

# ANALISIS DEFLEKSI LATERAL TIANG TUNGGAL FREE-END PILE PADA TANAH KOHESIF

Angga Kristianto<sup>1)</sup>, Niken Silmi Surjandari<sup>2)</sup>, Noegroho Djarwanti<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Mahasiswa Program S1 Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret

<sup>2)</sup> <sup>3)</sup>Pengajar Program studi Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

Jalan Ir.Sutami No.36A Surakarta 57126.Telp.0271647069. Email : [angga.kristianto12@gmail.com](mailto:angga.kristianto12@gmail.com)

## Abstract

*Pile foundation designed to carry an axial load and lateral loads. One important factor in planning the structures of high-rise buildings is the lateral load. Lateral load stands on the pile causing a deflection or shift. The amount of deflection occurs at the pile can be determined by field test called lateral test. Besides testing the lateral test, the amount of deflection can be analyzed using Broms methods (1964), finite element method and finite difference method (p-y curve). This study will observe the analysis of deflection of single pile free-end pile in cohesive soils. Based on this research, analysis of deflection single pile free-end pile in cohesive soils, showed that the value of maximum deflection pile according to the Broms method (1964), finite element method, finite difference method (p-y curve), and the lateral test result respectively 116,6457 mm; 55,16 mm; 68,059 mm; and 55,74 mm. Comparison of lateral deflection shows the results of analysis finite element method and finite difference method (p-y curve) approximates the lateral test result compared to the method Broms (1964), it caused soil parameters and pile parameters on the finite element method and finite difference method (p-y curve) is more detailed than the methods Broms (1964) which is only based on the correlation analysis.*

*Keywords : pile deflection, lateral test, Broms method (1964) finite element method, finite difference method (p-y curve)*

## Abstrak

Pondasi tiang pancang didesain untuk mendukung beban aksial maupun beban lateral. Salah satu faktor penting dalam perencanaan struktur-struktur bangunan tinggi adalah beban lateral. Beban lateral yang bekerja pada tiang pancang mengakibatkan terjadinya defleksi atau pergeseran. Besarnya defleksi yang terjadi pada tiang dapat diketahui dengan melakukan pengujian lapangan atau yang sering disebut dengan *lateral test*. Selain melakukan pengujian *lateral test*, besarnya defleksi lateral tiang juga dapat dianalisis menggunakan metode Broms (1964), metode elemen hingga dan metode beda hingga (*p-y curve*). Penelitian ini akan mengamati analisis defleksi dan kapasitas lateral tiang tunggal *free-end pile* pada tanah kohesif. Berdasarkan penelitian didapatkan hasil bahwa nilai defleksi maksimum tiang menurut metode Broms (1964), metode elemen hingga, metode beda hingga (*p-y curve*), dan hasil uji lateral test berturut-turut sebesar 116,6457 mm; 55,16 mm; 68,059 mm; 55,74 mm. Perbandingan defleksi lateral menunjukkan hasil analisa metode elemen hingga dan metode beda hingga (*p-y curve*) lebih mendekati hasil uji *lateral test* dibandingkan dengan metode Broms (1964), hal ini dikarenakan parameter tanah dan parameter tiang pada metode elemen hingga dan metode beda hingga (*p-y curve*) lebih detail dibandingkan dengan metode Broms (1964) yang hanya berdasarkan korelasi dalam analisisnya..

Kata kunci : defleksi tiang, lateral test, Broms (1964), metode elemen hingga, metode beda hingga (*p-y curve*)

## PENDAHULUAN

Infrastruktur di Indonesia saat ini semakin ditingkatkan, dari pembangunan gedung, jalan, jembatan, pelabuhan hingga bendungan. Disetiap pembangunan dibutuhkan perencanaan konstruksi yang baik, salah satunya adalah pondasi yang berfungsi menahan beban struktur di atasnya dan meneruskannya ke dalam tanah. Pondasi menurut kedalamannya dibagi menjadi dua yaitu pondasi dangkal dan pondasi dalam, tiang pancang termasuk pondasi dalam. Selain untuk menahan beban dari struktur atas atau sering disebut beban aksial, beban horizontal atau beban lateral juga harus ditahan oleh pondasi, beban lateral ini berupa tekanan tanah pada dinding penahan, beban angin, beban gempa, beban beban tubrukan dari kapal (berlabuh, pada dermaga), beban-beban eksentrik pada kolom, gaya gelombang lautan dan lain-lain.

Beban lateral yang bekerja pada tiang menyebabkan timbulnya defleksi atau pergeseran tiang, untuk mengetahui besarnya defleksi dapat dilakukan dengan beberapa metode. Wartono (2004) melakukan uji laboratorium dengan pemodelan tiang ujung bebas yang menahan beban lateral, sedangkan Christansen, (2011) menganalisa defleksi melalui uji beban lateral menggunakan *Software Plaxis*. Selain uji lateral test, defleksi pada tiang juga dapat dianalisis menggunakan metode Broms (1964), metode elemen hingga dan metode beda hingga (*p-y curve*), penelitian ini akan mengamati perbandingan nilai defleksi lateral tiang yang dianalisis menggunakan metode metode Broms (1964), metode elemen hingga dan metode beda hingga (*p-y curve*), serta hasil uji lateral test sebagai pembanding utama.

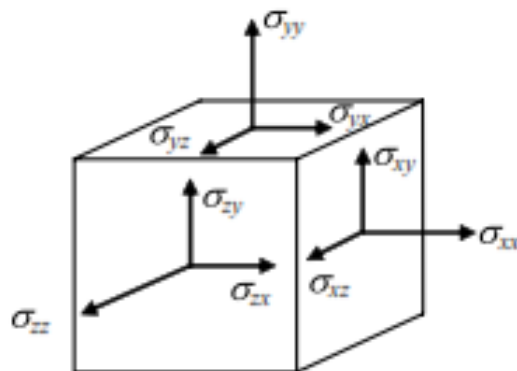
## TINJAUAN PUSTAKA

### Lateral Test

Salah satu instrumen *pile load test* atau pengujian beban pada tiang dengan jenis pembebanan lateral atau pembebanan arah horizontal dari tiang yang disesuaikan dengan pembebanan rencana disebut *lateral test*. Beban yang digunakan berupa *beam* atau besi, diletakkan pada *platform* lalu dihubungkan dengan *hydraulic jack cylinder* yaitu alat untuk mendorong beban ke tiang. Untuk memantau pergeseran tiang digunakan *dial gauge* yang dipasang sesuai kedalaman yang diinginkan, namun pada umumnya dial gauge dipasang pada puncak tiang karena diasumsikan bahwa pergeseran tiang terbesar terdapat pada puncak tiang. Pembebanan pada lateral test dapat berupa *static* atau *cyclic*. Hasil dari *lateral test* berupa grafik hubungan antara pembebanan dengan defleksi yang terjadi pada tiang, sering disebut sebagai *p-y curve*.

### Metode Elemen Hingga

Pada umumnya elemen hingga digunakan untuk analisis tegangan dan deformasi. Geometri material yang akan dianalisis terlebih dahulu dibagi menjadi jaring-jaring elemen hingga, sehingga analisis akan menjadi lebih mudah. Metode elemen hingga dapat digunakan untuk analisis material padat, termasuk analisis geoteknik pada material tanah. Gambar 1 menunjukkan posisi tegangan pada material padat.



Gambar 1 Posisi Tegangan pada Material Padat (Liu Yijun, 2003)

Setelah tahun 1976 perkembangan metode elemen hingga (*finite element method*) sangat pesat, ditambah mulai digunakan komputer untuk memudahkan menyelesaikan perhitungannya. Salah satunya adalah *Software Plaxis* tiga dimensi yang dikembangkan untuk analisis konstruksi pondasi. Pembuatan program ini dimulai tahun 1987 di *Delft University of Technology* sebagai inisiatif dari Departemen Pekerjaan Umum dan Manajemen Keairan Pemerintah Belanda (*Rijkswaterstaat*).

Analisis metode elemen hingga mendiskretisasi sebuah kontinum menjadi beberapa elemen dan di setiap elemen dipilih fungsi sederhana untuk memperkirakan variasi dan variable lapangan seperti perpindahan dan tekanan pori (Agrensa, 2012). Bila  $\{\epsilon\}$  adalah komponen regangan dari sebuah titik yang berubah-ubah dalam elemen hingga, persamaan regangan-perpindahan dan model perpindahan dapat dituliskan pada persamaan (1) berikut.

$$\{\epsilon\} = [B] \{m_{u_i}\} \quad (1)$$

Jika  $\{\epsilon\}$  adalah vektor dari tegangan yang berhubungan dengan regangan,  $\{\epsilon\}$ , maka persamaan ditunjukkan pada persamaan (2)

$$\{\sigma\} = [D] \{\epsilon\} \quad (2)$$

### Metode Beda Hingga (*p-y curve*)

Metode beda hingga merupakan metode numerik yang digunakan untuk menyelesaikan masalah teknis dan matematis dari suatu gejala fisis. Secara umum metode beda hingga adalah metode yang mudah digunakan dalam penyelesaian gejala fisis yang mempunyai bentuk geometri yang teratur, seperti interval dalam satu dimensi, domain kotak dalam dua dimensi, dan kubik dalam ruang tiga dimensi. Metode Beda Hingga (*p-y curve*) merupakan salah satu metode penyelesaian untuk menganalisis defleksi lateral pada tiang. Metode ini mendefinisikan hubungan beban lateral dan defleksi antara tanah dan tiang yang digambarkan dalam *p-y curve*. Sumbu-p adalah tahanan lateral tanah persatuan panjang tiang dan sumbu-y adalah defleksi lateral tiang. Rumus yang digunakan dalam penyelesaian menggunakan metode *p-y curve* ditunjukkan pada persamaan (3) sebagai berikut:

$$\frac{d^2}{dx^2} \left( E_p I_p \frac{d^2 y}{dx^2} \right) + P_x \left( \frac{d^2 y}{dx^2} \right) - p - W = 0 \quad (3)$$

dengan,

$P_x$  = beban aksial

$y$  = defleksi lateral yang terjadi di kedalaman  $x$  pada panjang tiang  $L$

$p$  = soil resistance

$W$  = beban lateral yang terdistribusi disepanjang tiang

$E_p$  = modulus elastisitas tiang

$I_p$  = momen inersia tiang

### Metode Broms (1964)

Metode ini adalah metode sederhana yang berdasarkan teori tekanan tanah tetapi menyederhanakan dengan menganggap bahwa sepanjang kedalaman tiang, tanah mencapai nilai ultimitnya. Cara ini memiliki keuntungan yaitu dapat diterapkan pada tiang panjang maupun pendek, tanah kohesif maupun non kohesif dan dapat pula untuk kepala tiang terjepit maupun kepala tiang bebas. Defleksi tiang akibat beban horizontal dapat ditentukan menggunakan metode ini berdasarkan persamaan (4) (Tomlinson, 1994):

Kepala tiang bebas:

$$y = \frac{H(e+z_f)^3}{3EI} \quad (4)$$

dengan:

$E$  = modulus elastisitas tiang

$I$  = momen inersia penampang tiang

$e$  = jarak ujung tiang ke muka tanah

$z_f$  = kedalaman dari muka tanah ke titik jepitan tanah yang sesungguhnya

=  $1.4 R$  (untuk modulus yang konstan)

=  $1.8 T$  (untuk modulus yang bertambah secara linier)

Kapasitas lateral ultimate tiang pada tanah kohesif dapat ditentukan melalui persamaan (5). Nilai  $H_u$  untuk kondisi *free-end pile* (kepala tiang bebas) adalah

$$H_u = \frac{M_u}{(e+1,5B+0,5f)} \quad (5)$$

Dengan:

$H_u$  = kapasitas lateral

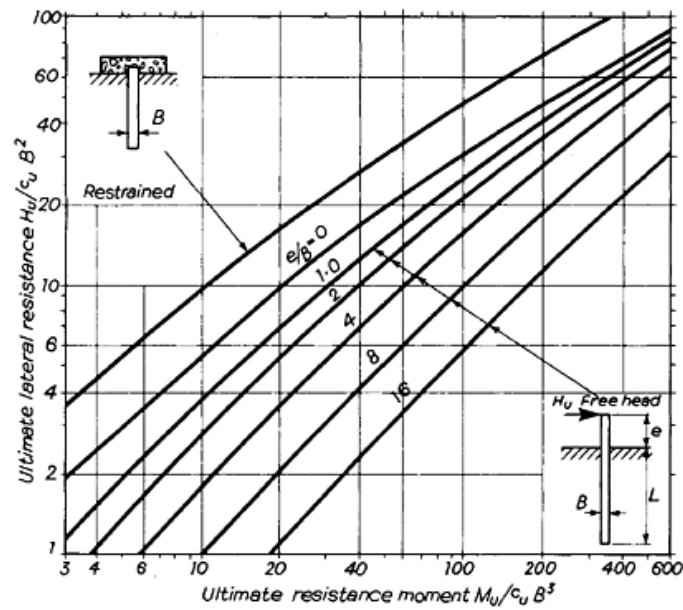
$M_u$  = momen ultimate tiang

$B$  = lebar tiang

$C_u$  = kohesi tanah

$e$  = jarak dari tanah ke puncak tiang

Broms (1964) menunjukkan hubungan persamaan (5) dalam bentuk grafik yang disajikan pada Gambar 2 berikut



Gambar 2 Kapasitas lateral ultimit untuk tiang pancang pada tanah kohesif (Broms, 1964)

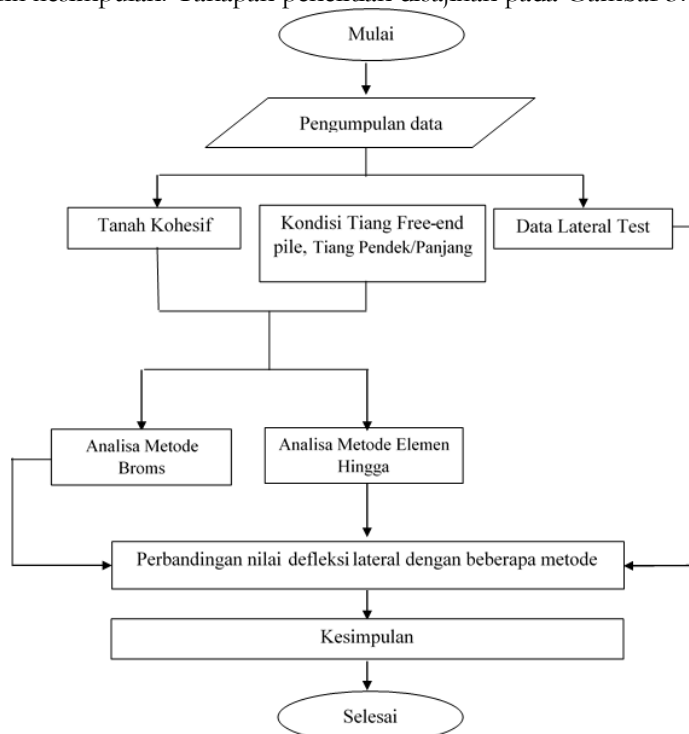
## METODE PENELITIAN

### Data

Metode pengumpulan data pada penelitian ini antara lain pengumpulan data sekunder berupa data tanah, spesifikasi pile, serta hasil uji *lateral test* pada proyek pembangunan jembatan yang terletak di Kepulauan Riau

### Tahap penelitian

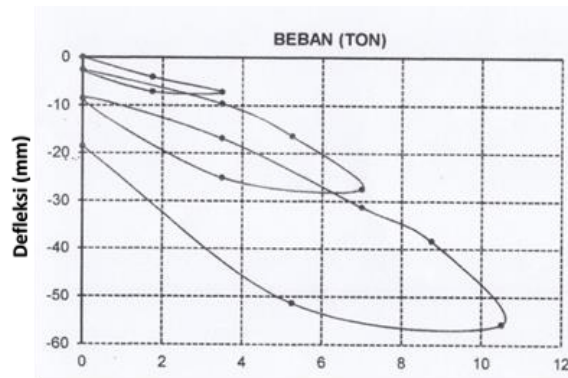
Tahap penelitian dimulai dari pengumpulan data sekunder yaitu data tanah, spesifikasi pile dan data *lateral test*. Tahap kedua yaitu analisis defleksi menggunakan metode Broms (1964) dan metode elemen hingga. Selanjutnya dilakukan perbandingan defleksi hasil analisis metode Broms (1964) dan metode elemen hingga dengan *lateral test*. Tahap terakhir menarik kesimpulan. Tahapan penelitian disajikan pada Gambar 3.



**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Hasil *Lateral Test***

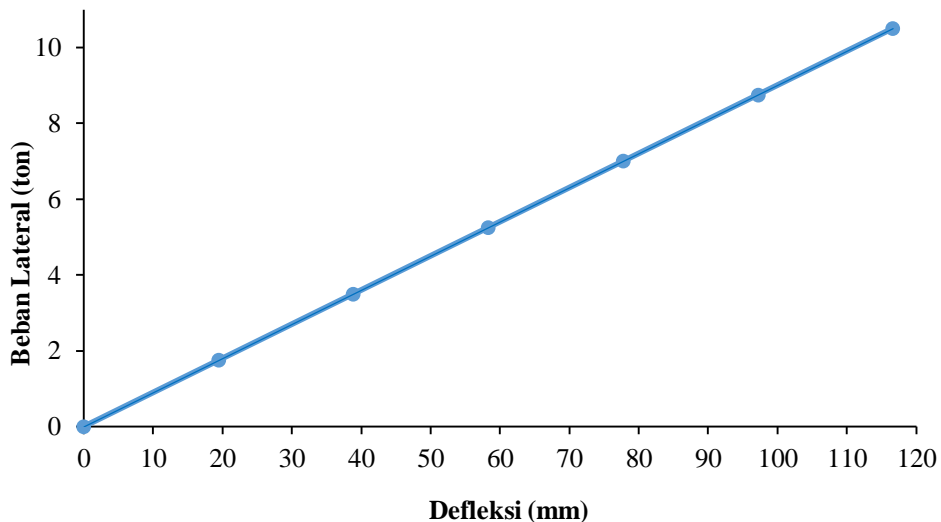
*Lateral test* dilakukan dengan metode pembebanan *cyclic* atau berulang dengan kondisi tiang *free-end pile* (kepala tiang bebas). Grafik hasil *lateral test* berupa pembebanan *cyclic* lalu diuraikan menjadi tabel pembebanan dengan defleksi dan dirubah dalam bentuk grafik pembebanan statik sebagai pembandingan utama dengan metode yang lain. Perubahan pembebanan ini dikarenakan analisis defleksi metode Broms (1964) menggunakan pembebanan *static*, sehingga metode yang lain juga menggunakan pembebanan yang sama untuk memudahkan dalam melakukan perbandingan. Hasil *lateral test* disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil *lateral test*

**Metode Broms (1964)**

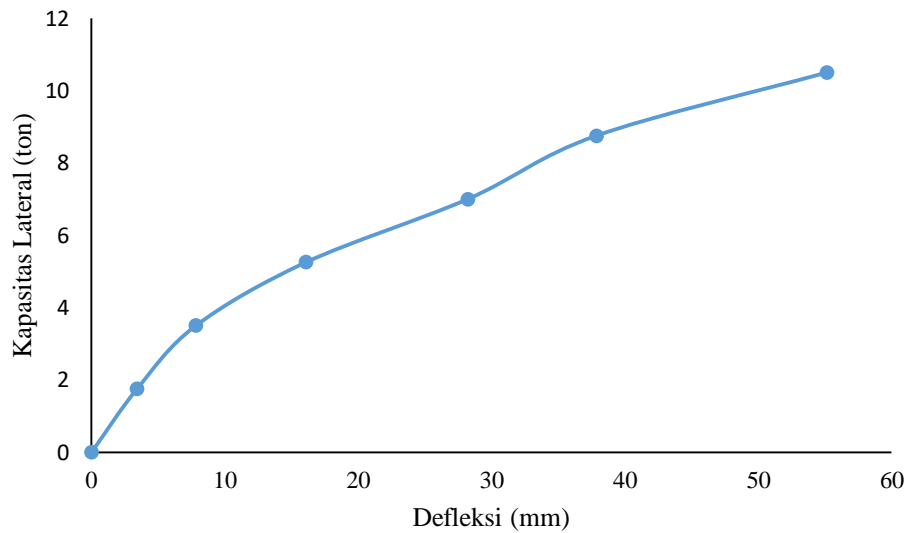
Keruntuhan terjadi pada tiang yang menerima gaya lateral dianggap karena tiang hancur pada titik dimana momen maksimum terjadi, sehingga gaya horizontal batas yang diterima oleh tiang ditentukan terutama oleh kapasitas momen badan tiang. Analisis metode Broms (1964) disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Hasil analisis metode Broms (1964)

## Metode Elemen Hingga

Analisis menggunakan metode elemen hingga menghasilkan grafik hubungan antara beban lateral dengan defleksi yang terjadi pada tiang. Analisis metode elemen hingga disajikan pada Gambar 6.



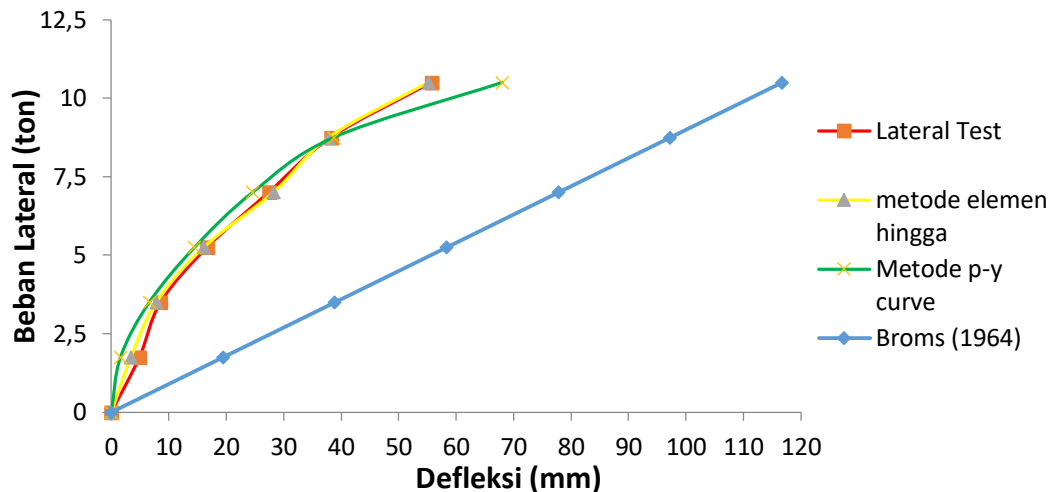
Gambar 6. Hasil analisis metode elemen hingga

## Perbandingan Defleksi

Berdasarkan perhitungan menggunakan metode Broms (1964), metode elemen hingga, serta hasil uji *lateral test* maka didapatkan perbandingan nilai *defleksi lateral*. Berikut ini disajikan pada Tabel 1 dan Gambar 7 perbandingan defleksi lateral yang terjadi:

Tabel 1 Perbandingan Nilai Defleksi Lateral

Beban Lateral (ton)	Defleksi (mm)			
	Broms (1964)	Metode Elemen Hingga	Metode <i>p-y curve</i> (Nasrulloh, 2016)	Lateral Test
0	0,00	0	0	0
1,75	19,4410	3,41	1,588	4,89
3,5	38,8819	7,83	6,611	8,57
5,25	58,3229	16,08	14,49	16,67
7	77,7638	28,23	24,594	27,43
8,75	97,2048	37,86	38,741	38,23
10,5	116,6457	55,16	68,059	55,74



Gambar 7. Perbandingan defleksi tiang

Berdasarkan Tabel 1 dan Gambar 7, nilai defleksi yang terjadi pada saat pembebanan maksimum (10,5 ton) menurut metode Broms (1964), metode elemen hingga, metode *p-y curve* dan menurut hasil uji lateral test berturut-turut adalah 116,6457 mm; 55,16 mm; 68,059 mm dan 55,74 mm.

Pola defleksi dari tiap pembebanan menggunakan metode Broms (1964) menunjukkan besarnya defleksi berbanding linier dengan kelipatan pembebanan tiang. Defleksi yang terjadi saat pembebanan 1,75 ton adalah 19,44 mm, kemudian saat pembebanan 2x1,75 ton (3,5 ton) adalah 2x19,44 mm (38,88 mm) dan seterusnya sesuai kelipatan dari pembebanan tersebut. Pola defleksi yang berbanding lurus tersebut dikarenakan nilai  $e$  dan  $Z_f$  konstan dan berbanding lurus dengan nilai defleksi ( $y$ ).

Pola defleksi menggunakan metode elemen hingga menunjukkan besarnya defleksi tidak berbanding lurus dengan kelipatan pembebanan tiang. Defleksi yang terjadi saat pembebanan 1,75 ton adalah 3,41 mm, kemudian saat pembebanan 3,5 ton adalah 7,83 mm dan seterusnya sampai pembebanan 10,5 ton. Pola defleksi yang tidak berbanding lurus tersebut dikarenakan faktor kekakuan tanah berbeda dalam setiap pembebanan, penambahan defleksi akan semakin besar pada tiap penambahan pembebanan.

Dengan pembebanan yang sama dari 0 ton sampai 10,5 ton terbentuk kurva hubungan antara beban lateral dengan defleksi yang terjadi dimana hasil dari metode beda hingga (*p-y curve*) dan metode elemen hingga cukup mendekati lateral test, sedangkan hasil dari metode Broms (1964) terpaut cukup jauh. Hal ini dikarenakan pada analisis menggunakan metode Broms (1964) tidak memperhitungkan *soil layer*. Untuk metode beda hingga (*p-y curve*) dan metode elemen hingga pada analisisnya parameter yang di input lebih banyak serta memperhatikan spesifikasi tanah termasuk *soil layer* serta spesifikasi tiang sehingga hasil dari kurvanya mendekati *lateral test*. Namun pada metode beda hingga (*p-y curve*) *layer* tanah sudah ditentukan dari *softwarena*, sehingga input parameter menyesuaikan dari *layer* program lalu mengisi data tanah sesuai *layer* tersebut. Sedangkan metode elemen hingga jenis *layer* tanah ditentukan sendiri sesuai dengan data tanah di lapangan. Selain itu metode elemen hingga mempunyai kelebihan yaitu memodelkan bentuk yang kompleks, memodelkan objek/struktur dengan jenis material yang banyak karena persamaan pada tingkat elemen, dengan mudah menggunakan bermacam ukuran elemen dalam meshing/diskritisasi elemen, dapat memodelkan efek dinamis serta menyelesaikan kelakuan tidak linier dari geometri dan material. Sehingga hasil metode elemen hingga lebih mendekati hasil lateral test daripada metode beda hingga (*p-y curve*).

## SIMPULAN

1. Nilai defleksi maksimum tiang menurut metode Broms (1964), metode elemen hingga, metode beda hingga ( $p-y$  curve), dan hasil uji lateral test berturut-turut sebesar 116,6457 mm; 55,16 mm; 68,059 mm; 55,74 mm
2. Pola defleksi menurut metode Broms (1964) berbanding lurus dengan kelipatan pembebanan, sedangkan pola defleksi menurut metode elemen hingga dan metode beda hingga ( $p-y$  curve) serta *lateral test* menunjukkan hasil yang tidak berbanding lurus dengan kelipatan pembebanan
3. Perbandingan nilai defleksi menunjukkan hasil dari analisis metode elemen hingga dan metode beda hingga ( $p-y$  curve) lebih mendekati nilai defleksi dari *lateral test* dibandingkan dengan hasil analisis metode Broms (1964).

## REFERENSI

- Bowles, J. E., 1998. *Analisis dan Desain Pondasi Jilid 2*. Jakarta: Erlangga.
- Prakash, and Sharma.(1990). *Pile Foundation in Engineering Practice*. California: John Wiley & Sons, Inc.
- Tomlinson, M.J (1980). *Pile Design and Construction Practice*. New York: E & FN SPON
- Reese, L.C. and Matlock, H. Non-dimensional solutions for laterally-loaded piles with soil modulus assumed proportional to depth. Proceedings of the 8th Texas Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Austin, Texas, 1956, pp. 1–41.
- Matlock, H. Correlations for design of laterally loaded piles in soft clay , Proceedings of the Offshore Technology Conference, Houston, Texas, 1970, Paper OTC 1204
- Matlock, H. and Reese, L. C., “Generalized Solutions for Laterally Loaded Piles,” Transactions of the American Society of Ciuil Engineers, Vol. 127, 1962, part 1,
- Prakash, S. and Saran D., “Behavior of Laterally Loaded Piles in Cohesive Soils,” Proceedings 3rd Asian Regional Corlferece on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Haifa (Israel), 1967, pp. 235-238.
- Wartono, 2004. Studi Pembebanan Lateral Model Tiang Pancang Tunggal Ujung Bebas (Free-End Pile) dengan Variasi Panjang dan Diameter pada Tanah Non Kohesif. *Program Studi Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret*
- Rollins, K., 2011. Design Güdlines for Increasing the Lateral Resistance of Highway-Bridge Pile Foundations by Improving Weak Soils. Washington. *National Cooperativy Highway Reaserach Program*