

ANALISIS EFEKTIVITAS KEDALAMAN *GROUTING* UNTUK MENINGKATKAN DAYA DUKUNG LATERAL FONDASI TIANG BETON PRACETAK

Fanica¹ dan Alfred J. Susilo²

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
Email: fanicaalfan24@gmail.com

²Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
Email: alfredsusilo@gmail.com

ABSTRAK

Fondasi tiang pada umumnya digunakan untuk pembangunan gedung bertingkat dan dalam perencanaannya, beban yang lebih mempengaruhi fondasi adalah beban lateral dibandingkan beban aksial. Tanah lunak tidak dapat memberikan daya dukung baik lateral maupun aksial yang besar, sehingga tanah lunak membutuhkan perlakuan khusus seperti perbaikan tanah. Salah satu cara memperbaiki tanah lunak adalah dengan cara *grouting*. Tujuan dilakukannya *grouting* untuk membuat tanah menjadi padat dengan mengisi bahan mortar sehingga daya dukung lateral dapat meningkat. Metode p-y yang diusulkan Reese et al., adalah salah satu metode yang dapat digunakan untuk menganalisis fondasi tiang yang dibebani secara lateral pada jenis tanah pasir. Analisis juga menggunakan bantuan program yang sering digunakan untuk menganalisis beban lateral pada tiang. Fondasi tiang dianalisis dalam 2 kondisi, yaitu sebelum dan setelah dilakukan *grouting* dan membandingkan daya dukung lateral 2 kondisi tersebut sehingga diperoleh efektivitas kedalaman *grouting*.

Kata kunci: fondasi tiang, *grouting*, daya dukung lateral, tanah lunak, p-y curve

1. PENDAHULUAN

Latar belakang

Keterbatasan lahan di DKI Jakarta mengakibatkan maraknya pembangunan gedung bertingkat (*high-rise building*). Pembangunan gedung bertingkat (*high-rise building*) pada umumnya menggunakan jenis fondasi tiang. Dalam mendesain fondasi tiang, beban yang harus diperhitungkan adalah beban aksial dan beban lateral. Untuk *high-rise building* yang sangat tinggi dan memiliki ukuran lebar dan panjang bangunannya berbeda terlalu jauh sehingga bisa disebut sebagai bangunan langsing, beban lateral yang lebih menentukan pada bangunan jenis ini. Beban lateral dapat berupa tekanan angin, gaya geser seismik, dan lain-lain. Sehingga dalam mendesain gedung bertingkat khususnya bangunan yang sangat tinggi dan langsing, dibutuhkan tanah yang dapat memberikan daya dukung lateral yang besar pada tiang.

Tanah lunak tidak dapat memberikan daya dukung baik aksial maupun lateral yang besar tanpa perlakuan khusus, seperti perbaikan tanah. Salah satu cara perbaikan tanah lunak adalah dengan cara *grouting*. Menurut Udiana (2013), injeksi semen atau sementasi (*grouting*) adalah proses memasukan suatu bahan berupa semen dan air dengan tekanan ke dalam rongga atau pori, rekahan dan retakan batuan sehingga dalam waktu tertentu akan menjadi padat dan keras secara fisika maupun kimiawi.

Menurut Warner (2004), tipe-tipe *grouting* antara lain: sementasi penembusan (*permeation grouting*), sementasi kompaksi (*compaction grouting*), sementasi rekahan (*fracture grouting*), sementasi campuran/jet (*mixing/jet grouting*), sementasi isi (*fill grouting*), sementasi vakum (*vaccum grouting*). *Permeation grouting* berfungsi untuk mengisi retakan, rekahan, atau kerusakan pada batuan, beton maupun rongga pori pada tanah, agregat atau media pori lainnya.

Tanjung Priok berada pada bagian utara DKI Jakarta yang terkenal akan pelabuhannya, adalah salah satu daerah yang memiliki tanah lunak di DKI Jakarta yang membutuhkan perbaikan tanah. Sebagian besar tanah di daerah Tanjung Priok adalah tanah lunak yang berpasir sehingga dapat digunakan sebagai bahan penelitian.

Batasan masalah

Dalam penelitian ini, batasan-batasan yang digunakan sebagai berikut:

1. Hanya menganalisa kapasitas daya dukung lateral fondasi tiang dengan menggunakan metode *p-y* dan bantuan program
2. Menggunakan fondasi tiang pancang dengan ukuran 40 x 40 cm dengan spesifikasi yang didapat dari brosur Adhi Beton, sedalam 24 meter sesuai dengan parameter tanah yang digunakan
3. Menggunakan kepala tiang bebas (*free head*)
4. Hanya menggunakan tipe sementasi penembusan (*permeation grouting*) dengan bahan material berupa campuran adukan semen dan air
5. Hanya melakukan penelitian dengan data tanah di daerah Tanjung Priok
6. Hanya memperhitungkan beban gravitasi untuk fondasi tiang, beban akibat gempa tidak diperhitungkan
7. Radius *grouting* tidak diperhitungkan dan diasumsikan radius *grouting* sebesar 2 kali lebar tiang di sekitar fondasi tiang
8. SNI yang digunakan sebagai acuan adalah SNI Persyaratan Perancangan Geoteknik (SNI 8640-2017)

Rumusan masalah

Rumusan masalah yang akan dibahas pada penelitian ini:

1. Analisis efektivitas kedalaman *grouting* pada tanah lunak di daerah Tanjung Priok
2. Pengaruh perbaikan tanah dengan melakukan *grouting* pada tanah lunak di daerah Tanjung Priok terhadap peningkatan daya dukung lateral fondasi tiang.

Tujuan penelitian

Beberapa tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui efektivitas kedalaman *grouting* pada tanah lunak di daerah Tanjung Priok dengan menggunakan bantuan analisis program dan metode *p-y curve*
2. Untuk mengetahui peningkatan daya dukung lateral pada fondasi tiang akibat perbaikan tanah dengan melakukan sistem *grouting* pada tanah lunak di daerah Tanjung Priok dengan menggunakan metode *p-y* dan bantuan analisis program.

Manfaat penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Berguna sebagai sumbangan pemikiran mengenai salah satu opsi dalam memperbaiki tanah
2. Berguna sebagai salah satu referensi bagi para pembaca khususnya para mahasiswa dan masyarakat yang akan melakukan penelitian mengenai tanah yang berhubungan dengan teknik sipil

Grouting

Menurut Dwiyanto, 2005 (dalam Ardiaristi dan Yanuardy, 2010), *grouting* merupakan metode untuk memperkuat tanah dan memperkecil permeabilitas tanah dengan cara menginjeksi semen atau bahan kimia ke dalam lapisan tanah.

Perbaikan tanah dengan menggunakan sistem *grouting* dapat meningkatkan daya dukung seperti dalam penelitian Asbella (2014), *grouting* yang dilakukan meningkatkan nilai N-SPT, sehingga efektivitas yang didapatkan dari perbandingan nilai N-SPT sebelum dan sesudah *grouting* adalah sekitar 150% hingga 200%.

Dengan perbaikan menggunakan sistem *grouting*, maka tanah dapat memberikan daya dukung baik aksial dan lateral yang besar kepada fondasi.

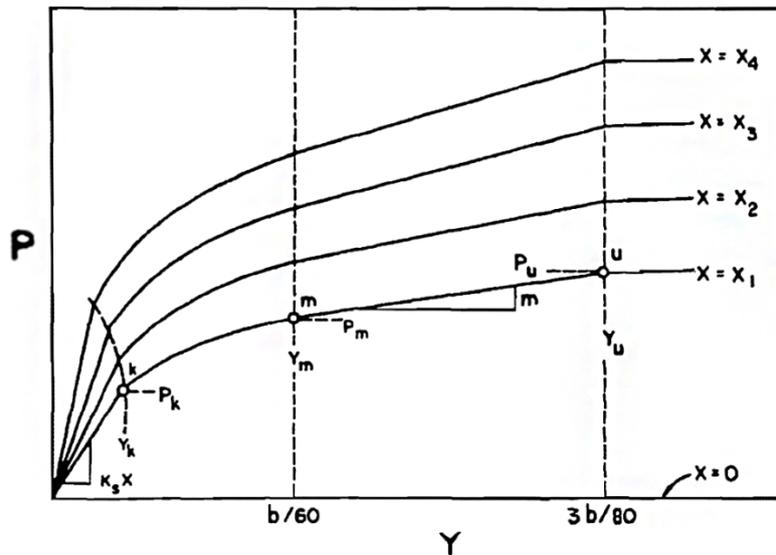
Fondasi tiang

Menurut Coduto, Kitch, dan Yeung (2016), fondasi dalam terbagi menjadi 3, yaitu *piles*, *caissons*, *pile-supported*. Fondasi tiang (*piles*) adalah fondasi yang paling umum digunakan. Bahan fondasi tiang dapat menggunakan bambu, kayu, beton, dan baja.

Fondasi dapat menahan beban aksial dan beban lateral. Beban aksial adalah beban yang bekerja secara vertikal dan berasal dari beban bangunan berupa gaya tarik dan tekan. Beban lateral adalah beban yang bekerja secara horizontal. Beban lateral berasal dari tekanan tanah lateral, tekanan air, beban angin, dan beban gempa sehingga menyebabkan gaya geser dan momen pada tiang, Beban lateral dapat menyebabkan defleksi pada tiang. (Coduto, Kitch dan Yeung, 2016)

Metode *p-y curve*

Untuk menganalisis defleksi lateral pada tiang terdapat beberapa metode yang dapat digunakan antara lain, metode *p-y*. Metode *p-y* adalah salah satu metode untuk menganalisis fondasi tiang yang dibebani secara lateral. Untuk penelitian ini, digunakan metode *p-y* yang diusulkan oleh Reese et al., pada tahun 1974 untuk menganalisis defleksi lateral tiang dengan jenis tanah pasir dan dibandingkan dengan hasil analisis metode elemen hingga. Seperti Elfaaz dan Hamdan (2016), yang menggunakan metode *p-y* yang diusulkan oleh Reese Matlock dan membandingkannya dengan hasil analisis metode elemen hingga. Salah satu kesimpulan dari penelitian mereka adalah sudut geser dalam (ϕ) merupakan parameter yang paling berpengaruh dalam meningkatkan daya dukung lateral fondasi tiang.



Gambar 1. Bentuk karakteristik *p-y curve* dengan beban statik pada tanah pasir oleh Reese et al., pada tahun 1974 (Reese et al, 2006)

Persamaan daya dukung *ultimate* pada tanah yang berada di dekat permukaan tanah adalah sebagai berikut:

$$p_{st} = \gamma z \left[\frac{k_o z \tan \phi \sin \beta}{\tan(\beta - \phi) \cos \alpha} + \frac{\tan \beta}{\tan(\beta - \phi)} (b + z \tan \beta \tan \alpha) + k_o \tan \beta (\tan \phi \sin \beta - \tan \alpha) - k_a b \right] \quad (1)$$

Persamaan daya dukung *ultimate* dengan kedalaman tertentu dibawah perbukaaan tanah adalah sebagai berikut:

$$p_{st} = k_a b \gamma z (\tan^8 \beta - 1) + k_o b \gamma z \tan \phi \tan^4 \beta \quad (2)$$

Dimana:

$$k_o = 1 - \sin \phi \quad (3)$$

$$k_a = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) \quad (4)$$

$$\alpha = \frac{\phi}{2} \quad (5)$$

$$\beta = 45 + \frac{\phi}{2} \quad (6)$$

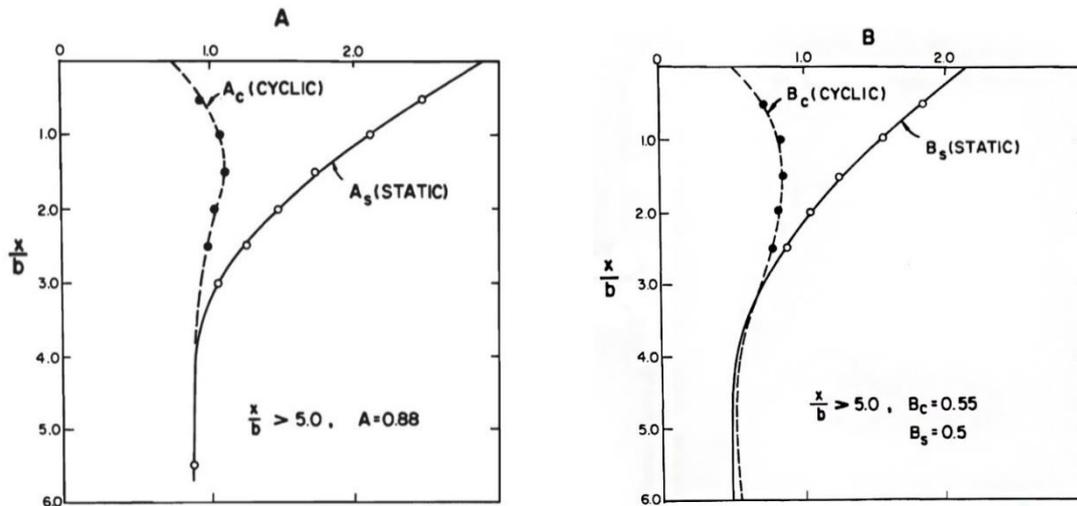
Titik-titik pada *p-y curve* ini adalah persamaan $p_k, y_k; p_m, y_m$ dan p_u, y_u . Koordinat p_m, y_m dan p_u, y_u dipengaruhi oleh faktor penyesuaian empiris dan lebar tiang. Nilai p_u dan p_m adalah sebagai berikut:

$$y_u = 3b/80 \quad (7)$$

$$p_u = A_s p_s \quad (8)$$

$$y_m = b/60 \quad (9)$$

$$p_m = B_s p_s \quad (10)$$



Gambar 2. Nilai koefisien A (kiri) dan nilai koefisien B (kanan) (Reese et al, 2006)

Persamaan garis awal lurus kurva adalah sebagai berikut:

$$p = k_{py} z y \tag{11}$$

Dimana nilai k_{py} diambil dari tabel 1.

Tabel 1. Nilai k_{py} untuk jenis tanah pasir (Reese, Isenhower, dan Wang, 2006)

Relative Density of Sand	Loose	Medium	Dense
<i>Submerged Sand</i>			
$K_{py} (MN/m^3)$	5.4	16.3	34
<i>Sand Above Water Table</i>			
$K_{py} (MN/m^3)$	6.8	24.4	61

p - y curve berbentuk parabola dimulai dari titik p_k, y_k hingga titik p_m, y_m . Persamaan kurva parabola tersebut adalah sebagai berikut:

$$p = c y^{1/n} \tag{12}$$

Untuk mencari kemiringan garis antara titik y_m dan titik y_u , digunakan persamaan sebagai berikut:

$$m = \frac{p_u - p_m}{y_u - y_m} \tag{13}$$

Untuk mencari konstanta n dan c , digunakan persamaan sebagai berikut:

$$n = \frac{p_m}{m y_m} \tag{14}$$

$$c = \frac{p_m}{y_m^{1/n}} \tag{15}$$

Untuk mencari nilai titik y_k , digunakan persamaan sebagai berikut:

$$y_k = \left(\frac{c}{k_{py}} \right)^{\frac{n}{n-1}} \tag{16}$$

Untuk mencari nilai p_k , digunakan persamaan sebagai berikut:

$$p_k = k_{py} z y \tag{17}$$

dengan γ' = Berat isi rata-rata tanah dari permukaan tanah ke $p-y$ curve [kN/m³], γ = Berat isi tanah dari permukaan tanah ke $p-y$ curve [kN/m³], z = Kedalaman $p-y$ curve [m], c = Kuat geser tidak terdrainase rata-rata pada kedalaman z [kN/m²], b = Diameter atau lebar tiang [m], $J = 0.5$ untuk lempung lunak dan 0.25 untuk lempung sedang, p_u = Daya dukung tanah *ultimate* [kN/m], p = Daya dukung tanah [kN/m], y = Defleksi tiang [mm], k_{py} = Modulus reaksi tanah awal [kN/m³], k_a = Koefisien tekanan tanah aktif minimum, k_o = Koefisien tekanan tanah saat istirahat, A_s = Koefisien untuk pembebanan statis, ϕ = Sudut geser dalam [°]

2. METODOLOGI PENELITIAN

Metode pengumpulan data

Metode yang digunakan untuk pengumpulan data penelitian ini adalah teknik dokumentasi yaitu pengumpulan data dari proyek. Pada penelitian ini, data tanah yang dianalisis berlokasi pada daerah Tanjung Priok, Jakarta Utara. Data tanah berupa *boring log* sedalam 30 meter dan hasil tes laboratorium.

Metode analisis data

Sebelum dilakukannya analisis, perlu dilakukan studi literatur dengan mencari dasar-dasar teori dan sumber data seperti jurnal, buku referensi untuk mendapatkan rumus-rumus dalam menghitung daya dukung lateral fondasi tiang. Metode analisis yang digunakan untuk menganalisa data menggunakan program berbasis metode elemen hingga dan metode $p-y$ curve yang diusulkan oleh Reese et al. Analisis akan dilakukan dalam 2 kondisi, sebelum dan setelah perbaikan tanah dengan *grouting* serta akan dilakukan perubahan kedalaman *grouting* untuk menentukan keefektifitasnya. Hasil analisis berupa kurva $p-y$ ($p-y$ curve) dengan berbagai kedalaman. Dengan hasil $p-y$ curve akan dilakukan perbandingan daya dukung lateral fondasi tiang sebelum dan setelah perbaikan dan diperoleh peningkatan daya dukung lateral fondasi tiang yang dipengaruhi oleh kedalaman perbaikan tanah dengan sistem *grouting*.

3. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Kesimpulan parameter tanah

Berdasarkan data analisis laboratorium, lapangan dan hasil korelasi, dapat dianalisis untuk mendapatkan pembagian lapisan tanah. Berikut merupakan kesimpulan parameter yang digunakan untuk analisis perhitungan menggunakan metode $p-y$ curve dan analisis program.

Tabel 2. Rangkuman parameter yang digunakan sebelum digrouting

Kedalaman (m)	Jenis Tanah	N-SPT (N-Value)	e	Gs (T/m ³)	γ_{wet} (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	γ' (kN/m ³)	ϕ (°)	Su (kN/m ²)	C' (kN/m ²)	ϵ_{50}	k_{py} (MN/m ³)
0-1	Loose Sand	7	0.8	26.6	17	17	7	30.5	45	N/A	N/A	5.4
1-3	Loose Sand	8	0.7	26.6	17	17	7	30	40	N/A	N/A	5.4
3-4	Loose Sand	10	0.95	26.6	17	17	7 31		51	N/A	N/A	5.4
4-10	Soft Silty Clay	7	1.65	27.6	27.6	16.5	6.5	24	40	8	0.02	135
10-16	Very Soft Clayey Silt	4	2.24	26.6	15	15.5	5.5	20	55	11	0.02	135
16-20	Medium Stiff Clay	9	0.9	26.6	15	18	8	22	100	20	0.01	135
20-24	Very Stiff Silt	10	0.65	26.6	15	20	10	29	125	25	0.005	270
24-28	Hard Silt (Cemented Silt)	58	0.6	26.6	15	20.3	10.3	31	140	28	0.004	270
28-30	Very Dense Sand (Cemented Sand)	60	0.55	26.6	15	20.7	10.7	36	150	N/A	N/A	34

N/A = tidak dapat dipakai

Tabel 3. Parameter perbaikan tanah dengan *grouting* sedalam 4 meter

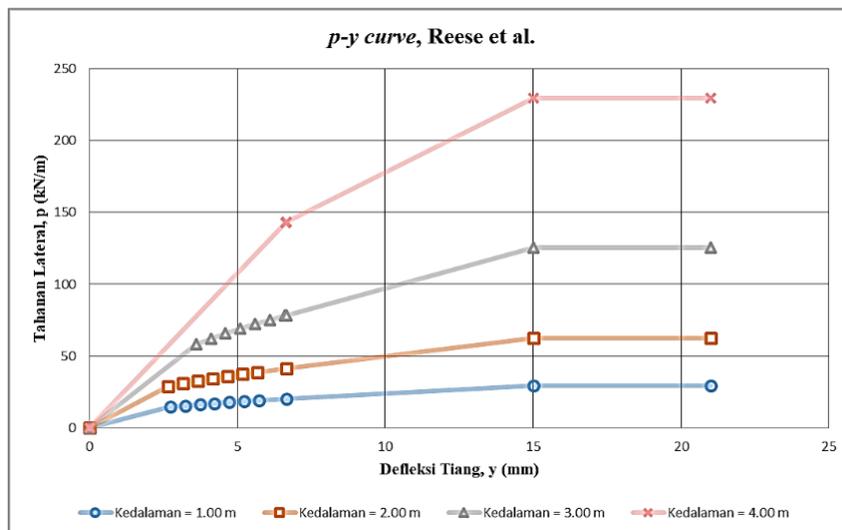
Kedalaman (m)	Jenis Tanah	Parameter Tanah Awal			Parameter Tanah Perbaikan		
		N-SPT (N-Value)	ϕ (°)	k_{py} (MN/m ³)	N-SPT (N-Value)	ϕ (°)	k_{py} (MN/m ³)
0-1	Pasir Lepas (Loose Sand)	7	30.5	5.4	14	33	16.3
1-2		8	30	5.4	16	34	16.3
2-3		8	30	5.4	12	32	16.3
3-4		10	31	5.4	15	33	16.3

Keterangan : font tebal menandakan lapisan perbaikan

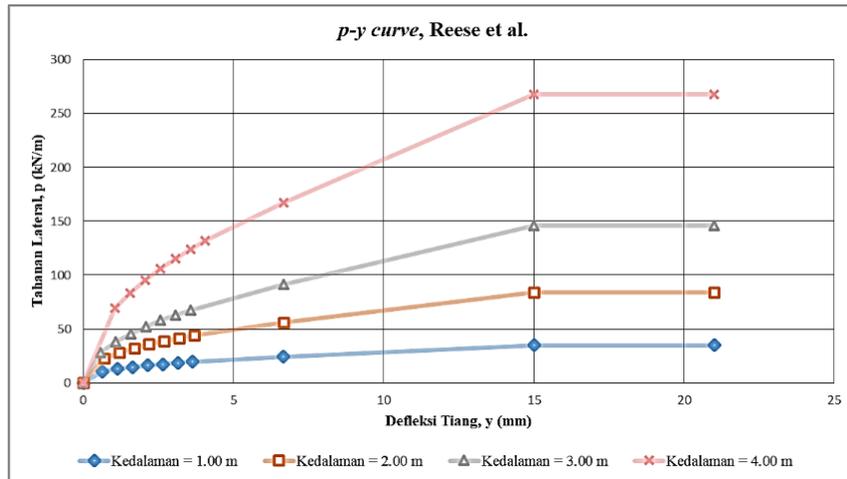
Hasil perhitungan *p-y curve* berdasarkan metode Reese et al., (1974)

Garis parabola penghubung titik y_k , p_k dan titik y_m , p_m menggunakan nilai defleksi (y) dengan interval 0.0005 m atau 5 mm untuk memudahkan perhitungan.

Hasil perhitungan *p-y curve* dengan kondisi sebelum dan setelah perbaikan menggunakan *grouting* pada kedalaman 1 meter hingga 4 meter dari permukaan tanah diplot sehingga membentuk grafik seperti gambar 3 dan 4.



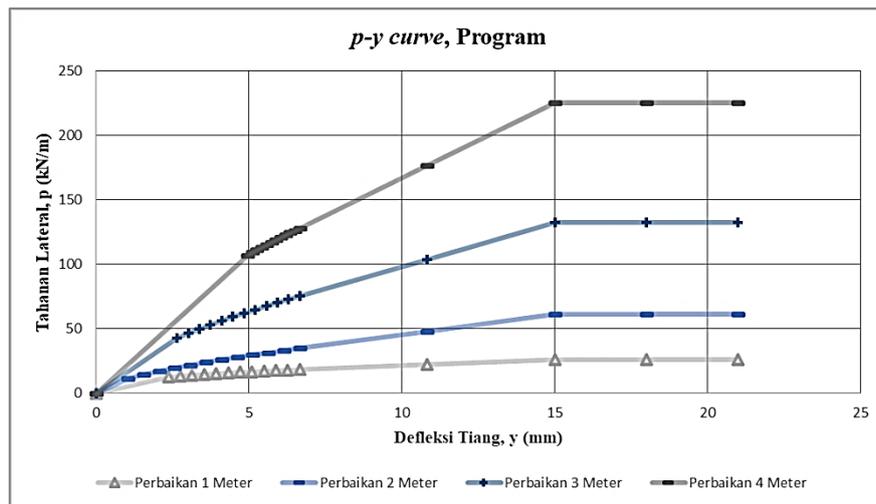
Gambar 3. Hasil *p-y curve* menggunakan metode Reese et al., (1974) dengan kondisi sebelum *grouting*



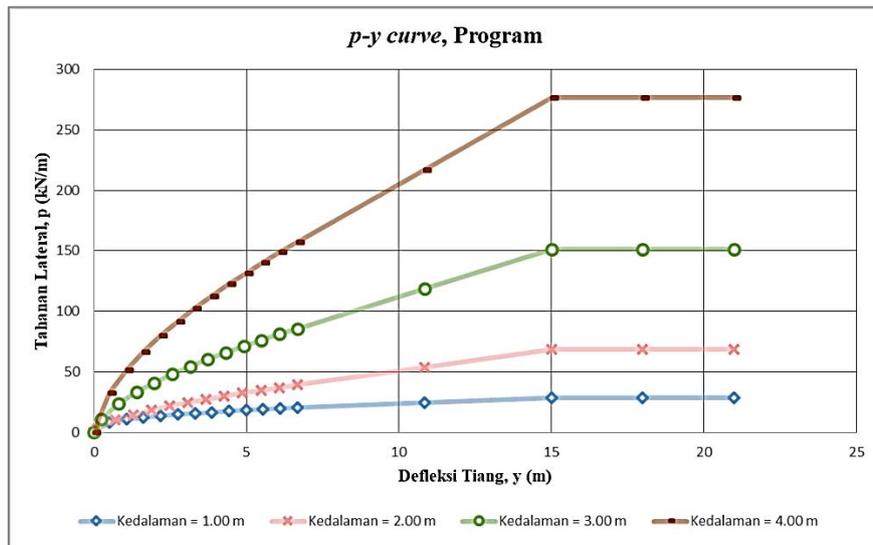
Gambar 4. Hasil p - y curve menggunakan metode Reese et al., (1974) dengan kondisi setelah *grouting*

Hasil perhitungan p - y curve menggunakan bantuan analisis program

Hasil perhitungan p - y curve dengan kondisi sebelum dan setelah perbaikan menggunakan *grouting* diplot sehingga membentuk grafik seperti gambar 5 dan 6.



Gambar 5. Hasil p - y curve dengan kondisi sebelum *grouting* menggunakan bantuan analisis program



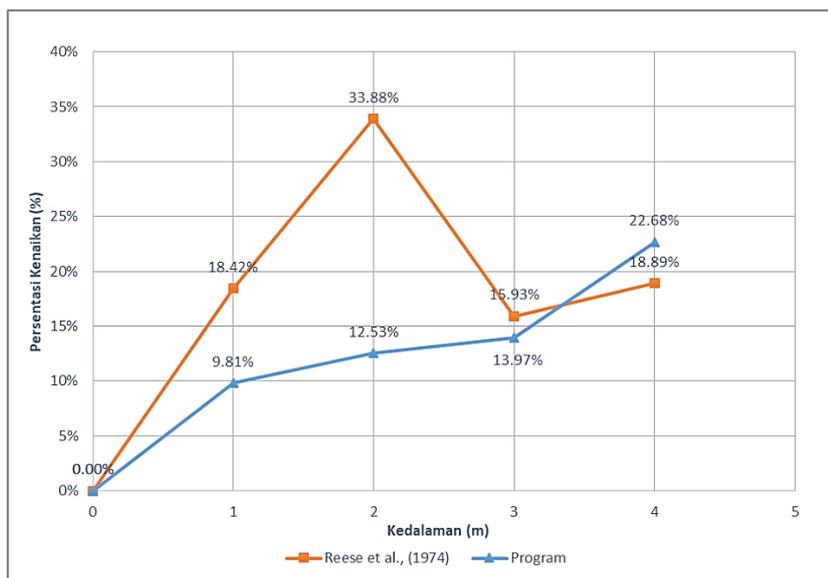
Gambar 6 Hasil *p-y curve* dengan kondisi setelah *grouting* menggunakan bantuan analisis program

Perbandingan tahanan lateral sebelum dan setelah *grouting*

Berdasarkan SNI Persyaratan Perancangan Geoteknik (SNI 8460-2017), lendutan ijin lateral tiang sebesar 1/2 inci atau 12 mm. Untuk perbandingan *p-y curve* digunakan *safety factor* sebesar 2 sehingga lendutan ijin lateral yang digunakan sebesar 1/4 inci atau 6.35 mm. Nilai tahanan lateral (p) tiap meter didapatkan dengan cara interpolasi. Selisih tahanan lateral sebelum dan setelah *grouting* akan ditampilkan dalam bentuk persentase.

Perbandingan *p-y curve* sesuai dengan kedalaman perbaikan tanah

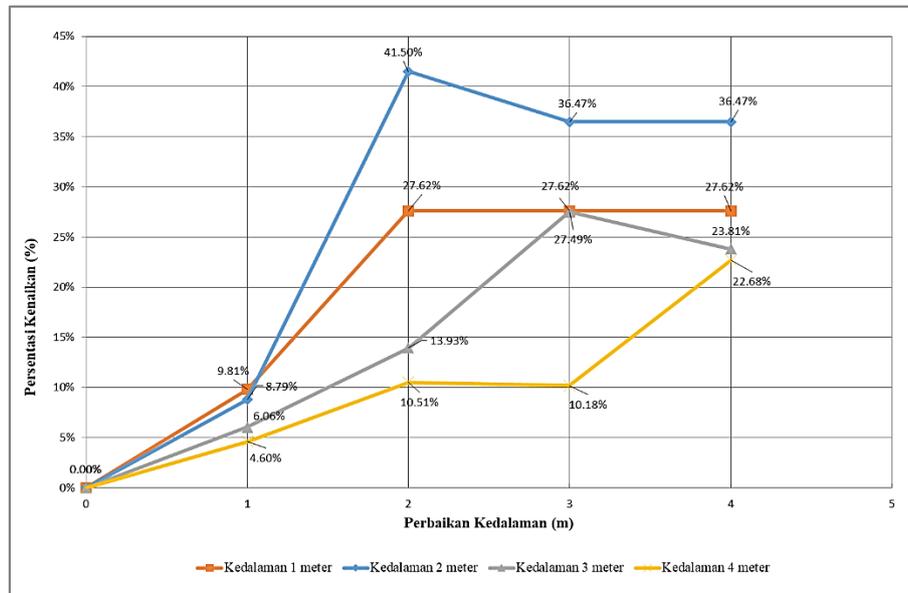
Nilai tahanan lateral dari *p-y curve* ditinjau sesuai dengan kedalaman perbaikan. Jika perbaikan tanah 1 meter, maka *p-y curve* ditinjau dengan kedalaman 1 meter, begitu juga untuk perbaikan 2 meter, *p-y curve* ditinjau dengan kedalaman 2 meter dan untuk seterusnya. Perbandingan dilakukan dengan menggunakan 2 nilai tahanan lateral, yaitu dengan perhitungan manual dengan metode Reese et al., dan dengan menggunakan bantuan program.



Gambar 7. Persentase perbandingan tahanan lateral sebelum dan setelah *grouting* dengan metode Reese et al., (1974) dan menggunakan bantuan analisis program

Perbandingan *p-y curve* dengan kedalaman 1 sampai 4 meter

Nilai tahanan lateral yang ditinjau pada kedalaman 1 sampai 4 meter merupakan hasil bantuan analisis program untuk kondisi sebelum perbaikan dan kondisi setelah perbaikan dengan kedalaman 1 sampai dengan 4 meter dari permukaan tanah. Perbandingan antara kondisi sebelum perbaikan atau perbaikan 0 meter dengan kondisi perbaikan 1 meter hingga 4 meter menggunakan nilai tahanan lateral yang diperoleh dengan cara interpolasi dengan lendutan ijin sebesar 6.35 mm. Selisih tahanan lateral ditampilkan dalam bentuk persentase seperti pada gambar 8.



Gambar 8. Persentase kenaikan tahanan lateral pada kedalaman 1 hingga 4 meter

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang diperoleh, dapat disimpulkan beberapa hal berikut ini:

1. Terdapat perbedaan perbandingan peningkatan antara metode Reese et al., dan analisis program, perbedaan tersebut mungkin terjadi karena saat menganalisis *p-y curve* dengan kedalaman 3 dan 4 meter, metode Reese et al., (1974) tidak memperhitungkan perubahan parameter pada kedalaman di atasnya, sehingga terjadi penurunan persentase perbandingan tahanan lateral sebelum dan setelah *grouting* seperti pada gambar 7.
2. Pada kedalaman 2 meter, parameter sudut geser dalam (ϕ) diasumsikan meningkat lebih tinggi dibandingkan kedalaman lain, sehingga persentase perbandingan peningkatannya lebih tinggi dibandingkan persentase peningkatan pada kedalaman lain, yaitu sebesar 34.04% seperti pada gambar 7.
3. Pada gambar 7, terlihat peningkatan tahanan lateral tertinggi dengan menggunakan bantuan analisis program adalah sebesar 22.68% yang ditinjau pada kedalaman 4 meter sesuai dengan kedalaman perbaikannya.
4. Perbaikan tanah dengan menggunakan *grouting* sedalam 1 meter dapat meningkatkan tahanan lateral tiang sebesar 9.82% pada kedalaman 1 meter dan sebesar 8.79% pada kedalaman 2 meter, lalu sebesar 6.06% untuk kedalaman 3 meter, dan yang terakhir adalah sebesar 4.60% untuk tahanan lateral di kedalaman 4 meter
5. Pada perbaikan tanah sedalam 2 meter, tahanan lateral pada kedalaman 1 meter meningkat sebesar 27.62%, kemudian pada kedalaman 2 meter sebesar 41.50%, dan pada kedalaman 3 meter sebesar 13.93% serta untuk kedalaman 4 meter, peningkatan tahanan lateral yang terjadi adalah sebesar 10.51%
6. Untuk perbaikan sedalam 3 meter, tahanan lateral pada kedalaman 1 meter tidak berpengaruh, sehingga grafik kenaikan tahanan lateral bersifat konstan dan perbaikan sedalam 3 meter tidak efektif lagi untuk tahanan lateral pada kedalaman 2 meter, oleh karena itu grafik kenaikan tahanan lateral menurun, seperti pada gambar 8.
7. Pada perbaikan tanah sedalam 3 meter, tahanan lateral pada kedalaman 3 meter mengalami peningkatan sebesar 27.49% dan 10.18% untuk tahanan lateral pada kedalaman 4 meter

8. Untuk perbaikan tanah sedalam 4 meter, tahanan lateral pada kedalaman 1 dan 2 meter tidak berpengaruh, dan perbaikan tanah sedalam 4 meter tidak efektif untuk tahanan lateral pada kedalaman 3 meter. Hal ini dapat dilihat pada gambar 8.
9. Pada perbaikan tanah sedalam 4 meter, tahanan lateral pada kedalaman 4 meter mengalami peningkatan sebesar 22.68%

DAFTAR PUSTAKA

- Ardiaristi, B. dan Yanuardy. M. A. (2010). "Metode Grouting untuk Penanggulangan Gerakan Tanah Berdasarkan Jenis Gerakan Tanah dan Analisis Kestabilan Lereng pada Perumahan Bukit Manyaran Permai, Kelurahan Sadeng, Kecamatan Gunung Pati, Semarang-Jawa Tengah". Teknik Geologi Universitas Diponegoro. Semarang
- Asbella, K. A. (2014). "Evaluasi Grouting pada Section Retaining Wall-B (Downstream) di Kali Semarang, Kelurahan Panggung Lor, Kota Semarang, Jawa Tengah". Teknik Geologi Universitas Diponegoro. Semarang
- Coduto, D. P., Kitch, W. A., and Yeung M. R. (2016). *Foundation Design: Principles and Practices (Third Edition)*. Pearson. Pomona, California
- Dwiyanto, J.S. (2005). "Pelatihan Grouting". Pemerintah Propinsi Jawa Tengah, Dinas Pengelolaan Sumber Daya Air. Semarang
- Elfaaz, F. M. dan Hamdhan, I. N. (2016). "Analisis Daya Dukung Lateral Fondasi Tiang Tunggal Menggunakan Metode Elemen Hingga". Institut Teknologi Nasional. Bandung
- Reese, L. C., Isenhower, W. M., Wang, S. (2006). *Analysis and Design of Shallow and Deep Foundations*. John Wiley & Sons, Inc. New York
- SNI 8460. 2017. *Persyaratan Perancangan Geoteknik*. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta
- Udiana, I.M. (2013). "Desain Campuran Semen dan Air pada Pekerjaan Grouting Proyek Bendungan/Waduk Nipah Madura-Jawa Timur". Universitas Nusa Cendana. Kupang
- Warner, J. (2004). *Practical Handbook of Grouting: Soil, Rock, and Structures*. John Wiley & Sons, Inc. New Jersey