

# Analisis Daya Dukung Tiang Tunggal Dinamik pada Tanah Lunak di Gedebage

ELVINA MARIANNA TAMPUBOLON, YUKI ACHMAD YAKIN

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

## ABSTRAK

*Dalam setiap bangunan diperlukan pondasi sebagai dasar bangunan yang kuat dan kokoh. Istilah pondasi merupakan elemen bangunan yang berfungsi untuk menyalurkan semua beban yang bekerja pada struktur tersebut ke dalam tanah, sampai kedalaman tertentu yaitu sampai lapisan tanah keras. Tujuan dari studi ini adalah membandingkan kapasitas daya dukung aksial pondasi tiang tunggal secara analitis dan numeris. Secara analitis dilakukan dengan menghitung kapasitas daya dukung berdasarkan data-data dari lapangan yang didapat yaitu SPT. Numeris yaitu menghitung dengan menggunakan metode elemen hingga menggunakan program. Hasil studi ini juga berdasarkan metode formula dinamik untuk mencari kapasitas daya dukung aksial ultimit tiang ( $Q_u$ ) dengan formula Hiley, formula PCUBC, formula Gates, formula Navy-Mckay, dan formula Canadian National Building Code.*

**Kata kunci:** SPT, kapasitas daya dukung, analitis, numeris, formula dinamik.

## ABSTRACT

*In every building a foundation is needed as a strong layer. The term foundation is building element whose function is to distribute all loads acting on the structure into the ground to a certain depth until the hard soil. The purpose of this study was to compare the axial bearing capacity analytically and numerically. Analytically done by calculating the bearing capacity based on the data obtained from the field, namely SPT. The numerical count by using the finite element method using the program. The result of this study also based on the formula dynamic for bearing capacity ultimit piles ( $Q_u$ ) with Hiley formula, PCUBC formula, Gates formula, formula Navy-Mckay, dan formula Canadian National Building Code.*

**Keywords:** SPT, bearing capacity ultimite, analytically, numerically, dynamic formula.

## 1. PENDAHULUAN

Salah satu kelebihan dari pondasi tiang adalah kekuatan daya dukungnya ditentukan berdasarkan tahanan ujung (*end bearing*) dan pelekatan tiang dengan tanah (*friction*), dengan demikian pondasi ini sangat sesuai digunakan pada tanah lunak dimana lapisan tanah keras terletak cukup jauh dari permukaan tanah. Untuk mengetahui daya dukung dari masing-masing pondasi tiang selama pekerjaan pemancangan, ada beberapa metode yang digunakan seperti metode statik, metode dinamik dan metode *finite element*. Dengan pengujian ini akan dapat diperkirakan besarnya beban maksimum ( $P_{ultimate}$ ) dan penurunan (*settlement*) dari masing-masing tiang tunggal sehingga dapat direncanakan daya dukung pondasi tersebut mendekati kenyataan yang sebenarnya. Daya dukung tiang tunggal sangat dipengaruhi oleh keseragaman sifat tanah, oleh karena itu nilai daya dukung tiang dapat sangat bervariasi meskipun terletak pada suatu lokasi bangunan yang sama.

Manfaat dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui seberapa besar daya dukung tiang tunggal yang dihasilkan dengan beberapa metode.

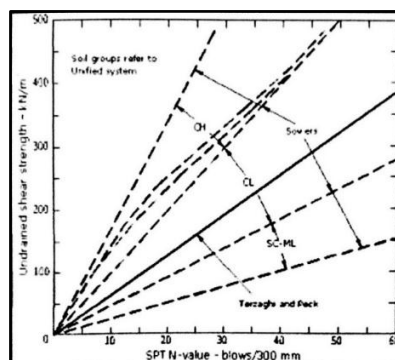
## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 3.1 SPT dan Boring

Nilai dari parameter-parameter tanah yang akan digunakan untuk mendesain bangunan geoteknik, seperti *undrained shear strength* ( $c_u$ ), berat volume tanah ( $\gamma_{sat}$ ) ataupun  $\gamma_{dry}$ , modulus elastisitas tanah ( $E_s$ ), dan sudut geser ( $\phi$ ), didapatkan dengan cara korelasi antara nilai N-SPT dengan parameter-parameter tanah tersebut. Penentuan parameter-parameter tanah berdasarkan korelasi-korelasi N-SPT antara lain sebagai berikut:

1. Korelasi N-SPT terhadap *undrained shear strength* ( $c_u$ )

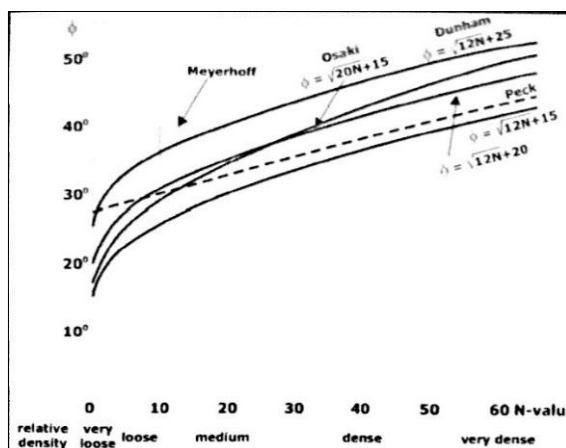
Korelasi antara N-SPT terhadap nilai *undrained shear strength* ( $c_u$ ) dari data hasil penelitian Terzaghi & Peck (1967) serta Sowers (1979) diberikan untuk rentang jenis tanah CH (lempung plastisitas tinggi), CL (lempung plastisitas rendah), dan ML (lanau plastisitas rendah). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada **Gambar 1** berikut ini.



**Gambar 1.** Perkiraan hubungan N-SPT terhadap *Undrained Shear Strength* ( $c_u$ )  
(Sumber: Geotechnical Engineering Center, 2013)

2. Korelasi N-SPT terhadap sudut geser ( $\phi$ )

Korelasi N-SPT dengan sudut geser ( $\phi$ ) pada tanah pasir dapat ditentukan menggunakan **Gambar 2**.



**Gambar 2. Hubungan Sudut Geser ( $\phi$ ) dan N-SPT untuk Tanah Pasir (Sumber: Geotechnical Engineering Center, 2013)**

3. Korelasi N-SPT terhadap OCR (*overconsolidated ratio*)  
OCR (*overconsolidated ratio*) dari lapisan tanah lempung juga dapat dikorelasikan dengan N-SPT. Mayne dan Kemper (1988) mengusulkan hubungan antara OCR dan  $N_{60}$  berdasarkan analisis regresi dari 110 data. Formula yang dapat digunakan untuk korelasi N-SPT dapat dilihat pada **Persamaan 1**, sebagai berikut:

$$OCR = 0,193 * \left(\frac{N_{60}}{\sigma'_v}\right)^{0,689} \dots (1)$$

dimana:

$\sigma'_v$  = *overburden pressure*,

$N$  = nilai SPT yang sudah dikoreksi terhadap alat.

4. Korelasi N-SPT terhadap konsistensi tanah  
Hubungan antara N-SPT dengan konsistensi tanah pasir dan lempung dapat dilihat pada **Tabel 1**, **Tabel 2** dan **Tabel 3**.
5. Korelasi N-SPT terhadap modulus elastis tanah dan *poisson ratio* ( $\nu$ )  
Modulus elastisitas ( $E_s$ ) tanah untuk tanah pasir dapat diperoleh dengan menggunakan korelasi dari data N-SPT dan CPT, sedangkan untuk tanah lempung dapat dikorelasikan terhadap nilai *undrained shear strength* ( $c_u$ ), seperti yang dapat dilihat pada **Tabel 4**.

**Tabel 1. Hubungan N-SPT terhadap Konsistensi Tanah Pasir**

Consistency	Relative Density (%)	N-SPT (Blows Per ft)	Angle of Internal Friction (deg)	Unit Weight	
				Moist	Submerged (pst)
Very loose	0 – 15	0 – 4	< 28	< 100	< 60
Loose	16 – 35	5 – 10	28 – 30	95 – 125	55 – 65
Medium	36 – 65	11 – 30	31 – 36	110 – 130	60 – 70
Dense	66 – 85	31 – 50	37 – 41	110 – 140	65 – 85
Very dense	86 – 100	> 51	> 41	> 130	> 75

(Sumber: Bowles, Joseph E., 1988)

**Tabel 2. Hubungan N-SPT terhadap Konsistensi Tanah Lempung**

<i>Consistency</i>	<i>Unconfined Compression Strength, <math>q_u</math> (kN/m<sup>2</sup>)</i>	<i>N-SPT (blows per ft)</i>	<i>Saturated Unit Weight (kN/m<sup>3</sup>)</i>
<i>Very Soft</i>	0 – 25	0 – 2	< 16
<i>Soft</i>	25 – 50	2 – 4	16 – 19
<i>Medium</i>	50 – 100	4 – 8	17 – 20
<i>Stiff</i>	100 – 200	8 – 15	18 – 20
<i>Very Stiff</i>	200 – 400	15 – 30	19 – 22
<i>Hard</i>	> 400	> 30	>20

(Sumber: Bowles, Joseph E., 1988)

**Tabel 3. Korelasi antara N-SPT terhadap Konsistensi Tanah Pasir dan Lempung**

<i>Cohesionless Soil</i>					
<i>N</i>	0 – 10	11- 30	31 -50	> 50	
<i>Unit Weight <math>\gamma</math>, KN/m<sup>3</sup></i>	12 – 16	14 – 18	16- 20	18- 23	
<i>Angle of friction (<math>\phi</math>)</i>	25 – 32	28 – 36	30 – 40	> 35	
<i>State</i>	<i>Loose</i>	<i>Medium</i>	<i>Dense</i>	<i>Very Dense</i>	
<i>Cohesive</i>					
<i>N</i>	< 4	4 – 6	6 – 15	16 – 25	> 25
<i>Unit Weight <math>\gamma</math>, KN/m<sup>3</sup></i>	14 – 18	16 – 18	16 – 18	16 – 20	> 20
<i>Angle of friction (<math>\phi</math>)</i>	< 25	20- 50	30 – 60	40 – 200	> 100
<i>State</i>	<i>Very Soft</i>	<i>Soft</i>	<i>Medium</i>	<i>Stiff</i>	<i>Hard</i>

(Sumber: Bowles, Joseph E., 1988)

**Tabel 4. Hubungan antara N-SPT, CPT terhadap Modulus Elastisitas Tanah**

<i>Soil</i>	<i>SPT</i>	<i>CPT</i>
<i>Sand (NC)</i>	$E_s = 500 (N + 15)$ $E_s = (15.000 \text{ to } 22.000) \ln N$ $E_s = (35.000 \text{ to } 50.000) \log N$	$E_s = 2 \text{ to } 4 q_c$ $E_s = (1 + Dr^2) q_c$
<i>Sand(saturated)</i>	$E_s = 250 (N + 15)$	$E_s = 6 \text{ to } 30 q_c$
<i>Sand (OC)</i>	$E_s = 18.000 + 750 N$	
<i>Gravelly san and gravel</i>	$E_s = 1.200 (N + 6)$ $E_s = 600 (N + 6)$	
<i>Clayey sand</i>	$E_s = 600 (N + 6) + 2.000$	$E_s = 3 \text{ to } 6$
	$E_s = 320 (N + 15)$	
<i>Silty sand</i>	$E_s = 300 (N + 6)$	$E_s = 1 \text{ to } 2 q_c$
<i>Soft clay</i>	-	$E_s = 3 \text{ to } 8 q_c$
<i>Clay</i>	Using the undrained shear strength	
	$IP > 30$ or organic	$E_s = 100 \text{ to } 500 q_c$
	$IP > 30$ or stiff	$E_s = 500 \text{ to } 1.500 q_c$
	$E_{s(OCR)} = E_{s(NC)}(OCR)^{1,2}$	

(Sumber: Bowles, Joseph E., 1988)

Bowles (1988) merekomendasikan nilai modulus elastisitas tanah ( $E_s$ ) dan *poisson ratio* ( $\nu$ ) berdasarkan jenis tanah, seperti yang dapat dilihat pada **Tabel 5** dan **Tabel 6**.

**Tabel 5. Nilai Modulus Elastisitas ( $E_s$ ) Tanah Berdasarkan Jenis Tanah**

Type of Soil	Modulus Elastisitas (MPa)
<i>Clay</i>	
<i>Very soft</i>	2 – 15
<i>Soft</i>	5 – 25
<i>Medium</i>	15 – 50
<i>Hard</i>	50 – 100
<i>Sandy</i>	25 – 250
<i>Glacial Till</i>	
<i>Loose</i>	10 – 150
<i>Dense</i>	150 – 720
<i>Very dense</i>	500 – 1.440
<i>Looes</i>	15 – 60
<i>Sandy</i>	
<i>Silty</i>	5 – 20
<i>Loose</i>	10 – 25
<i>Dense</i>	50 – 81
<i>Sand and Gravel</i>	
<i>Loose</i>	50 – 150
<i>Dense</i>	100 – 200
<i>Shale</i>	150 – 5.000
<i>Silt</i>	2 – 20

(Sumber: Bowles, Joseph E., 1988)

**Tabel 6. Nilai *Poisson Ratio* ( $\nu$ ) Berdasarkan Jenis Tanah**

Type of Soil	<i>Poisson's Ratio</i> ( $\nu$ )
<i>Clay, saturated</i>	0,4 – 0,5
<i>Clay, unsaturated</i>	0,1 – 0,3
<i>Sand clay</i>	0,2-0,3
<i>Silt</i>	0,3 – 0,35
<i>Sand, gravelly sand commonly used</i>	0,1 – 1 0,3 – 0,4
<i>Rock (depends somewhat on type of rock)</i>	0,1 – 0,4
<i>Loess</i>	0,1 – 0,3
<i>Ice</i>	0,36
<i>Concrete</i>	0,15
<i>Steel</i>	0,33

(Sumber: Bowles, Joseph E., 1988)

## 1.4 Kapasitas Daya Dukung Tiang Pancang Metode Statik

### 1.4.1 Kapasitas Daya Dukung Ujung Tiang ( $Q_p$ )

Pada tanah lempung nilai sudut geser pada umumnya bernilai nol ( $\phi = 0$ ), maka nilai  $\sigma'_v * N_q^* = 0$ . Sedangkan nilai  $N_c^* = 9$  (Skempton). Untuk daya dukung ujung tiang dapat dihitung dengan **Persamaan 2**, sebagai berikut:

$$Q_p = A_p c_u^9$$

... (2)

dimana:

$Q_p$  = kapasitas daya dukung ujung tiang (kN),

$A_p$  = luas penampang ujung tiang (m<sup>2</sup>),

$c_u$  = kohesi tanah lempung di ujung tiang (kN/m<sup>2</sup>).

#### 1.4.2 Kapasitas Daya Dukung Geser Tiang ( $Q_s$ )

##### a. Metode Lambda ( $\lambda$ )

Tahanan geser rata-rata ( $f_{av}$ ) menggunakan metode lambda ( $\lambda$ ) pada **Persamaan 3**, sebagai berikut:

$$f_{av} = \lambda(\sigma'_v + 2c_u) \quad \dots (3)$$

dimana:

$\sigma'_v$  = rata-rata tekanan vertical sepanjang tiang pancang,

$c_u$  = rata-rata kuat geser lempung jenuh ( $\Phi = 0$ ),

$\lambda$  = konstanta.

Berikut adalah rumus yang dapat digunakan untuk mencari nilai  $c_u$  dan  $\bar{\sigma}_v$  tiap segmen, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada **Persamaan 4** dan **Persamaan 5**.

$$c_u = \frac{\sum c_{ui}}{\sum L_i} = \frac{c_{u1}L_1 + c_{u2}L_2 + c_{u3}L_3 + \dots + c_{ui}L_i}{L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_i} \quad \dots (4)$$

$$\bar{\sigma}_v = \frac{\sum c_{ui}}{\sum L_i} = \frac{A_1 + A_2 + A_3 \dots A_i}{L_1 + L_2 + L_3 \dots L_i} \quad \dots (5)$$

dimana:

$c_{ui}$  = kohesi tanah *undrained* lapis ke  $i$ ,

$L_i$  = panjang segmen tiang lapis ke  $i$ ,

$A_i$  = luas diagram tegangan vertikal efektif lapis ke  $i$ .

##### b. Metode Alpha ( $\alpha$ )

Formula yang digunakan untuk menentukan tahanan geser ( $f$ ) menggunakan metode alpha ( $\alpha$ ) seperti **Persamaan 6**, sebagai berikut:

$$f = \alpha c_u \quad \dots (6)$$

dimana:

$\alpha$  = faktor adhesi/lekatan secara empiris,

$c_u$  = kuat geser lempung jenuh (kN/m<sup>2</sup>).

##### c. Metode Beta

Persamaan yang dapat digunakan untuk menghitung tahanan geser ( $f$ ) menggunakan metode ( $\beta$ ) seperti **Persamaan 7** dan **Persamaan 8**, sebagai berikut:

$$f = \beta \sigma'_v \quad \dots (7)$$

$$\beta = k * \tan \phi' \quad \dots (8)$$

dimana:

$\sigma'_v$  = tegangan vertikal efektif (kN/m<sup>2</sup>),

$f$  = tahanan geser (kN/m<sup>2</sup>),

$\phi'$  = sudut geser efektif,

$k$  = koefisien tekanan tanah.

### 1.5 Kapasitas Daya Dukung Tiang Dengan Metode Meyerhoff Menggunakan Data SPT

Perhitungan manual untuk mengestimasi daya dukung tiang pancang menggunakan rumus Meyerhof yang dihitung berdasarkan data  $N_{SPT}$  yang didapatkan dari pengujian di lapangan. Formula yang digunakan pada perhitungan ini adalah seperti **Persamaan 9**, sebagai berikut:

$$Q_{ult} = 40N_b A_p + 0,2N_s A_s \quad \dots (9)$$

dimana:

$N_b$  = harga  $N_{SPT}$  pada dasar elevasi tiang,

$Q_{ult}$  = daya dukung ultimit pondasi tiang pancang,

$A_p$  = luas penampang tiang (m<sup>2</sup>),

$A_s$  = luas selimut tiang (m<sup>2</sup>),

$N_s$  = nilai  $N_{SPT}$  rata – rata sepanjang tiang.

### 1.6 Formula Dinamik

Untuk menentukan daya dukung tiang pancang, formula dinamik merupakan metode yang paling tua. Formula dinamik didasarkan pada hubungan daya dukung tiang pancang dengan energi pemancangan tiang, yaitu menghubungkan daya dukung tiang dengan nilai *set* serta menganggap perlawanan tanah pada saat pemancangan adalah sama dengan kapasitas tiang untuk memikul beban dalam keadaan statis. Hubungan antara tahanan dinamik dan statis dari tiang berdasarkan formula dinamik tidak boleh tergantung pada faktor waktu.

Beberapa formula dinamik untuk menentukan daya dukung dinamik atau *RUT* yang cukup dikenal sebagai berikut:

#### a. Formula Hiley (a) (FS=3)

$$RUT = \frac{2 \cdot e_h \cdot W_r \cdot H}{s + k} * \frac{W_r + (n^2 * W_p)}{W_r + W_p} \quad \dots (10)$$

dimana:

*RUT* = kapasitas tiang pancang (ton),

$e_h$  = efisiensi alat/*hammer*,

- $E_h$  = energi palu (ton),  
 $s$  = final set (m),  
 $k_1$  = kompresi blok topi (mm),  
 $k_2$  = kompresi tiang pancang (mm),  
 $k_3$  = kompresi tanah elastik (mm),  
 $W_r$  = berat palu (ton),  
 $W_p$  = berat tiang (ton),  
 $n^2$  = koefisien restitusi.

**b. Formula Hiley (b) (FS=3)**

$$RUT = \frac{e_h * E_h}{s + 0,5 * C_x} * \frac{W_r + n^2 * W_p}{W_r + W_p} \quad \dots (11)$$

dimana:

$C_x$  = pencatatan *rebound* dari pukulan terakhir.

**c. Formula PCUBC (*Pacific Coast Uniform Building*) (FS=4)**

$$RUT = \frac{e_h * E_h * C_1}{s + C_2} \quad \dots (12)$$

$$C_1 = \frac{W_r + k * W_p}{W_r + W_p} ; C_2 = \frac{RUT * L}{A * E} \quad \dots (13)$$

dimana:

- $k$  = 0,25 ... untuk tiang baja,  
 $k$  = 0,1 ... untuk tiang lain,  
 $A$  = luas penampang tiang pancang (m<sup>2</sup>),  
 $L$  = panjang tiang pancang (m),  
 $e_h$  = efisiensi alat/*hammer*,  
 $E_h$  = energi palu (kN),  
 $E$  = modulus (kN/m),  
 $W_r$  = berat palu (kN),  
 $W_p$  = berat tiang (kN).

**d. Formula Gates (FS=3)**

$$RUT = a * \sqrt{e_h E_h} (b - \log s) \quad \dots (14)$$

dimana:

- $s$  = final set (mm),  
 $a$  = 27 FPS,  
 $b$  = 2,4 SI.



**e. Navy –Mckay (FS = 6)**

$$RUT = \frac{e_h * E_h}{s(1 + 0,3 C_1)} \quad \dots (15)$$

$$C_1 = \frac{W_p}{W_r} \quad \dots (16)$$

dimana:

$e_h$  = efisiensi alat/*hammer*,

$E_h$  = energi palu (kN),

$W_r$  = berat palu (kN),

$W_p$  = berat tiang (kN).

**f. Formula *Canadian National Building Code* (FS=3)**

$$RUT = \frac{e_h * E_h * C_1}{s(1 + 0,3 C_2 C_3)} \quad \dots (17)$$

$$c_1 = \frac{W_r + (n^2 * W_p)}{W_r + W_p} \quad \dots (18)$$

dimana:

$e_h$  = efisiensi alat/*hammer*,

$E_h$  = energi palu (kN),

$W_r$  = berat palu (kN),

$W_p$  = berat tiang (kN).

### 3. ANALISIS DATA

#### 3.1 Pengumpulan Data

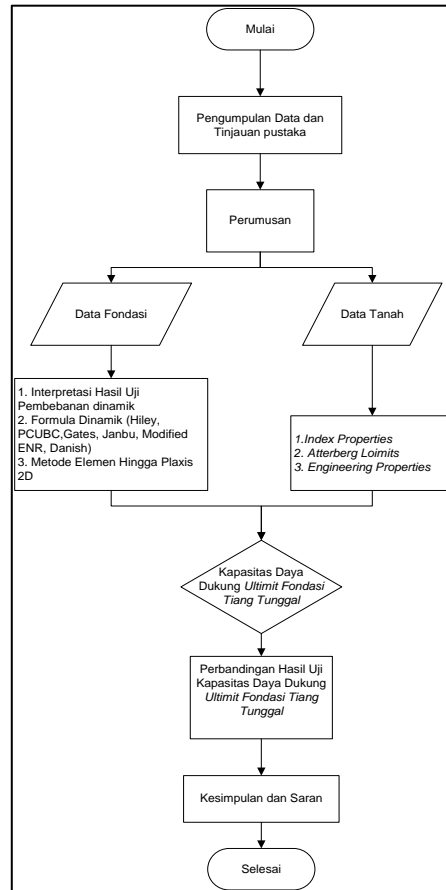
Data penyelidikan tanah ini didapat dari proyek jalan tol Gedebage yang berada di daerah Gedebage, Jawa Barat. Tujuan dilakukannya penyelidikan tanah yaitu untuk menemukan sifat-sifat tanah yang terkait dengan perancangan struktur yang akan dibangun di atasnya, untuk mengetahui posisi muka air tanah (MAT), menentukan kapasitas daya dukung tanah, dan untuk memprediksi besarnya penurunan.

#### 3.2 Rumusan Masalah

Daya dukung tanah di Gedebage tergolong rendah, kompresibilitas yang tinggi serta penurunan yang besar sehingga daya dukung tiang perlu diperhitungkan dan diuji hingga tiang mencapai daya dukung tanah yang mencukupi.

Maka dari itu penulis merumuskan masalah pada tugas akhir ini adalah membandingkan hasil kapasitas daya dukung pondasi menggunakan metode statik, formula dinamik, dan *finite element* atau Plaxis 2D yang mendekati dengan hasil uji PDA (*Pile Driving Analyzer*).

### 3.3 Bagan Alir



Gambar 3. Bagan Alir (lanjutan)

### 3.4 Kapasitas Daya Dukung Tiang Pancang Metode Statik

Kapasitas daya dukung ujung ( $Q_p$ ) yang diperoleh dengan metode statik untuk metode Alpha sebesar 508,86 kN, metode Lambda sebesar 508,86 kN, dan metode Beta sebesar 323,73 kN. Sedangkan kapasitas daya dukung dengan geser dengan metode statik untuk metode Alpha sebesar 2857,33 kN, metode Lambda sebesar 2.872,48 kN, dan metode Beta sebesar 2.979,41 kN.

Hasil jumlah daya dukung ujung ( $Q_p$ ) dan daya dukung geser ( $Q_s$ ) diperoleh besar kapasitas daya dukung ultimate ( $Q_u$ ). Untuk metode Alpha diperoleh besar kapasitas daya dukung ultimate ( $Q_u$ ) sebesar 3.366,19 kN atau sama dengan 343,14 ton, metode Lambda diperoleh besar kapasitas daya dukung ultimate ( $Q_u$ ) sebesar 3.381,34 kN atau sama dengan 344,68 ton, dan untuk metode Beta diperoleh besar kapasitas daya dukung ultimate ( $Q_u$ ) sebesar 3.157,79 atau sama dengan 107,91 ton.

### 3.5 Kapasitas Daya Dukung Tiang Pancang Metode Meyerhoff dengan Menggunakan Data SPT

Kapasitas daya dukung ujung ( $Q_p$ ) yang diperoleh dengan metode meyerhoff sebesar 1.866,857 kN dan kapasitas daya dukung geser ( $Q_s$ ) sebesar 960,095 kN. Hasil jumlah daya dukung ujung ( $Q_p$ ) dan daya dukung geser ( $Q_s$ ) diperoleh besar kapasitas daya dukung ultimate ( $Q_u$ ) sebesar 2.826,952 ton.

### 3.6 Kapasitas Daya Dukung dengan Menggunakan Formula Dinamik

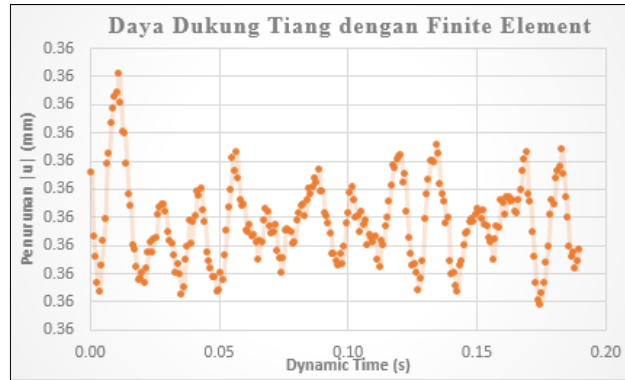
1. Formula Hiley  
Diketahui dari data lapangan efisiensi alat/*hammer* ( $e_h$ ) 0,85, tinggi jatuh palu ( $H$ ) 290 cm, final set ( $s$ ) 0,3 cm, rebound 1 cm, berat palu ( $W_r$ ) 6,5 ton, berat tiang ( $W_p$ ) 37.353.248,43 ton, koefisien restitusi ( $r^2$ ) 0,4, SF = 3 dengan **Persamaan 9**. Diperoleh daya dukung tiang sebesar 394,40 ton dan daya dukung izinnya sebesar 131,47 ton.
2. Formula PCUBC (*Pacific Coast Uniform Building*)  
Diketahui dari data lapangan berat palu ( $W_r$ ) 63,765 kN, berat tiang ( $W_p$ ) 366,44 kN, final set ( $s$ ) 0,003 m, energi palu ( $E_h$ ) 184,9185 kN, k yang digunakan 0,1, nilai untuk  $C_2 = 0$ , SF = 4 dengan **Persamaan 11** dan **Persamaan 12**. Diperoleh daya dukung tiang sebesar 1.228,40 ton dan daya dukung izinnya sebesar 307,10 ton.
3. Formula Gates  
Diketahui data dari lapangan efisiensi alat atau *hammer* ( $e_h$ ) 0,85, energi palu ( $E_h$ ) 184,9185 kN, final set ( $s$ ) 3 mm. ( $a = 27$  FPs,  $b = 24$  SI) SF = 3 dengan **Persamaan 13**. Diperoleh daya dukung tiang sebesar 765,67 ton dan daya dukung izinnya sebesar 255,22 ton.
4. Formula Navy-Mckay  
Diketahui data dari lapangan efisiensi alat atau *hammer* ( $e_h$ ) 0,85, energi palu ( $E_h$ ) 184,9185 kN, final set ( $s$ ) 0,003 m, luas penampang tiang pancang 2.827 cm<sup>2</sup>, berat palu ( $W_r$ ) 63,765 kN, berat tiang ( $W_p$ ) 366,44 kN, SF = 6 dengan **Persamaan 14** dan **Persamaan 15**. Diperoleh daya dukung tiang sebesar 1.962,10 ton dan daya dukung izinnya sebesar 327,12 ton.
5. Formula Canadian Building Code  
Diketahui data dari lapangan efisiensi alat atau *hammer* ( $e_h$ ) 0,85, energi palu ( $E_h$ ) 184,9185 kN, final set ( $s$ ) 0,003 m, berat palu ( $W_r$ ) 63,765 kN, berat tiang ( $W_p$ ) 366,44 kN, SF = 3 (Catatan: nilai  $s$  sama dengan  $C_2$  dan) dengan **Persamaan 16** dan **Persamaan 17**. Diperoleh daya dukung tiang sebesar 1.118,62 ton dan daya dukung izinnya sebesar 372, 87 ton.

### 3.7 Kapasitas Daya Dukung Hasil Uji PDA $C_3$ (*Pile Driving Analyzer*)

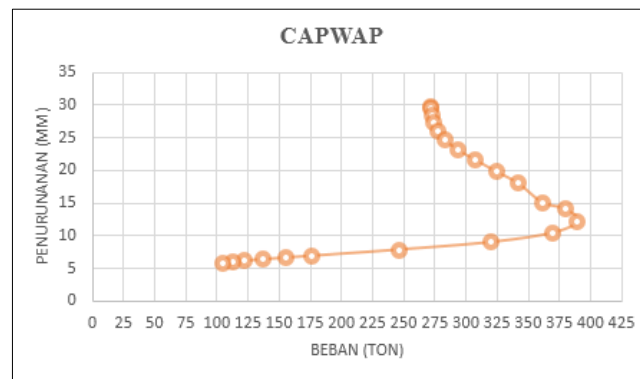
Diameter tiang yang diuji adalah 600 mm dan panjang tiang 54 m, jumlah pukulan 9 kali, gaya tekan maksimum 263 ton, gaya Tarik maksimum 0 ton, energi maksimum yang ditransfer 5,99 ton, penurunan maksimum 31 mm, penurunan permanen 1 mm, tinggi jatuh palu 2,9 m, pukulan per menit 38,4, nilai keutuhan tiang 100%, luas penampang tiang 1.570 cm<sup>2</sup>, dan daya dukung tiang 430 ton.

### 3.8 Kapasitas Daya Dukung Tiang dengan Metode *Finite Element*

Hasil *output* program PLAXIS 2D diperoleh grafik *dynamic time* terhadap penurunan dan dibandingkan dengan hasil CAPWAP yaitu grafik antara beban dan penurunan, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4** dan **Gambar 5**. Besar penurunan yang ditunjukkan dari hasil *output* PLAXIS 2D 0,3 mm sedangkan hasil dari CAPWAP sebesar 29,82 mm.



Gambar 4. Perbandingan antara *Dynamic Time* dan penurunan



Gambar 5. Perbandingan antara beban dan penurunan

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Apabila hasil uji *Pile Driving Analyzer* dibandingkan dengan beberapa formula dinamik hasil yang mendekati adalah formula Hiley selisih persentase sebesar 8,28%, dari semua metode yang dibandingkan dengan *Pile Driving Analyzer* formula Hiley yang paling mendekati.
2. Apabila hasil uji *Pile Driving Analyzer* dibandingkan dengan beberapa metode statik hasil yang mendekati adalah metode Lambda selisih persentase sebesar 10,41%.
3. Apabila hasil uji *Pile Driving Analyzer* dibandingkan dengan metode Meyerhoff selisih persentase sebesar 32,98%.
4. Hasil output dari PLAXIS 2D dengan *dynamic design* adalah mengetahui penurunan yang terjadi dalam fungsi waktu yang berubah-ubah. Penurunan yang terjadi yaitu 0,3 m.
5. Hasil kapasitas daya dukung tiang tunggal dengan beberapa metode yang telah dihitung memiliki perbandingan yang jauh itu dikarenakan parameter yang digunakan, banyak asumsi dan penyederhanaan.

#### DAFTAR RUJUKAN

- Bowles, Joseph E. Alih Bahasa Oleh Silaban, Pantur. (1988). Analisis dan Desain Pondasi Jilid 1 (Edisi 4). Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Geotechnical Engineering Center. (2013). Manual Pondasi Tiang (4<sup>th</sup> Edition). Bandung: Geotechnical Engineering Center (GEC), Universitas Katolik Parahyangan.