft soil because of its poor bearing capacity therefore, soil improvement is required to increase its bearing capacity and to decrease its settlement. In this circle type of shallow foundation, the bearing capacity analysed by adding reinforcement layer such as granular and geogrid above soft soil. On both reinforcements, variation of thickness granular layer and depth position of geogrid are applied. This study was analysed by numerical method with finite element based on analytical method, then the result from both methods compared to physical test result on laboratory which was done by Demir, A (2009). The more thick granular layer and geogrid applied on soft soil, the higher its bearing capacity. The maximum of bearing capacity was on soft soil that 1,50D granular layer and 0,25D geogrid applied.*

**Keywords:** *shallow foundation, soft soil, granular layer, geogrid, bearing capacity, settlement, finite element method*

## 1. PENDAHULUAN

Meningkatnya pertumbuhan penduduk serta pelaksanaan konstruksi yang semakin pesat dilakukan mengakibatkan pemilihan lokasi di atas tanah lunak tetap dilakukan. Tanah lunak merupakan tanah yang memiliki kapasitas daya dukung yang rendah. Sehingga apabila dilakukan kegiatan konstruksi di atasnya akan menimbulkan permasalahan.

Fondasi terdapat pada bagian dasar struktur bangunan (*sub structure*) yang berfungsi untuk meneruskan beban dari bagian atas struktur bangunan (*upper structure*) sampai dengan lapisan tanah dibawahnya. Pada umumnya fondasi dangkal tidak cocok pada tanah kompresif seperti tanah lunak karena daya dukungnya yang rendah. Maksud dan tujuan penelitian ini adalah melakukan analisis daya dukung fondasi lingkaran di atas tanah lunak tanpa adanya perkuatan dan dengan adanya perkuatan lapis pasir granular dan geogrid menggunakan metode numerik dan metode analitik.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Tanah lunak

Tanah lunak memiliki daya dukung yang rendah dan deformabilitas yang tinggi sehingga akan sulit dalam melakukan kegiatan konstruksi di atasnya. Oleh karena itu dibutuhkan perkuatan pada tanah untuk meningkatkan daya dukung tanah tersebut.

### 2.2 Perkuatan pada tanah

Pada penelitian ini dilakukan dua jenis perkuatan pada tanah yaitu perkuatan dengan menggunakan lapisan pasir (granular) dan perkuatan dengan menggunakan geogrid. Lapisan pasir (granular) merupakan salah satu jenis dari tanah berbutir kasar yang tidak memiliki komponen kohesi, sehingga kuat gesernya bergantung dari gesekan antar butiran granular Ahandi, S., (2015). Sedangkan geogrid merupakan salah satu media untuk meningkatkan perkuatan pada tanah.

Geogrid terdiri dari beberapa jenis sesuai dengan bentuk bukaan dan fungsi masing-masing, diantaranya adalah:

- a. Geogrid *Uniaxial*, memiliki bentuk bukaan tunggal dalam satu segmen. Berfungsi sebagai material perkuatan pada sistem konstruksi dinding penahan tanah dan perkuatan lereng.
- b. Geogrid *Biaxial*, memiliki bentuk bukaan persegi. Berfungsi sebagai stabilisasi tanah dasar pada tanah lunak dengan metode kerja *interlocking*.
- c. Geogrid *Triaxial*, memiliki bentuk bukaan segitiga. Geogrid ini memiliki fungsi yang hampir sama dengan geogrid *biaxial* hanya saja metode kerjanya lebih baik. Hal ini dikarenakan bentuk bukaan segitiga sehingga penyebaran beban dapat dilakukan secara merata.

### 2.3 Daya dukung

Daya dukung merupakan suatu kemampuan tanah untuk menahan tekanan atau beban dari suatu bangunan dengan aman tanpa menimbulkan terjadinya keruntuhan geser dan penurunan yang tidak diizinkan.

#### 2.3.1 Keruntuhan geser

Menurut Das, B. M., (1990) pada umumnya keruntuhan geser terbagi menjadi tiga tipe, diantaranya adalah:

- a. Keruntuhan geser umum (*general shear failure*), terjadi pada tanah dengan kompresibilitas yang rendah. Keruntuhan ini terjadi pada saat kondisi muka tanah di sekitarnya mengembang atau naik. Biasanya keruntuhan ini terjadi di satu sisi saja sehingga

mengakibatkan fondasi menjadi miring. Untuk perhitungan daya dukung fondasi lingkaran dengan tipe keruntuhan ini dapat dihitung dengan menggunakan **Persamaan 1**.

$$q_u = 1,3cN_c + \gamma D_f N_q + 0,6\gamma R N_\gamma \quad \dots (1)$$

dimana:

- $q_u$  = daya dukung tanah,
- $c$  = kohesi tanah,
- $\gamma$  = berat isi tanah,
- $D_f$  = kedalaman tanah,
- $R$  = jari-jari lingkaran,
- $N_c; N_q; N_\gamma$  = faktor daya dukung.

- b. Keruntuhan geser setempat (*local shear failure*), terjadi pada tanah dengan kompresibilitas yang tinggi, ditunjukkan dengan penurunan yang relatif besar. Untuk perhitungan daya dukung fondasi lingkaran dengan tipe keruntuhan geser setempat (*local shear failure*) dapat dihitung dengan menggunakan **Persamaan 2**.

$$q_u = 1,3c'N'_c + \gamma D_f N'_q + 0,3\gamma R N'_\gamma \quad \dots (2)$$

dimana:

- $q_u$  = daya dukung maksimum,
- $c'$  = kohesi tanah,
- $\gamma$  = berat isi tanah,
- $D_f$  = kedalaman tanah,
- $R$  = jari-jari lingkaran,
- $N'_c; N'_q; N'_\gamma$  = faktor daya dukung.

- c. Keruntuhan geser baji atau penetrasi (*punching shear failure*), terjadi dikarenakan adanya desakan di bawah dasar fondasi yang disertai dengan pergeseran pada arah vertikal di sepanjang tepi. Penurunan yang terjadi pada tipe keruntuhan ini cukup besar.

### 2.3.2 Kapasitas daya dukung secara umum

Menurut Das, B. M., (1990) dan Meyerhof (1963), telah mengembangkan rumus-rumus perhitungan kapasitas daya dukung dengan mempertimbangkan faktor kedalaman, bentuk dan kemiringan beban. Untuk perhitungan daya dukung secara umum berdasarkan pendekatan dari Meyerhof dapat dihitung dengan menggunakan **Persamaan 3**.

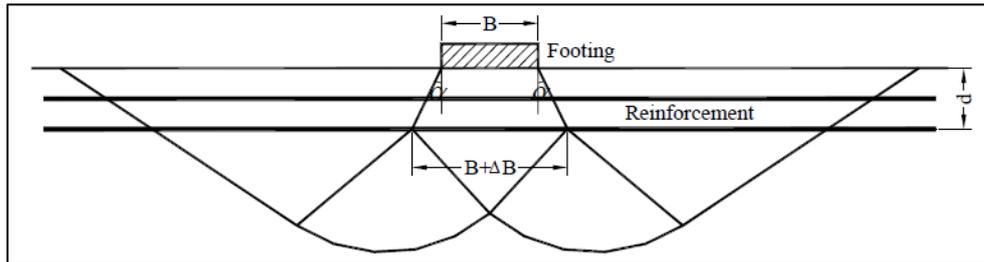
$$q_u = cN_c F_{cs} F_{cd} F_{ci} + \gamma D_f N_q F_{qs} F_{qd} F_{qi} + \frac{1}{2} N_\gamma F_{\gamma s} F_{\gamma d} F_{\gamma i} \quad \dots (3)$$

dimana :

- $q_u$  = daya dukung maksimum,
- $c$  = kohesi tanah,
- $\gamma$  = berat isi tanah,
- $D_f$  = kedalaman fondasi,
- $N_c; N_q; N_\gamma$  = faktor daya dukung,
- $F_{cs}; F_{qs}; F_{\gamma s}$  = faktor bentuk,
- $F_{cd}; F_{qd}; F_{\gamma d}$  = faktor kedalaman,
- $F_{ci}; F_{qi}; F_{\gamma i}$  = faktor kemiringan.

### 2.3.3 Perhitungan kapasitas daya dukung dengan menggunakan geogrid

Menurut Chen, Q., (2007) Huang dan Menq (1997) melakukan evaluasi perkuatan pada tanah di bawah fondasi dengan mekanisme keruntuhan yang dikemukakan oleh Schlosser (1983). Mekanisme keruntuhan tersebut dapat dilihat pada **Gambar 1**.



**Gambar 1. Mekanisme keruntuhan fondasi dengan perkuatan**  
(sumber: Chen, Q., 2007)

Untuk perhitungan daya dukung fondasi dengan adanya perkuatan geogrid, dapat dihitung dengan menggunakan **Persamaan 4** dan **Persamaan 5**.

$$q_{u(r)} = \eta * \gamma * (B + \Delta B) * N_{\gamma} + \gamma * d * N_q \quad \dots (4)$$

dimana:

- $q_{u(r)}$  = kapasitas daya dukung ultimit pada fondasi yang diberi perkuatan,
- $\eta$  = koefisien yang bergantung dari bentuk fondasi,
- $\gamma$  = berat isi tanah,
- $B$  = lebar fondasi,
- $\Delta B$  = pertambahan lebar fondasi,
- $d$  = kedalaman total perkuatan dari dasar fondasi,
- $N_{\gamma}; N_q$  = faktor kapasitas daya dukung.

Huang dan Menq (1997) telah melakukan analisis data eksperimen dari berbagai penelitian dimana formula distribusi tegangan ( $\alpha$ ) diperoleh sebagai berikut:

$$\tan \alpha = 0,6880 - 2,071 \frac{h}{B} + 0,743 CR + 0,3 \frac{l}{B} + 0,0766 N \quad \dots (5)$$

dimana:

- $\alpha$  = sudut distribusi tegangan,
- $h$  = spasi vertikal antara lapis perkuatan (*covering ratio*) dari perkuatan,
- $CR$  = luas area tanah yang diberi perkuatan,
- $l$  = panjang bahan perkuatan,
- $N$  = jumlah total lapisan perkuatan.

### 2.3.4 Penurunan (*settlement*)

Menurut Das, B. M., (2007) penurunan tipe *elastic settlement* ini terjadi pada tanah berbutir kasar dan tanah berbutir halus kering (tidak jenuh) yang terjadi setelah beban bekerja. Untuk perhitungan penurunan dengan tipe *elastic settlement* dapat dihitung dengan menggunakan **Persamaan 6 sampai dengan Persamaan 12**.

$$S_e = q_0 \left( \alpha B' \frac{1 - \mu_s^2}{E_s} \right) I_s I_f \quad \dots (6)$$

Analisis Model Fisik dan Model Numerik pada Daya Dukung  
Fondasi Lingkaran di Atas Tanah Lunak

$$I_s = F_1 + \frac{1 - 2\mu_s}{1 - \mu_s} F_2 \quad \dots (7)$$

$$F_1 = \frac{1}{\pi} (A_0 + A_1) \quad \dots (8)$$

$$F_2 = \frac{\pi'}{2\pi} \tan^{-1} A_2 \quad \dots (9)$$

$$A_0 = m' \ln \frac{(1 + \sqrt{m'^2 + 1}) \sqrt{m'^2 + n'^2}}{m' (1 + \sqrt{m'^2 + n'^2 + 1})} \quad \dots (10)$$

$$A_1 = \ln \frac{(m' + \sqrt{m'^2 + 1}) \sqrt{1 + n'^2}}{m' + \sqrt{m'^2 + n'^2 + 1}} \quad \dots (11)$$

$$A_2 = \frac{m'}{n' \sqrt{m'^2 + n'^2 + 1}} \quad \dots (12)$$

dimana:

$q_0$  = tekanan pada fondasi,

$\alpha$  = faktor dari lokasi fondasi, untuk pusat fondasi = 4, untuk sudut fondasi = 1,

$\mu_s$  = *poisson ratio* pada tanah,

$E_s$  = modulus elastisitas tanah dibawah fondasi,  $z = 4B$ ,

$B'$  =  $1/2 B$  untuk pusat fondasi,  $B$  untuk sudut fondasi,

$I_s$  = *shape factor*,

$I_f$  = *depth factor*,

$m'$  = pusat dan sudut fondasi;  $m' = \frac{L}{B}$ ,

$n'$  = pusat fondasi;  $n' = \frac{H}{B/2}$ , sudut fondasi;  $n' = \frac{H}{B}$ .

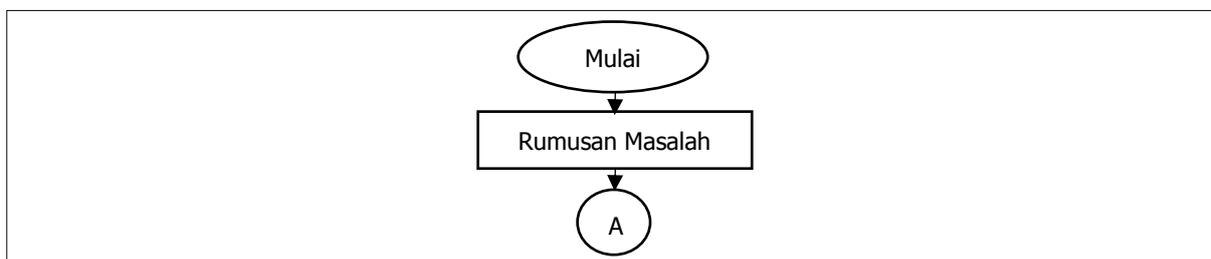
## 2.4 Finite Element Method (FEM)

*Finite Element Method* (FEM) sering disebut dengan Metode Elemen Hingga merupakan suatu metode analisis numerik digunakan untuk permasalahan di bidang rekayasa. Inti dari metode ini adalah membagi suatu benda menjadi beberapa bagian yang merupakan gabungan antara beberapa nodal. Proses pembagian benda menjadi beberapa bagian disebut dengan *meshing*.

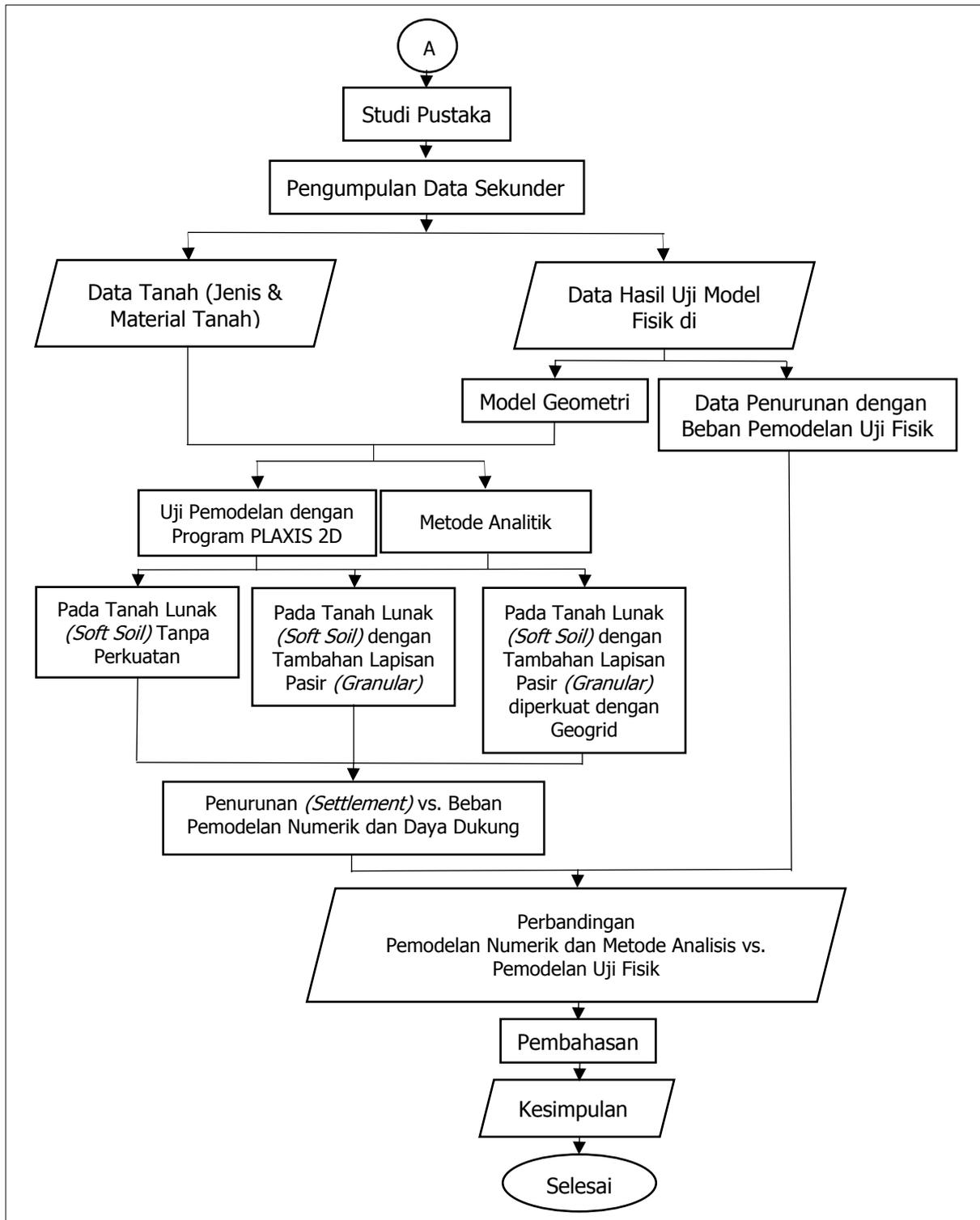
## 3. ANALISIS DATA

### 3.1 Tahapan Analisis Data

Tahapan-tahapan analisis data yang akan dilakukan dapat dilihat pada **Gambar 3a** dan **Gambar 3b** yang merupakan bagan alir analisis data.



**Gambar 3a. Bagan alir analisis data**



**Gambar 3b. Bagan alir analisis data (lanjutan)**

### 3.2 Analisis daya dukung dengan metode numerik

Berikut merupakan parameter-parameter pada setiap jenis tanah yang digunakan dalam pemodelan dapat dilihat pada **Tabel 1** untuk parameter fondasi, **Tabel 2** untuk parameter tanah lunak, **Tabel 3** untuk parameter geogrid dan **Tabel 4** untuk parameter lapisan pasir (granular).

**Tabel 1. Data Parameter Fondasi (Concrete)**

Parameter	Nilai
Berat isi ( $\gamma$ )	24 kN/m <sup>3</sup>
Modulus elastisitas ( $E$ )	27.080.000 kN/m <sup>2</sup>
<i>Poisson's ratio</i> ( $\mu_s$ )	0,15
Angka pori ( $e_0$ )	0,5
$K_0$	1,00

**Tabel 2. Data Parameter Mohr-Coloumb dan *Soft Soil* untuk Tanah Lunak**

Parameter	Mohr-Coloumb	<i>Soft Soil</i>
Berat isi ( $\gamma$ )	16 kN/m <sup>3</sup>	16 kN/m <sup>3</sup>
Berat isi jenuh ( $\gamma_{sat}$ )	17 kN/m <sup>2</sup>	17 kN/m <sup>2</sup>
Modulus elastisitas ( $E$ )	4.000 kN/m <sup>2</sup>	-
<i>Poisson's ratio</i> ( $\mu_s$ )	0,3	0,3
Kohesi ( $c$ )	25 kN.m <sup>2</sup>	25 kN.m <sup>2</sup>
Sudut geser ( $\phi$ )	6	6
<i>Tangent of CSL</i> ( $M$ )	-	0,221
Angka pori ( $e_0$ )	1,38	1,38
<i>Swelling index</i> ( $\kappa$ )	-	0,009
<i>Compression index</i> ( $\lambda$ )	-	0,01
$K_0$	0,909	0,897

**Tabel 3. Data Parameter Geogrid**

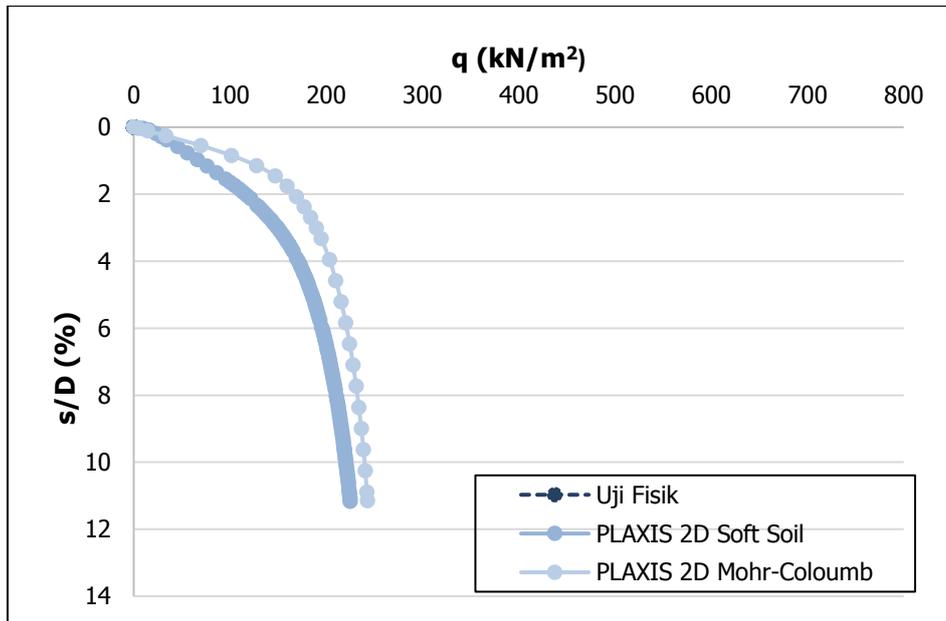
Parameter	Nilai
Kuat tarik maksimum	60 kN/m
Kuat tarik pada (%2 <i>elongation</i> )	22 kN/m
Kuat tarik pada (%5 <i>elongation</i> )	48 kN/m
<i>Elongation</i>	8%
Ukuran bukaan geogrid	31/31 mm/mm

**Tabel 4. Data Parameter Mohr-Coloumb untuk Lapisan Pasir (Granular)**

Parameter	Nilai
Berat isi ( $\gamma$ )	18 kN/m <sup>3</sup>
Berat isi jenuh ( $\gamma_{sat}$ )	19 kN/m <sup>2</sup>
Modulus elastisitas ( $E$ )	80.000 kN/m <sup>2</sup>
<i>Poisson's ratio</i> ( $\mu_s$ )	0,3
Kohesi ( $c$ )	10 kN.m <sup>2</sup>
Sudut geser ( $\phi$ )	42
<i>Dilatancy angle</i> ( $\psi$ )	0
Angka pori ( $e_0$ )	0,50
$K_0$	0,331

### 3.2.1 Analisis daya dukung pada tanah lunak sebelum adanya perkuatan

Berikut merupakan hasil analisis yang dilakukan dengan metode numerik pada jenis tanah lunak tanpa adanya perkuatan. Analisis ini dilakukan dengan menggunakan Mohr-Coloumb model dan *Soft Soil* model yang hasilnya dibandingkan dengan uji fisik laboratorium dan metode analitik. Untuk metode analitik besar daya dukung yang diperoleh sebesar 151,536 kN/m<sup>2</sup> dengan besar penurunan 18,682%.



**Gambar 4. Hasil analisis daya dukung dan penurunan pada tanah lunak**

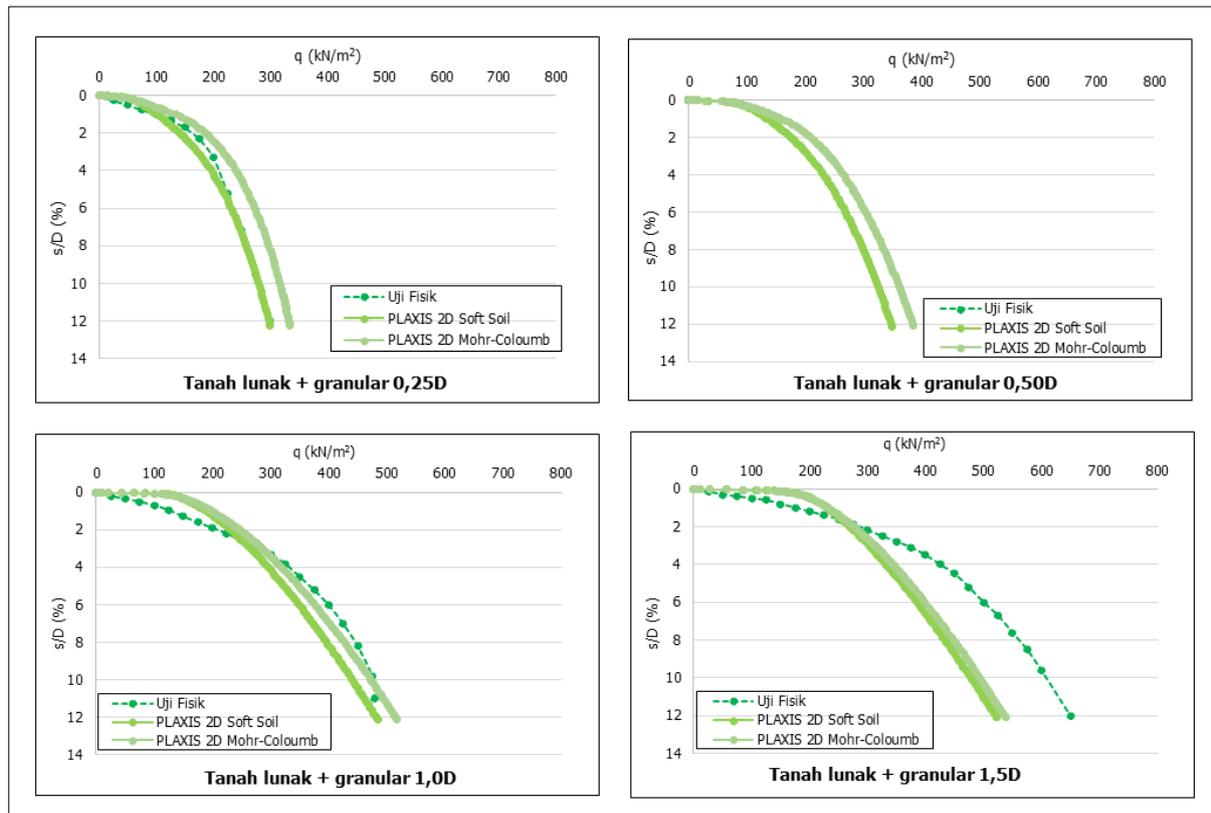
Dilihat dari hasil analisis yang tersaji pada **Gambar 4**, tanah lunak dengan menggunakan Mohr-Coloumb model memiliki daya dukung yang lebih besar dengan selisih 8,163% dari uji fisik, sedangkan *Soft Soil* model memiliki daya dukung lebih besar dari uji fisik dengan selisih 0,044% dan metode analitik memiliki daya dukung lebih kecil dengan selisih 32,651% dari uji fisik.

Dibandingkan dengan hasil pengujian fisik di laboratorium, tanah lunak dengan *Soft Soil* model lebih memiliki tingkat kesamaan yang tinggi dibandingkan dengan Mohr-Coloumb model dan metode analitik. Hal ini dikarenakan Mohr-Coloumb lebih memiliki daya dukung yang jauh lebih besar dibandingkan dengan hasil uji fisik ataupun model lainnya.

### 3.2.2 Analisis daya dukung pada tanah dengan perkuatan lapisan pasir (granular)

Berikut merupakan hasil analisis yang dilakukan dengan metode numerik pada jenis tanah lunak dengan adanya perkuatan berupa lapisan pasir (granular). Lapisan pasir (granular) terdiri dari empat macam variasi ketebalan yaitu 0,25D, 0,5D, 1,0D, 1,5D, 2,0D dan 2,5D. Analisis ini dilakukan dengan menggunakan Mohr-Coloumb yang hasilnya dibandingkan dengan uji fisik laboratorium dan metode analitik. Untuk metode analitik besar daya dukung terbesar yang diperoleh adalah 290,595 kN/m<sup>2</sup> dengan besar penurunan 17,514%.

## Analisis Model Fisik dan Model Numerik pada Daya Dukung Fondasi Lingkaran di Atas Tanah Lunak

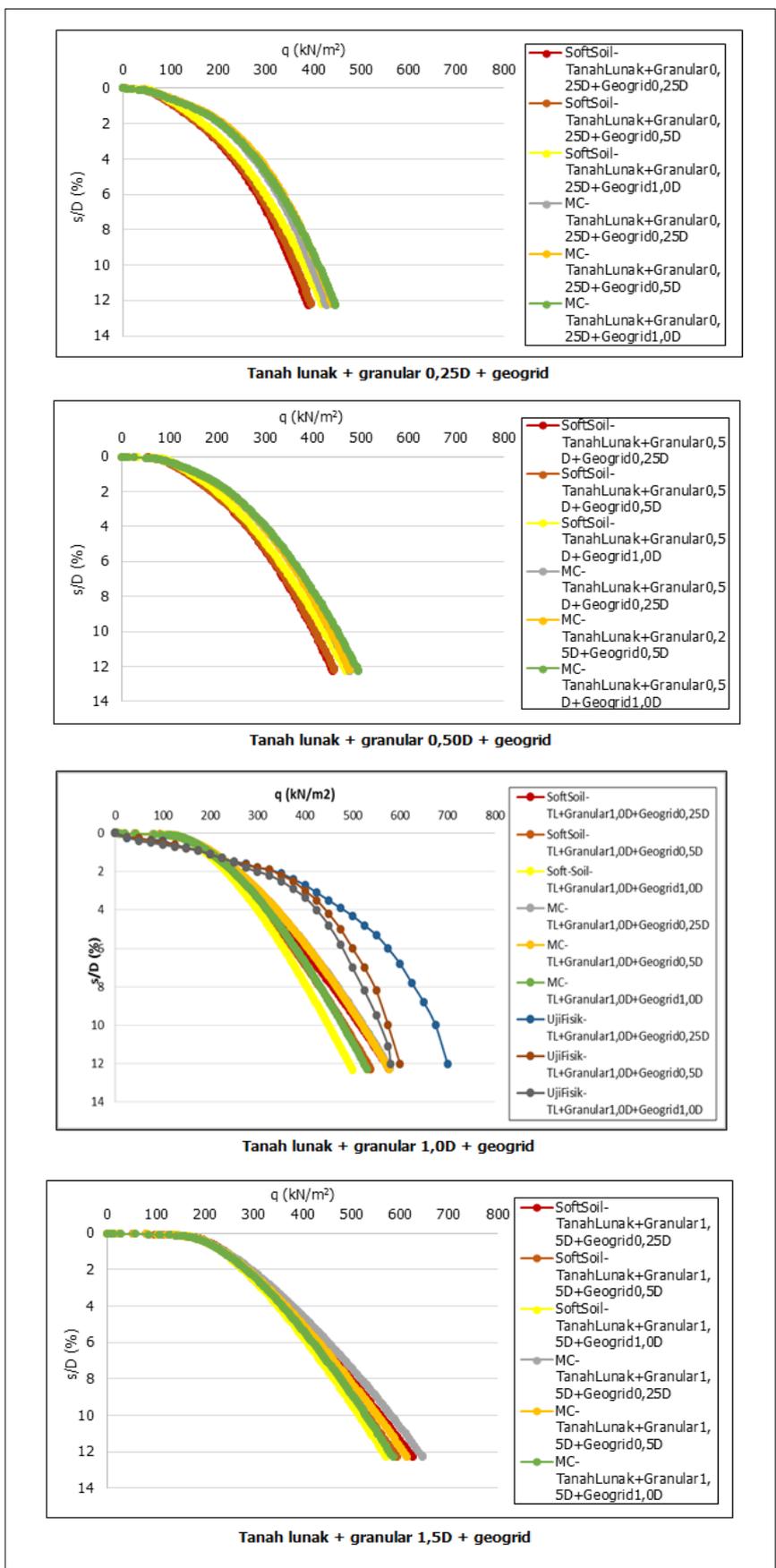


**Gambar 5. Hasil analisis daya dukung dan penurunan pada tanah lunak dengan tambahan lapisan pasir (granular)**

Dilihat dari hasil analisis yang tersaji pada **Gambar 5**, tanah lunak dengan tambahan perkuatan berupa lapisan granular 2,5D dengan menggunakan Mohr-Coloumb model memiliki daya dukung yang lebih besar dengan selisih 15,386% dari uji fisik. Akan tetapi hasil analisis dengan menggunakan metode analitik jauh lebih besar dengan selisih 55,293% dari uji fisik. Hal ini dikarenakan dengan menggunakan metode analitik banyak terjadi penyederhanaan sehingga hasilnya jauh berbeda uji fisik dan metode numerik.

### 3.2.2 Analisis daya dukung pada tanah dengan perkuatan lapisan pasir (granular) dan geogrid

Berikut merupakan hasil analisis yang dilakukan dengan metode numerik pada jenis tanah lunak dengan adanya perkuatan berupa lapisan pasir (granular) dan geogrid. Lapisan pasir (granular) terdiri dari empat macam ketebalan yaitu 0,25D, 0,5D, 1,0D, dan 1,5D, dimana pada setiap ketebalan diberi lapisan geogrid yang terdiri dari tiga macam kedalaman dari dasar fondasi yaitu 0,25D, 0,5D dan 1,0D. Analisis ini dilakukan dengan menggunakan Mohr-Coloumb pada lapisan pasir (granular) dan pada lapisan tanah lunak digunakan Mohr-Coloumb model dan *Soft Soil* model yang hasilnya dibandingkan dengan uji fisik laboratorium dan metode analitik. Untuk metode analitik besar daya dukung yang diperoleh pada kedalaman 0,25D sebesar 55,1 kN/m<sup>2</sup>, untuk kedalaman 0,5D sebesar 104,579 kN/m<sup>2</sup>, dan untuk kedalaman 1,0D sebesar 203,559 kN/m<sup>2</sup>.



**Gambar 6. Hasil analisis daya dukung dan penurunan pada panah lunak dengan tambahan lapisan pasir (granular) dan geogrid**

Dilihat dari hasil analisis yang tersaji pada **Gambar 6**, tanah lunak dengan tambahan perkuatan berupa lapisan granular 1,5D dan geogrid 0,25D dengan menggunakan Mohr-Coloumb model memiliki daya dukung yang lebih besar yaitu 646,8 kN/m<sup>2</sup>. Akan tetapi hasil analisis dengan menggunakan metode analitik jauh lebih kecil. Hal ini dikarenakan dengan menggunakan metode analitik banyak terjadi penyederhanaan sehingga hasilnya jauh berbeda uji fisik dan metode numerik.

#### 4. KESIMPULAN

1. Kapasitas daya dukung dapat ditingkatkan dan penurunan dapat diperkecil dengan menambah lapisan pasir (granular) dan geogrid.
2. Kapasitas daya dukung maksimum berdasarkan metode analitik berada pada lapisan tanah lunak dengan tambahan lapisan pasir (granular) 2,5D sebesar 290,595 kN/m<sup>2</sup>.
3. Pada tanah lunak dengan tambahan lapisan pasir (granular), besar daya dukung akan efektif dengan tambahan ketebalan lapisan granular sebesar 1,0D, lebih dari itu perubahan daya dukung yang terjadi tidak terlalu signifikan.
4. Kapasitas daya dukung maksimum berdasarkan metode numerik berada pada lapisan tanah lunak dengan tambahan lapisan pasir (granular) 1,5D dan geogrid 0,25D dengan menggunakan Mohr-Coloumb model sebesar 646,8 kN/m<sup>2</sup>.
5. Perbedaan hasil analisis metode numerik dan metode analitik dikarenakan banyaknya asumsi, dan penyederhanaan.

#### DAFTAR RUJUKAN

- Ahandi, S. (2015). Analisa Numerik Deformasi Horizontal pada Tanah Lunak dengan Perkuatan Tanah Granular Metode Sludge Lock. Makassar: Universitas Hasanuddin.
- Chen, Q. (2007). An Experimental Study on Characteristics and Behavior of Reinforced Soil Foundation. Shanghai: Tongji University.
- Das, B. M. (1990). Shallow Foundations Bearing Capacity and Settlement. London: CRC Press.
- Das, B. M. (2007). Principles of Foundation Engineering, 6<sup>th</sup> Edition. Victoria: Chris Carson.
- Demir, A. (2009). Model Studies of Circular Foundations on Soft Soils. Adana: Cukurova University.