

LAPORAN PENELITIAN

***“Analisis Konstanta Pegas pada Fondasi Tiang
(Studi Kasus: Gedung Type B DPRD Surabaya)”***

Dr. Yuki Achmad Yakin



**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL
BANDUNG - 2020**

Analisis Konstanta Pegas pada Fondasi Tiang (Studi Kasus: Gedung Type B DPRD Surabaya)

**YUKI ACHMAD YAKIN, DESTI SANTI PRATIWI,
BERRY FAWAZ BILALDY**

Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional, Bandung
Email: yakinachmadyuki@gmail.com

ABSTRAK

Konstanta pegas tanah (k) merupakan suatu hubungan konsep pengertian di antara tekanan tanah dan defleksi. Nilai konstanta pegas sudah banyak digunakan di dalam analisis konstruksi bagian-bagian fondasi. Nilai k dipakai untuk menghitung besarnya reaksi pada kepala tiang atau besarnya penurunan elastis pada pondasi. Konstanta pegas pada tanah terdiri dari dua arah, yaitu arah vertikal dan arah horizontal. Pada penelitian ini akan dilakukan analisis perhitungan nilai k pada lapisan tanah pasir dan lempung menggunakan Program Lpile dan Allpile. Perhitungan nilai k untuk arah horizontal dilakukan menggunakan metode kurva $p - y$ (Program Lpile) sedangkan untuk arah vertikal menggunakan metode kurva $t - z$ (Program Allpile). Nilai k yang didapatkan dari kurva $p - y$ dan kurva $t - z$ akan dibandingkan dengan metode konvensional yang biasa digunakan. Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai k arah horizontal dengan metode $p - y$ lebih besar dibandingkan dengan konvensional, sedangkan nilai k arah vertikal hasil metode $t - z$ lebih kecil dibandingkan dari metode konvensional.

Kata kunci: konstanta pegas tanah, N-SPT, kurva $p - y$, kurva $t - z$, Allpile, Lpile

ABSTRACT

The soil spring constant (k) is a correlation concept between soil pressure and deflection. The value of spring constant has been widely used in the analysis of foundation parts. The k value is used to calculate the magnitude of the reaction at the pile head or elastic settlement in the foundation. Soil spring constant consists of two directions, vertical direction and horizontal direction. This research will analyze the calculation of the k value on sand and clay sil layers using Lpile and Allpile Program. Calculation of the k value for the horizontal direction was used the $p - y$ curve method (Lpilee Program), while for the vertical direction used the $t - z$ cuve method (Allpile). The k values obtained from the $p - y$ curve and th $t - z$ curve will be compared with convntional methiods. The analysis results show that the horizontal k value with the $p - y$ method is greater than the conventional method, while the k value in the vertical direction from the $t - z$ method is smaller than the conventional method.

Keywords: soil spring constant, N-SPT, $p - y$ curve, $t - z$ curve, Allpile, Lpile

1. PENDAHULUAN

Suatu elemen struktur bangunan yang berhubungan langsung dengan tanah disebut fondasi. Secara umum fungsi dari fondasi yaitu menahan beban struktur atas dan mendistribusikannya ke lapisan tanah sehingga tanah tidak akan mengalami penurunan lebih besar dari penurunan izin yang telah ditentukan. Oleh karena itu, fondasi dalam sudah umum digunakan untuk mengakomodir infrastruktur yang modern.

Dalam mendesain fondasi dari sebuah bangunan gedung dibutuhkan parameter tanah dasar untuk mengetahui sifat, tebal dan susunan tanah dasar. Fungsi tanah adalah sebagai media pendukung bagi seluruh komponen bangunan. Oleh karena itu sangat diperlukan penyelidikan geoteknik untuk mengetahui karakteristik tanah secara lengkap sebelum perencanaan pembangunan gedung dimulai agar aman secara teknis dan metode konstruksi serta ekonomis. Salah satu parameter yang didapat dari penyelidikan geoteknik adalah nilai konstanta pegas tanah.

Konstanta pegas tanah yaitu rasio/ perbandingan antara tekanan tanah pada titik tertentu dari permukaan kontak dengan defleksi yang dihasilkan. Konstanta pegas pada tanah terdiri dari dua arah, yaitu arah vertikal dan arah horizontal. Nilai konstanta pegas ini nantinya akan dibutuhkan oleh perencana gedung untuk memperhitungkan berat dari gedung tersebut agar tidak mengalami penurunan yang mengakibatkan kegagalan konstruksi.

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui metode yang tepat untuk mencari nilai konstanta pegas tanah menggunakan metode kurva $p - y$ dan kurva $t - z$.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah

Tanah merupakan himpunan material, bahan organik, dan endapan-endapan yang relatif lebih lunak (*soft*) atau lepas (*loose*), yang berada di atas batuan dasar (*bedrock*). Tanah akan berubah bentuk dari batuan induknya (pelapukan batuan) akibat proses fisik maupun kimia (Hardiyatmo, H. C., 2001). Menurut Hardiyatmo, H. C. (2002), proses pembentukan tanah dapat terjadi akibat pengaruh erosi, air, angin, manusia maupun akibat perubahan cuaca atau suhu. Proses kimia yang dapat berpengaruh terhadap pelapukan batuan dapat terjadi karena oksigen, air (terutama yang mengandung asam atau alkali), karbon dioksida ataupun proses-proses kimia lainnya. Jenis tanah dapat dibedakan menjadi dua berdasarkan lokasinya, yaitu tanah residual (*residual soil*) dimana tanah masih berada di tempat asalnya dan tanah terangkut (*transported soil*) jika tanah telah berpindah tempat dari asalnya (Hardiyatmo, H. C., 2002).

Menurut Sosrodarsono (1994), tanah juga merupakan pondasi pendukung suatu bangunan, atau bahkan merupakan bahan konstruksi dari bangunan itu sendiri (tanggul atau bendungan), atau kadang-kadang sebagai sumber penyebab gaya luar pada bangunan (tembok/dinding penahan tanah).

2.2 Klasifikasi Tanah

Klasifikasi tanah merupakan ilmu yang mempelajari mengenai pengelompokan beberapa jenis tanah yang berbeda ke dalam kelompok-kelompok berdasarkan kesamaan sifat yang dimiliki. Manfaat dari sistem klasifikasi tanah yaitu memberikan suatu bahasa yang mudah diingat untuk menjelaskan secara singkat sifat-sifat umum dari tanah. Umumnya terdapat dua metode klasifikasi tanah yang dapat digunakan yaitu sistem klasifikasi AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Official*) dan sistem klasifikasi USCS (*Unified Soil*

Classification System). Sistem klasifikasi tanah USCS dilakukan dengan menggunakan tabel yang ditunjukkan pada **Gambar 1** di bawah ini.

Klasifikasi umum		Simbol klasifikasi	Nama jenis	Kriteria klasifikasi	
Tanah berbutir kasar, lebih dari 50% terdapat pada ayakan 74 μ	50% atau lebih bagian kasar dari butiran kasar tertahan pada ayakan 4,76 mm	Kerikil berpasir	GW	Kerikil yang mempunyai pembagian ukuran butir yang baik, campuran kerikil dan pasir, sedikit atau tanpa butiran halus	$U_c = D_{40}/D_{10}$ lebih besar dari 4 $U_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{40}}$ bernilai antara 1-3
			GP	Kerikil yang mempunyai pembagian ukuran butir yang buruk, campuran kerikil dan pasir, sedikit atau tanpa butiran halus	Tidak sesuai dengan kriteria GW.
		Kerikil berikut butiran halusnya	GM	Kerikil berlengan, campuran kerikil, pasir dan lempung	Batas Atterberg terletak di bawah garis A atau index Plastisitas < dari 4
			GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil, pasir dan lempung	Batas Atterberg terletak di atas garis A dan index Plastisitas > dari 7
	50% atau lebih pasir kasar dari butiran kasar lolos melalui ayakan 4,76 mm	Pasir berpasir	SW	Pasir yang mempunyai pembagian ukuran butir yang baik, pasir dari pecahan kerikil, tanpa atau sedikit butiran halus	$U_c = D_{40}/D_{10}$ lebih besar dari 6 $U_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{40}}$ bernilai antara 1-3
			SP	Pasir yang mempunyai pembagian ukuran butir yang buruk, pasir dari pecahan kerikil, tanpa atau sedikit butiran halus	Tidak sesuai dengan kriteria SW
		Pasir berikut butiran halusnya	SM	Pasir berlengan, campuran pasir dan lengan	Batas Atterberg terletak di bawah garis A atau index Plastisitas < dari 4
			SC	Pasir berlempung, campuran pasir dan lempung	Batas Atterberg terletak di atas garis A atau index Plastisitas > dari 7
Tanah berbutir halus lebih dari 50% lolos ayakan 74 μ	Lanau dan lempung LL \leq 50	ML	Lanau inorganik, pasir sangat halus, debu padas, pasir halus berlengan atau berlempung	Klasifikasi berdasarkan pada persentase butiran halus 50% atau kurang : GW, GP, SW, SP Lebih dari 12% : GM, GC, SM, SC 5% sd 12% : Batasan Klasifikasi yang memungkinkan Tidak ada simbol kandungan	
		CL	Lempung inorganik dengan plastisitas rendah atau sedang, lempung dari kerikil, lempung berpasir, lempung berlengan, lempung dengan viskositas rendah	Diagram plastisitas Untuk mengklasifikasi kadar butiran halus yang terkandung dalam tanah berbutir halus dan tanah berbutir kasar. Batas Atterberg yang termasuk dalam daerah yang diarsir berarti batasan klasifikasinya menggunakan dua simbol	
		OL	Lanau organik dengan plastisitas rendah dan lempung berlengan organik		
		MH	Lanau inorganik, pasir halus atau lanau dari mikro atau ganggang (diatomae), lanau elastis	MH dan OH	
	Lanau dan lempung LL > 50	CH	Lempung inorganik dengan plastisitas tinggi, lempung dengan viskositas tinggi	CH	
		OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi	MH dan OH	
		PT	Gambut, lumpur hitam dan tanah berkarbon Organik tinggi lainnya	Dapat dibedakan dengan mata dan tangan ASTM lihat D 2488-66T.	

Gambar 1. Sistem klasifikasi tanah USCS
(Sumber: Bowles, J. E., 1992)

2.3 Penyelidikan Lapangan

Penyelidikan tanah di lapangan dilakukan untuk mendapatkan gambaran mengenai bentuk geologi maupun kondisi lapisan tanah dan letak kedalaman muka air tanah di lokasi tertentu. Salah satu metode penyelidikan yang digunakan di lapangan adalah Uji Penetrasi Standar (*Standard Penetration Test*). Uji penetrasi standar atau uji SPT merupakan pengujian yang dilakukan dengan cara pengeboran tanah untuk mengetahui perlawanan dinamik tanah serta dapat juga dilakukannya pengambilan contoh tanah terganggu dengan teknik penumbukan. Nilai perlawanan dinamik ditunjukkan dengan nilai NSPT, dimana nilai tersebut didapat jumlah pukulan untuk memasukan tabung belah sedalam 45 cm ($N_1 + N_2 + N_3$) dalam arah tegak. Uji SPT dilakukan pada interval 2 m pengeboran dan dihentikan pada saat nilai N-SPT ≥ 60 berturut-turut sebanyak 3 (tiga) kali. Alat uji penetrasi lapangan dengan SPT dijelaskan pada SNI 4153:2008. Adapun hubungan antara nilai N-SPT dengan konsistensi tanah dapat dilihat pada **Tabel 1** dan **Tabel 2**.

Tabel 1. Hubungan Nilai N-SPT dan Konsistensi Tanah Lempung

Konsistensi	$N - SPT$	q_u [kN/m ²]
Sangat lunak	0 – 2	0 – 25
Lunak	2 – 4	12 – 25
Sedang	4 – 8	50 – 100
Kaku	8 – 15	100 – 200
Sangat Kaku	15 – 30	200 – 400
Keras	>30	>400

(Sumber: Meyerhof, G.G., 1956)

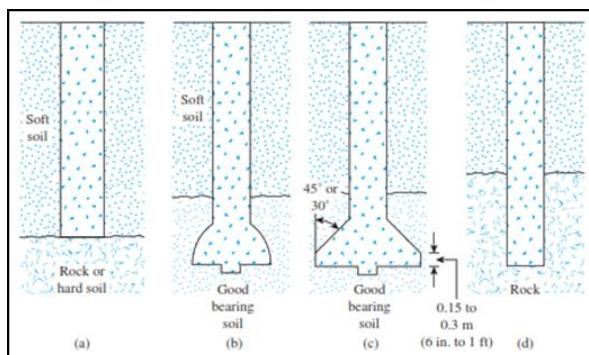
Tabel 2. Hubungan Nilai N-SPT dan Konsistensi Tanah Pasir

Konsistensi	$N - SPT$	Friction [°]
Sangat lepas	0 – 4	<28
Lepas	4 – 10	28 – 30
Sedang	10 – 30	31 – 36
Padat	30 – 50	37 – 41
Sangat padat	>50	>41

(Sumber: Terzaghi, K. & Peck, R. B., 1967)

2.4 Fondasi Tiang

Secara umum fondasi tiang ialah suatu struktur konstruksi fondasi yang mampu menahan gaya orthogonal ke sumbu tiang dengan cara menyerap lenturan (Sosrodarsono, S. & Nakazawa, K., 1983). Fondasi tiang dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu fondasi tiang pancang dan fondasi tiang bor. Fondasi tiang pancang merupakan fondasi pabrikasi sedangkan fondasi tiang bor merupakan fondasi yang dicetak di tempat. Penamaan tiang bor dikarenakan tanah dibor terlebih dahulu sehingga membentuk lubang pada saat pelaksanaannya. Setelah lubang bor dibuat, selanjutnya dilakukan penuangan campuran beton ke dalam lubang bor dan akhirnya dipadatkan. Beberapa jenis tiang bor mengacu pada **Gambar 2** di bawah ini.



Gambar 2. Jenis-jenis fondasi tiang bor

(Sumber: Das, B. M., 2016)

2.5 Konstanta Pegas

Konstanta pegas tanah (*soil spring constant*) adalah rasio/ perbandingan antara tekanan tanah pada titik tertentu dari permukaan kontak dengan defleksi yang dihasilkan. Konstanta pegas sudah banyak digunakan di dalam analisis konstruksi bagian-bagian pondasi. Konstanta pegas pada tanah terdiri dari dua arah, yaitu arah vertikal dan arah horizontal. Konstanta pegas (k) arah vertikal merupakan suatu konstanta elastis yang menunjukkan gaya dalam arah vertikal sehingga timbul perpindahan (*displacement*) arah vertikal pada kepala tiang/ pondasi.

Persamaan yang digunakan untuk menghitung konstanta pegas untuk arah horizontal ditunjukkan pada **Persamaan 1** sebagai berikut (Sosrodarsono, S. & Nakazawa, K., 1983).

$$k_h = k_{ho} \times \left(\frac{B_h}{30}\right)^{-\frac{3}{4}} \quad \dots(1)$$

halmana:

k_h = konstanta pegas tanah arah horizontal [kg/cm³],

k_{ho} = konstanta awal pegas tanah [kg/cm³],

B_h = dimensi lateral terkecil pada dasar tiang [cm].

Persamaan yang digunakan untuk analisis konstanta pegas untuk arah vertikal ditunjukkan pada **Persamaan 2** sebagai berikut (Sosrodarsono, S. & Nakazawa, K., 1983).

$$k_v = 0,2 \times E_o \times D^{\frac{3}{4}} \quad \dots(2)$$

halmana:

k_v = konstanta pegas tanah arah vertikal [kg/cm³],

E_o = modulus deformasi tanah fondasi, didapat dari $28 \times$ Nilai N-SPT [kg/cm²],

D = diameter tiang [cm].

Menurut Sosrodarsono dan Nakazawa (1983) menyatakan bahwa untuk mendapatkan besarnya nilai k_v , kurva pembebahan-penurunan (*load settlement curve*) yang merupakan hasil percobaan pembebahan vertikal pada pondasi/tiang lebih dapat dipercaya keakuratannya. Akan tetapi untuk pemakaian praktis, nilai k_v dapat dihitung berdasarkan perhitungan secara empiris dengan menggunakan cara statistik berdasarkan data hasil percobaan pembebahan.

2.5 Metode $p - y$ curve

Metode penyelesaian untuk menganalisis defleksi lateral pada tiang salah satunya dapat menggunakan Metode $p - y$ curve. Metode ini menunjukkan kurva hubungan antara beban lateral dan defleksi antara tanah dan tiang. Sumbu- x yaitu menunjukkan tahanan lateral tanah persatuan panjang tiang sedangkan sumbu- y menunjukkan defleksi lateral pada tiang (Nasrulloh, Purwana, Y. M. & Surjandari, N. S., 2017).

Analisis menggunakan metode $p - y$ curve ditunjukkan pada **Persamaan 3** sebagai berikut (Nasrulloh, Purwana, Y. M. & Surjandari, N. S., 2017).

$$\frac{d^2}{dx^2} \left(E_p I_p \frac{d^2 y}{dx^2} \right) + P_x \left(\frac{d^2 y}{dx^2} \right) - p - W \quad \dots(3)$$

halmana:

P_x = beban aksial [kN/m²],

W = beban lateral yang terdistribusi disepanjang tiang [kN],

p = *soil resistance* [kN/m²],

E_p = modulus elastisitas tiang [kN/m²],

y = defleksi lateral yang terjadi di kedalaman x dengan panjang tiang L [m],

I_p = momen inersia tiang [kN/m⁴].

Solusi untuk persamaan di atas dapat diperoleh jika modulus tanah dapat dinyatakan sebagai fungsi x dan y . Deskripsi numerik modulus tanah paling baik dilakukan oleh sekelompok kurva yang menunjukkan reaksi tanah p sebagai fungsi defleksi y (Reese, L. C., Cox, W. R., & Koop, F. D., 1975). Secara umum, kurva ini adalah nonlinier dan tergantung pada beberapa

parameter, termasuk kedalaman, kekuatan geser tanah, dan jumlah siklus beban (Reese, 1977).

Menurut Nasrulloh, Purwana, Y. M. & Surjandari, N. S. (2017) menyatakan bahwa analisis Metode $p - y$ *curve* dapat dilakukan secara numerik yaitu dengan menggunakan program *Lpile*. Program *Lpile* merupakan program komputer berbasis numerik yang dapat menganalisis kapasitas perpindahan lateral dari tiang pancang. Pada Program *Lpile* analisis dilakukan dengan dua langkah yang saling berhubungan untuk memberikan informasi mengenai perilaku tiang yang menerima bebanan lateral. Hasil analisis dari program ini yaitu berupa kurva $p - y$ dan juga beberapa gaya dalam pada tiang yang ditunjukkan dalam grafik, seperti *bending moment*, beban *vs* defleksi, serta *shear force* yang terjadi pada tiang tersebut.

2.5 Kurva $t - z$

Kurva $t - z$ merupakan suatu kurva hubungan antara nilai tegangan geser pada selimut tiang (t) dengan perpindahan tiang (z), sehingga dari kurva $t - z$ diperoleh rasio transfer beban dengan kuat geser tanah di setiap kedalaman dan peralihan yang terjadi. Kurva $t - z$ dikembangkan pertama kali oleh Seed, H. B., & Reese, L. C. (1957), kemudian konsep pengalihan beban lanjut dikembangkan oleh Kraft, L. M., Ray, R. P., & Kagawa, T. (1981) sebagai dasar kriteria yang dapat diterapkan untuk berbagai macam pondasi tiang dan jenis tanah.

Kurva $t - z$ dapat diselesaikan dengan menggunakan program komputer *Allpile*. *Allpile* merupakan suatu program komputer yang berfungsi untuk menganalisis kapasitas beban tiang secara efisien dan akurat yang dikembangkan oleh *CivilTech Software*. *Allpile* dapat menangani semua jenis tiang, diantaranya tiang bor, tiang pancang, tiang baja, dan lain-lain. Nilai konstanta pegas tanah pada kurva $t - z$ didapat dari kondisi elastis pada suatu jenis tanah, dimana nilai tegangan geser pada selimut tiang (t) dibagi dengan nilai perpindahan tiang (z).

3. METODE PENELITIAN

3.1 Tahapan Penelitian

Tahapan kegiatan penelitian dalam tugas akhir ini dapat dilihat lebih rinci pada **Gambar 3**.

3.1 Pengumpulan Data Penelitian

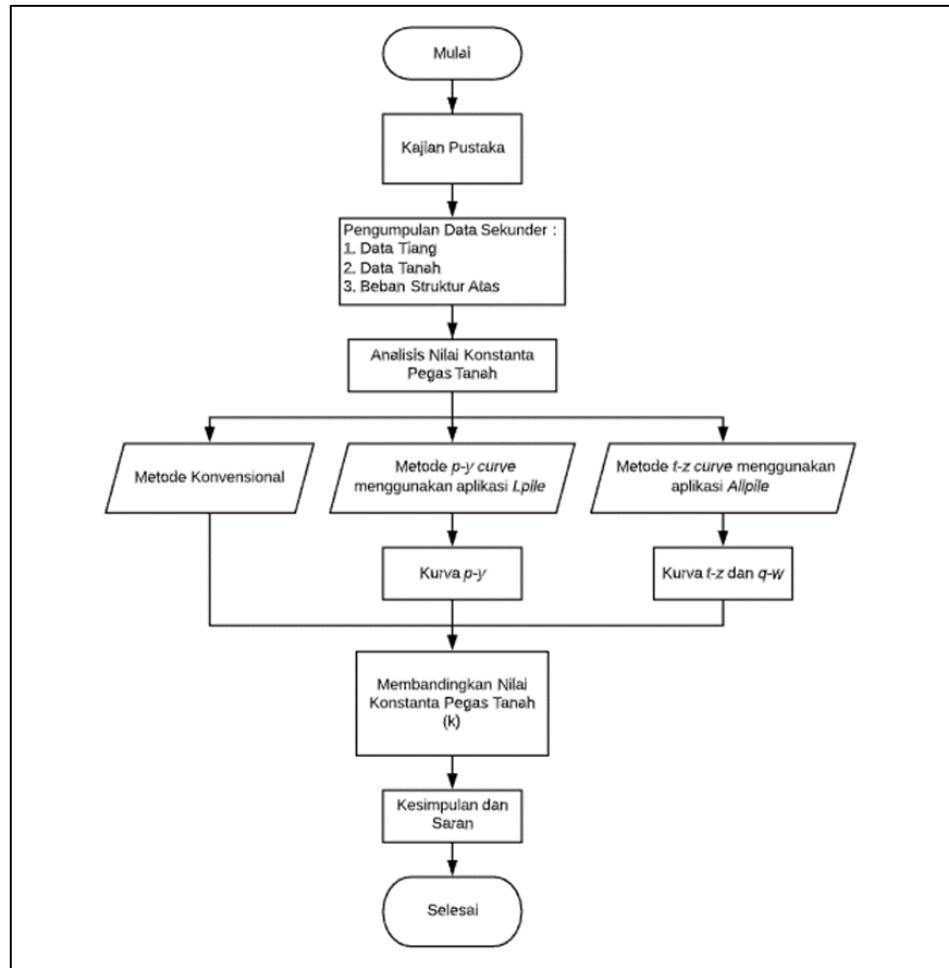
Pengumpulan data kegiatan penelitian dalam tugas akhir digunakan untuk pembuatan kurva $p - y$ yang menggunakan aplikasi *Lpile* dan kurva $t - z$ dan $q - w$ yang menggunakan aplikasi *Allpile* berupa data hasil penyelidikan lapangan berupa data jenis lapisan tanah untuk kasus buatan dan uji bor mesin termasuk hasil pengujian laboratorium berupa data sifat-sifat fisik (uji indeks) dan mekanis tanah (uji mekanik) untuk kasus lapangan.

3.2 Simulasi Model Menggunakan Program Aplikasi *Allpile* dan *Lpile*

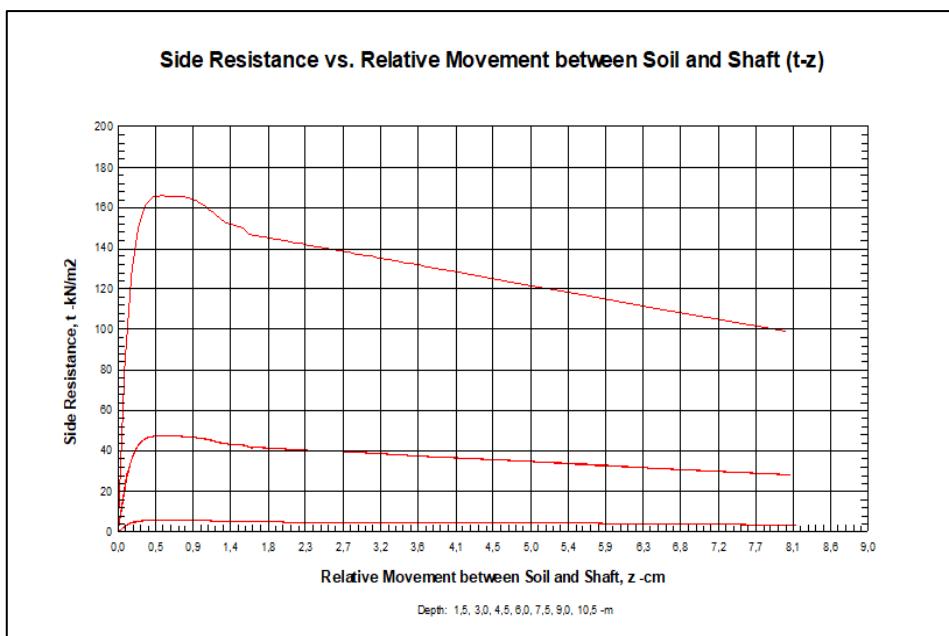
Parameter tanah yang telah digunakan dalam kegiatan penelitian dimasukkan ke dalam (*inputting data*) *Allpile* dan *Lpile*. Salah satu bentuk hasil simulasi model *Allpile* dan *Lpile* dapat dilihat pada **Gambar 4** dan **Gambar 5**.

3.3 Analisis dan Pembahasan

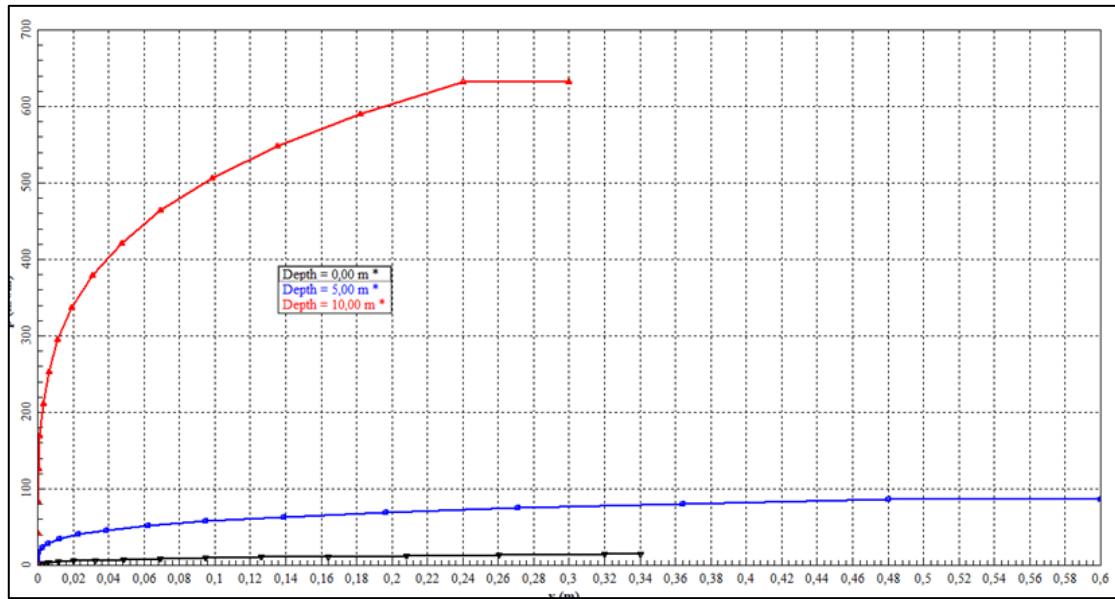
Data parameter yang dihasilkan berupa $p - y$ *curve* dan $t - z$ *curve* yang telah diperoleh akan dihitung secara manual agar mendapatkan nilai konstanta pegas. Selanjutnya dilakukan perbandingan antara nilai konstanta pegas tanah yang dihasilkan dari perhitungan metode konvensional, $p - y$ *curve* dan $t - z$ *curve*.



Gambar 3. Tahapan penelitian



Gambar 4. Simulasi kurva $t - z$ menggunakan program *Allpile*

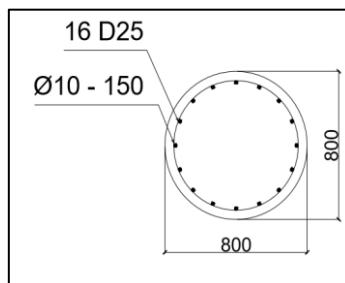


Gambar 5. Simulasi Kurva $p - y$ menggunakan program *Lpile*

4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Tiang

Data tiang yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini yaitu tiang *bored pile* dengan panjang tiang 30 meter menerus ke bawah hingga dasar tiang dan diameter tiang sebesar 0,8 meter. Material yang digunakan pada tiang yaitu beton *ready mix* dengan nilai f'_c sebesar 35 MPa. Besi utama yang digunakan pada tiang adalah besi dengan diameter 25 mm dan besi spiral yang digunakan pada tiang adalah besi dengan diameter Ø10-150 seperti terlihat pada **Gambar 6**.



Gambar 6. Detail tiang bor

4.2 Data Tanah

Data tanah yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini terdiri dari 22 kombinasi tanah ditambah dengan data hasil penyelidikan lapangan. Data penyelidikan lapangan berupa hasil pemboran mesin yang dilakukan pada lokasi penelitian seperti yang tertera pada **Tabel 3** di bawah ini.

4.3 Beban Struktur Atas

Beban struktur atas yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini dihitung berdasarkan data di lapangan. Pada tabel terdapat hasil perhitungan beban atas secara manual. Beban struktur atas tersebut digunakan untuk menganalisis nilai konstanta pegas tiang menggunakan metode $p - y$ curve dan $t - z$ curve. Besar beban gedung yang digunakan pada analisis ditunjukkan pada **Tabel 4** di bawah ini.

Tabel 3. Parameter Tanah Dasar

Jenis	N-SPT	γ'	φ	c	K	E_{50}	D_r
<i>Very Loose Sand</i>	1	5,6	26,1	0	0,5	-	4,47
	4	7,8	0	19,2	12	0,0174	-
<i>Soft Clay</i>	2	6,3	0	9,6	6	0,0265	-
	3	7,3	0	15,6	9,8	0,0198	-
<i>Loose Sand</i>	4	6,7	29	0	2,8	-	16,43
<i>Very Soft Clay</i>	1	5,2	0	3,6	2,3	0,0481	-
	2	6,4	0	10,2	6,4	0,0256	-
<i>Dense Sand</i>	35	9,6	38,5	0	29,1	-	70,16
<i>Very Dense Sand</i>	50	10,6	39,9	0	41,8	-	84,87
<i>Medium Sand</i>	27	9,5	37,6	0	23,3	-	61,96

Tabel 4. Beban pada Gedung

Beban Mati Dak Atap [kg]	Beban Mati Lantai 1-7 [kg]	Beban Mati Basement [kg]	Beban Hidup [kg]	Total beban [kg]
4.414,908	10.8352,916	11.150,188	55.203,94	179.121,952

4.4 Metode Konvensional

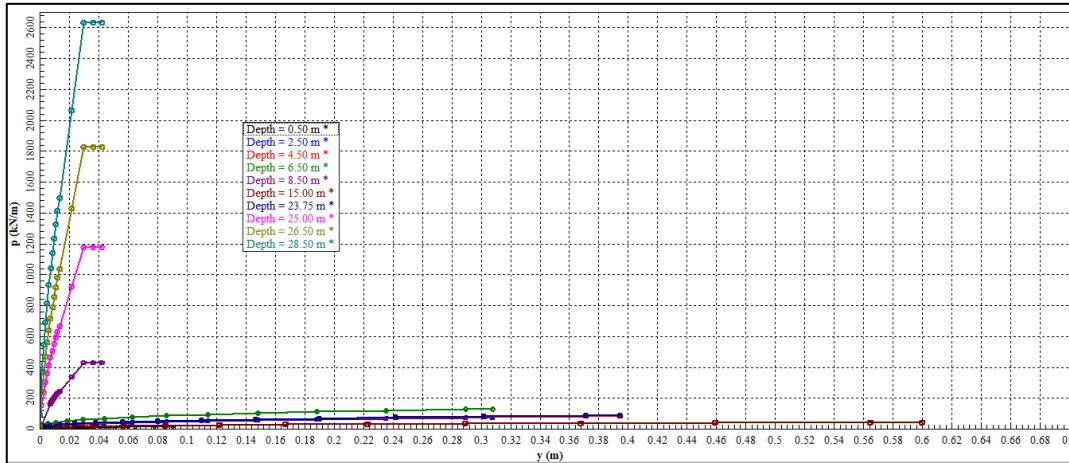
Pada metode ini perhitungan dilakukan secara manual menggunakan rumus pada **Persamaan 1** dan **Persamaan 2**. **Tabel 5** merupakan hasil perhitungan nilai konstanta pegas tanah arah horizontal (k_h) dan konstanta pegas tanah arah vertikal (k_v) beserta kedalaman dan nilai N-SPT setiap lapisan tanahnya.

Tabel 5. Hasil Perhitungan k_h dan k_v Metode Konvensional

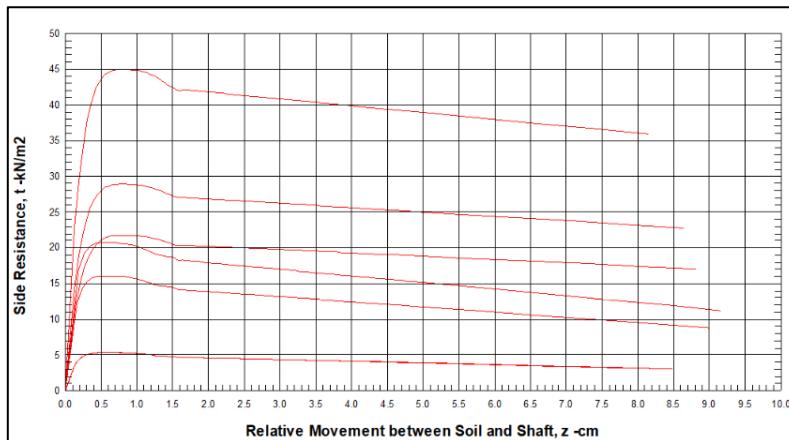
Jenis	N-SPT	Kedalaman [m]	k_h [kg/cm ³]	k_v [kg/cm ³]
<i>Very Loose Sand</i>	1	1	0,107	0,209
	4	2,5	0,494	0,837
<i>Soft Clay</i>	2	4,5	0,23	0,419
	3	6,5	0,36	0,628
<i>Loose Sand</i>	4	8,5	0,494	0,837
<i>Very Soft Clay</i>	1	15	0,107	0,209
	2	23,75	0,23	0,419
<i>Dense Sand</i>	35	25	5,41	7,327
<i>Very Dense Sand</i>	50	26	8,019	10,467
<i>Medium Sand</i>	27	28,5	4,063	5,652
		30	-	-

4.5 Metode $p - y$ curve dan $t - z$ curve

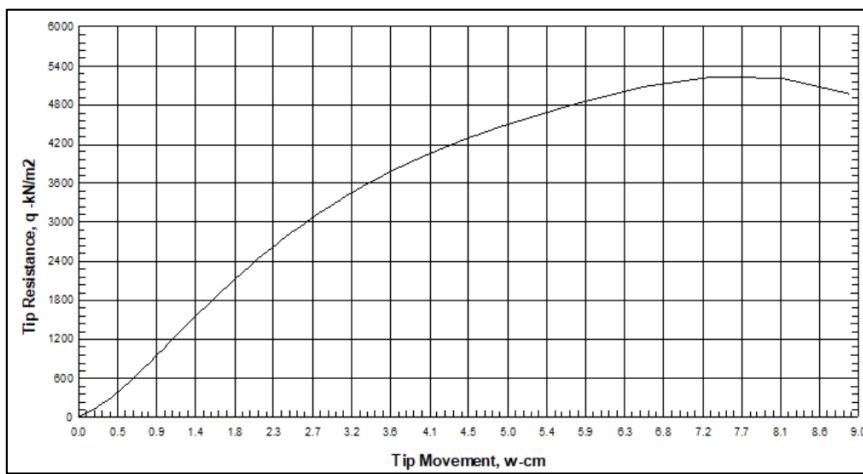
Pada metode ini perhitungan dilakukan dengan menggunakan aplikasi *Lpile* untuk menghitung nilai konstanta pegas tanah arah horizontal (k_h). **Gambar 7** merupakan kurva $p - y$ untuk menghitung nilai k_h pada lokasi penelitian. **Gambar 8** dan **Gambar 9** merupakan kurva $t - z$ dan $q - w$ untuk menghitung nilai k_v . Kurva $q - w$ digunakan untuk menghitung nilai k_v pada ujung tiang. Nilai q merupakan nilai tahanan ujung, sedangkan w ialah besar perpindahan ujung tiang.



Gambar 7. Kurva $p - y$ pada Gedung Type B DPRD Surabaya



Gambar 8. Kurva $t - z$ pada Gedung Type B DPRD Surabaya



Gambar 9. Kurva $q - w$ pada Gedung Type B DPRD Surabaya

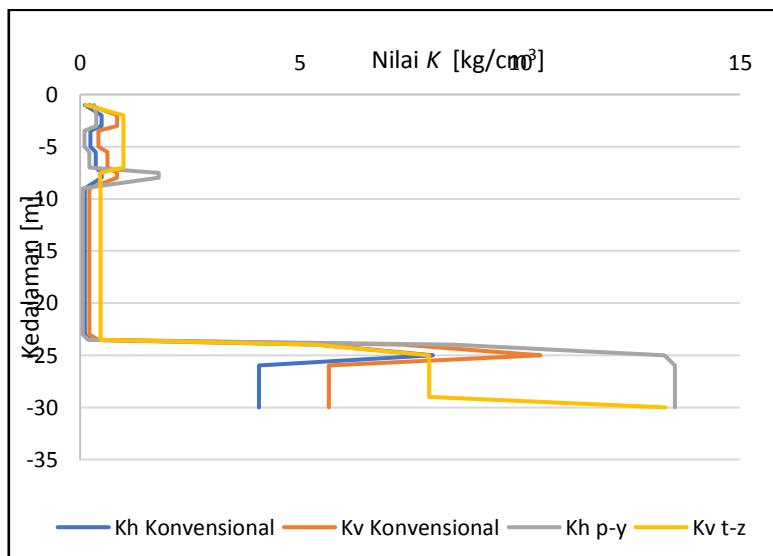
4.6 Membandingkan Nilai Konstanta Pegas Tanah

Nilai k_h dan k_v konstanta pegas tanah yang dihitung dengan metode konvensional akan dibandingkan dengan nilai k_h yang dihitung dengan metode $p - y$ curve dan nilai k_v yang dihitung dengan metode $t - z$ curve agar dapat dilihat metode yang lebih baik digunakan untuk mencari nilai konstanta pegas tanah. **Tabel 6** merupakan hasil dari perbandingan nilai konstanta pegas antara metode konvensional dan metode $p - y$ curve dan $t - z$ curve.

Pada tabel tersebut dapat dilihat bahwa nilai k_h menggunakan metode konvensional lebih kecil daripada nilai k_h menggunakan metode $p - y$ curve. Berbeda halnya dengan nilai k_v . Terlihat bahwa nilai k_v pada metode konvensional ada yang lebih kecil daripada nilai k_v menggunakan metode $t - z$ curve, tetapi ada juga pada kombinasi tanah tertentu nilai k_v pada metode konvensional lebih besar daripada nilai k_v pada metode $t - z$ curve. Agar lebih mempermudah, maka dapat dilihat pada **Gambar 10** dimana perbandingan ditampilkan dengan menggunakan grafik.

Tabel 6. Nilai Konstanta Pegas Tanah pada Gedung Type B DPRD Surabaya

Jenis	N-SPT	Kedalaman [m]	k_h [kg/cm ³]	k_v [kg/cm ³]	$k_h p - y$ [kg/cm ³]	$k_v t - z$ [kg/cm ³]
<i>Very Loose Sand</i>	1	1	0,107	0,209	0,3187	0,1261
	4	2,5	0,494	0,837	0,3638	0,9813
<i>Soft Clay</i>	2	4,5	0,23	0,419	0,1044	0,9813
	3	6,5	0,36	0,628	0,21016	0,9813
<i>Loose Sand</i>	4	8,5	0,494	0,837	1,7869	0,447
<i>Very Soft Clay</i>	1	15	0,107	0,209	0,0593	0,4628
	2	23,75	0,23	0,419	0,1803	0,4628
<i>Dense Sand</i>	35	25	5,41	7,327	8,4805	5,3271
<i>Very Dense Sand</i>	50	26	8,019	10,467	13,2718	7,9336
<i>Medium Sand</i>	27	28,5	4,063	5,652	13,518	7,9336
		30	-	-	-	13,3004



Gambar 10. Perbandingan ketiga metode pada Gedung Type B DPRD Surabaya

5. KESIMPULAN

Kesimpulan dari hasil penelitian ini adalah:

- Hasil analisis konstanta pegas menggunakan metode konvensional menunjukkan bahwa nilai konstanta pegas arah horizontal dan vertikal untuk tanah lempung sama hasilnya dengan tanah pasir dengan nilai N-SPT nya sama besar. Hal ini dikarenakan persamaan yang digunakan hanya menggunakan data N-SPT lapisan tanah tersebut, sehingga hasil dari persamaan tersebut akan sama besarnya.
- Hasil analisis konstanta pegas arah horizontal menunjukkan bahwa nilai konstanta pegas arah horizontal menggunakan metode $p - y$ curve lebih kecil daripada menggunakan metode konvensional untuk tanah dengan jenis tanah *very soft clay* hingga

- medium clay*, dan lebih besar daripada menggunakan metode konvensional untuk tanah dengan jenis tanah *stiff clay* hingga *hard clay*.
3. Hasil analisis konstanta pegas tanah arah horizontal menunjukkan bahwa nilai konstanta pegas arah horizontal menggunakan metode *p – y curve* pada jenis tanah pasir lebih besar daripada menggunakan metode konvensional.
 4. Hasil analisis konstanta pegas tanah arah vertikal menunjukkan bahwa nilai konstanta pegas arah vertikal menggunakan metode *t – z curve* pada jenis tanah lempung lebih besar daripada menggunakan metode konvensional.
 5. Hasil analisis konstanta pegas tanah arah vertikal menunjukkan bahwa nilai konstanta pegas arah vertikal menggunakan metode *t – z curve* pada jenis tanah pasir lebih kecil daripada menggunakan metode konvensional.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional. (2008). *SNI 4153:2008 Cara Uji Penetrasi Lapangan dengan SPT*. Jakarta: BSN.
- Bowles, J. E. (1992). *Analisis dan Desain Pondasi Edisi 4 Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Das, B. M. (2016). *Principles of Foundation Engineering Eight Edition*. Boston: Cengage Learning.
- Hardiyatmo, H. C. (2001). *Teknik Fondasi 1 Edisi II*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Hardiyatmo, H. C. (2002). *Mekanika Tanah 1*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Kraft, L. M., Ray, R. P., & Kagawa, T. (1981). Theoretical of t-z- Curves. *J. Geotech. Engrg. ASCE*, 107(11), 1543-1561.
- Meyerhof, G. G. (1956). Penetration test and bearing capacity of cohesionless soils. *ASCE Soil Mech Found Div*, 82, 866 - 1019.
- Nasrulloh, Niken Silmi P, & Yusep Muslih P. (2017). *Analisis Defleksi Lateral Tiang Tunggal pada Tanah Kohesif*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Reese, L. (1977). Design and Evaluation of Load Tests on Deep Foundations. *J. Geotech. Eng. ASCE*, 103(4), 287-305.
- Reese, L. C., Cox, W. R., & Koop, F. D. (1975). Field testing and analysis of laterally loaded piles in stiff clay. *Proceedings of the VII Annual Offshore Technology Conference* (hal. 672-690). Houston, Texas: OTC.
- Seed, H. B., & Reese, L. C. (1957). The Action of Soft Clay Along Friction Piles Transactions. *ASCE*, 122, 731-754.
- Sosrodarsono, S. (1994). *Mekanika Tanah & Teknik Pondasi*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Sosrodarsono, S., & Nakazawa, K. (1983). *Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Terzaghi, K., & Peck, R. B. (1967). *Soil Mechanics in Engineering Practice, 2nd Edition*. New York: Johhn Willey.