

## PENDEKATAN METODE BROMS TERHADAP METODE *P-Y CURVE* PADA ANALISIS KAPASITAS DUKUNG LATERAL PONDASI TIANG

Zaid Kurnia<sup>1,\*</sup>, Muhammad Riza<sup>1</sup>, Vitta Pratiwi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Sipil, Universitas Komputer Indonesia, 40132, Indonesia

\*Corresponding author: [zaid.kurnia@mahasiswa.unikom.ac.id](mailto:zaid.kurnia@mahasiswa.unikom.ac.id)

**Abstract:** *Pile foundations are designed to withstand axial and lateral loads. Lateral loads are caused by lateral earth pressure, earthquake loads and forces that move/occur in the lateral direction. In analyzing the lateral bearing capacity, it is generally done using the Broms method and p-y curves using the LPILE software. However, based on several studies, the results of the Broms Method are very conservative and cannot be used on layered soils. Therefore, in this study, the Broms method was used to determine the approach with one layer of soil conditions (only clay or sand) to the p-y curve method for layered soils (clay-sand), then verified by the results of lateral testing in the field. In analyzing the lateral bearing capacity using the Broms method and the p-y curve, it is necessary to have restrictions to match the desired criteria, namely restrictions on loading by lateral tests in the field. This study's results indicate that the Broms method deflection is larger (conservative) than the p-y curve method and lateral testing in the field. In sandy soils, the deflection of the Broms method is close to the results of the p-y curve method and lateral testing. Based on this, the analysis of the Broms method with the assumption of 1 layer (sand soil) can be used to calculate the lateral bearing capacity in layered soil conditions (clay-sand).*

**Keywords:** *Lateral Bearing Capacity, Deflection, Broms, p-y curve.*

**Abstrak:** Pondasi tiang didesain agar mampu menahan beban aksial dan beban lateral. Beban lateral disebabkan oleh tekanan tanah lateral, beban gempa dan gaya-gaya yang bergerak/terjadi pada arah lateral. Dalam menganalisis kapasitas dukung lateral, umumnya dilakukan menggunakan Metode Broms dan *p-y curve* menggunakan *software* LPILE. Namun berdasarkan beberapa penelitian, hasil dari Metode Broms sangat konservatif dan jika pada tanah berlapis tidak bisa digunakan. Oleh karena itu dalam penelitian ini Metode Broms digunakan bertujuan untuk menentukan pendekatan dengan kondisi tanah 1 lapis (lempung saja atau pasir saja) terhadap metode *p-y curve* pada tanah berlapis (lempung-pasir), selanjutnya diverifikasi dengan hasil pengujian lateral di lapangan. Dalam menganalisis kapasitas dukung lateral menggunakan Metode Broms dan *p-y curve* perlu adanya pembatasan agar sesuai kriteria yang diinginkan yaitu pembatasan dalam pembebanan sesuai dengan pengujian lateral di lapangan. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa defleksi Metode Broms lebih besar (konservatif) daripada Metode *p-y curve* dan pengujian lateral di lapangan. Pada tanah pasir, defleksi Metode Broms mendekati hasil dari Metode *p-y curve* dan pengujian lateral, berdasarkan hal tersebut analisis Metode Broms dengan asumsi 1 lapis (tanah pasir) bisa dijadikan pendekatan untuk menghitung kapasitas dukung lateral pada kondisi tanah berlapis (lempung-pasir).

**Kata kunci:** : Kapasitas Dukung Lateral, Defleksi, Broms, *p-y curve*.

### PENDAHULUAN

Kapasitas dukung lateral merupakan aspek yang perlu diperhatikan dalam perencanaan pondasi agar mampu menahan beban lateral/horizontal. Beban lateral yang terjadi pada suatu pondasi disebabkan oleh tekanan tanah lateral, beban gempa, beban angin, beban dari hampasan gelombang laut (*offshore*), beban rem kendaraan pada jembatan, dan gaya-gaya lateral lain yang mengakibatkan defleksi pada pondasi (Dewi, 2009).

Menurut Sivaraman & Muthukkumaran, (2021) untuk mengestimasi kapasitas dukung lateral ultimate, metode yang sering digunakan adalah metode Brinch Hansen dan metode Broms. Pada penelitian ini, metode Brinch Hansen tidak digunakan, karena menurut (Rahardjo, 2013) metode Brinch Hansen hanya digunakan untuk menghitung kapasitas dukung lateral pada pondasi tiang pendek atau jika  $\alpha(L) < 2$ . Sedangkan Metode Broms bisa digunakan untuk menghitung kapasitas dukung lateral pondasi tiang pendek dan pondasi tiang panjang.

Namun, penelitian yang dilakukan oleh Mughieda O dan Sharma A (2022) dan Russo (2016) mengemukakan bahwa hasil dari metode Broms sangat konservatif dan tidak bisa digunakan pada tanah berlapis. Oleh karena itu kapasitas dukung lateral menggunakan metode Broms yang hanya bisa pada kondisi tanah satu lapis (lempung saja atau pasir saja) perlu dilakukan pendekatan dengan metode lain, yaitu metode *p-y curve* menggunakan *software* LPILE dengan kondisi tanah berlapis (lempung-pasir) dan hasil dari pengujian lateral.

Pada penelitian ini akan dilakukan perhitungan kapasitas dukung lateral dan defleksi sebagai pendekatan metode Broms terhadap metode *p-y curve* dan diverifikasi dengan pengujian lateral di lapangan yang dilakukan oleh Naramore (1990).

**Metode Broms**

Menurut Tomlinson metode Broms adalah metode perhitungan kapasitas dukung lateral menggunakan diagram tekanan tanah sederhana sepanjang kedalaman tiang yang mencapai nilai ultimitnya (Mebrahtu, 2022). Perhitungan pada penelitian ini, menggunakan rumus kontrol defleksi akibat beban lateral, yang disesuaikan dengan beban pengujian lateral di lapangan.

Dalam menghitung kapasitas dukung lateral digunakan prosedur yang dikembangkan oleh *The New York State Departement of Transportation* (1977) dan Buku *Principles of Foundation Engineering* edisi 8 oleh Braja M Das.

**Penentuan Tiang Pendek dan Tiang Panjang**

Pondasi tiang terbagi menjadi 2 klasifikasi, yaitu pondasi tiang panjang (elastis) dan pondasi tiang pendek (kaku). Klasifikasi tiang perlu dilakukan untuk mengetahui apakah tiang tersebut sebagai tiang panjang atau tiang pendek. Menurut Tomlinson (1977), kriteria tiang panjang dan tiang pendek berdasarkan faktor kekakuan R dan T yang dikaitkan dengan panjang tiang yang tertanam dalam tanah (L).

a. Faktor Kekakuan R

Faktor kekakuan R untuk menentukan perilaku tiang, sebagai berikut.

$$R = \sqrt[4]{\frac{Ep \times Ip}{kh \cdot D}} \tag{1}$$

**Tabel 1.** Hubungan k1 dan cu (Paulus 2006)

Konsistensi	Teguh	Sangat Teguh	Keras
cu (kg/cm <sup>3</sup> )	0.50-1.00	1.00-2.00	>2.00
Range k <sub>1</sub> (kg/cm <sup>3</sup> )	0.15-0.30	0.30-0.60	> 0.60

b. Faktor Kekakuan T

Faktor kekakuan T untuk menentukan perilaku tiang, sebagai berikut.

$$T = \sqrt[4]{\frac{Ep \times Ip}{\eta h}} \tag{2}$$

Dimana:

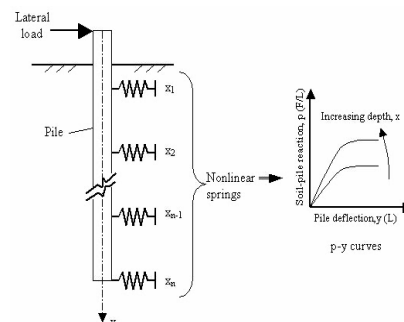
- Ep = Modulus young
- Ip = Momen Inersia
- D = Diamater tiang
- k<sub>h</sub> = k<sub>1</sub>/1,5.
- η<sub>h</sub> = Koefisien variasi modulus
- η<sub>h</sub> = 350-700 kN/m<sup>3</sup> (lempung terkonsolidasi)
- η<sub>h</sub> = 150 kN/m<sup>3</sup> (lanau lunak organik)

**Tabel 2.** Kriteria Pondasi Tiang Panjang dan Tiang Pendek (Tomlinson, 1957)

Jenis Tiang	Modulus tanah Bertambah secara linear	Modulus Tanah Konstan
Pendek	L ≤ 2T	L ≤ 2R
Panjang	L ≥ 4T	L ≥ 3,5 R

**Metode p-y curve**

Metode *p-y curve* adalah salah satu metode untuk menganalisis defleksi lateral dari pondasi tiang. Metode ini mendefinisikan interaksi beban arah lateral dan defleksi antara tanah dengan pondasi tiang yang digambarkan dalam kurva p-y. Sumbu-p merupakan tahanan tanah lateral persatuan panjang tiang dan sumbu-y merupakan defleksi lateral tiang (Mostafa, 2022).



**Gambar 1.** Tiang Dibebani Secara Lateral yang Menunjukkan Konsep Kurva Respon Tanah-Struktur (*p-y model*)

Berdasarkan Gambar 1 dalam analisis Metode *p-y curve* membagi tumpukan menjadi serangkaian kenaikan dengan panjang yang sama dan tanah diasumsikan sebagai rangkaian pegas non-linear (Pang, 2022). Dalam penelitian ini perhitungan kapasitas dukung lateral menggunakan Metode *p-y curve* dibantu dengan *software* LPILE yang merupakan perangkat lunak untuk menganalisis kapasitas dukung lateral menggunakan Metode *p-y curve*.

## METODE PENELITIAN

Berikut adalah tahapan dari penelitian ini.

### a. Studi Pustaka

Pengumpulan studi pustaka dan referensi berupa teori yang berkaitan pada penelitian ini.

### b. Pengumpulan data

Data yang diperlukan adalah data tanah berupa parameter dan stratifikasi, data pondasi dan data pengujian lateral.

### c. Analisis kapasitas dukung lateral menggunakan Metode Broms dan *p-y curve*:

#### 1. Metode Broms (homogen) vs *p-y curve* (homogen)

Pada tahap ini, analisis Metode Broms diasumsikan tanah merupakan satu lapis/homogen yaitu pada kondisi lempung saja atau pasir saja. Selanjutnya dibandingkan dengan hasil analisis Metode *p-y curve* pada kondisi tanah homogen juga (lempung saja atau pasir saja).

#### 2. Metode Broms (tanah homogen) vs *p-y curve* (tanah berlapis).

Pada tahap ini, hasil analisis Metode Broms kondisi tanah satu lapis/homogen (lempung saja atau pasir saja) dibandingkan dengan hasil analisis menggunakan Metode *p-y curve* pada kondisi tanah berlapis (lempung-pasir).

### d. Perbandingan dengan Pengujian Lateral

Selanjutnya hasil perhitungan kapasitas dukung lateral Metode Broms dan *p-y curve* diverifikasi dengan hasil pengujian lateral di lapangan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Data Pondasi Tiang

Data pondasi yang akan digunakan adalah panjang pondasi (L), diameter (D), mutu beton ( $f^c$ ), modulus elastisitas ( $E_p$ ), dan momen inersia ( $I_p$ ).

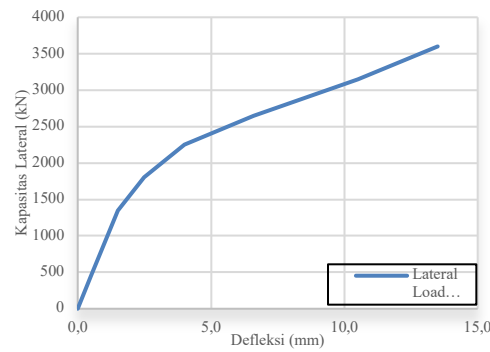
- L = 18.3 m
- B = 240 cm
- $f^c$  = 20 mPa
- $E_p$  = 21019039 kN/m<sup>2</sup>
- $I_p$  = 1,6278 m<sup>4</sup>

### Data Pembebanan

Data beban diperoleh dari hasil pengujian lateral di lapangan (*lateral load field test*) yang dilakukan oleh Naramore, S. A dan F.Y. Feng (1990) yang tersedia pada penelitian Wang dan Briaud, (2021). Data pembebanan ini digunakan sebagai batas maksimum beban yang dipakai dalam analisis menggunakan Metode Broms dan *p-y curve*. Berikut merupakan data beban ( $Q_u$ ) dan hasil pengujian lateral di lapangan.

**Tabel 3.** Beban Lateral (Wang dan Briaud, 2021)

<b>Qu (kN)</b>	<b>Defleksi (mm)</b>
3600	13.5
3150	10.5
2650	6.6
2250	4.0
1800	2.5
1350	1.5
900	1.0
450	0.5
0	0.0



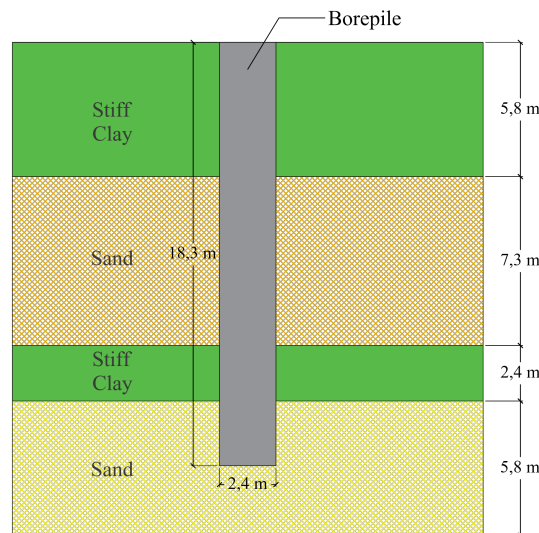
**Gambar 2.** Hasil Pengujian Lateral di Lapangan

### Stratifikasi Tanah

Stratifikasi tanah pada penelitian ini berdasarkan hasil penyelidikan tanah lapangan yang tersedia pada penelitian yang dilakukan oleh Wang dan Briaud, (2021).

Lapisan pertama pada kedalaman 0 – 5,8 meter merupakan lapisan tanah lempung kaku.

Lapisan kedua pada kedalaman 5-8 – 13,10 meter merupakan lapisan pasir padat. Lapisan ketiga pada kedalaman 13,10 – 15,50 meter merupakan lapisan lempung kaku dan terakhir pada kedalaman 15,50 – 21,30 meter merupakan lapisan pasir sedang. Berikut merupakan stratifikasi tanah dari penelitian ini.



**Gambar 3.** Stratifikasi Tanah (Briaud, 2021)

### Parameter Tanah

Parameter tanah diperoleh dari penelitian yang dilakukan oleh Wang dan Briaud, (2021) dan hasil korelasi pada *manual book* software LPILE. Parameter tanah yang diperlukan untuk menghitung kapasitas dukung lateral pada

penelitian ini adalah berat jenis tanah ( $\gamma$ ), undrained shear strength ( $c_u$ ), sudut geser ( $\phi$ ), *strain factor* (E50) dan koefisien modulus tanah arah horizontal ( $k$ ). Berikut merupakan parameter tanah yang digunakan.

**Tabel 4.** Parameter Tanah

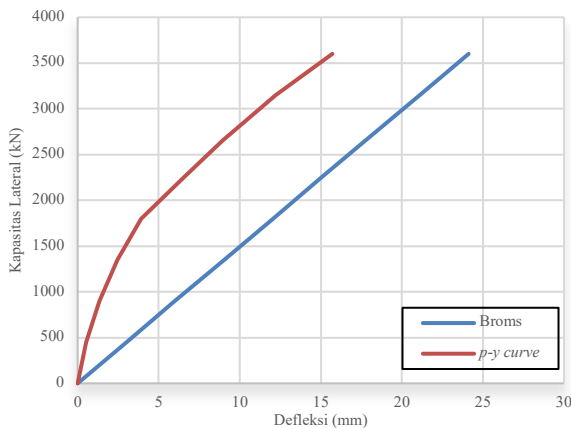
Kedalaman (m)	Jenis Tanah	Konsistensi	$\gamma$ (kN/m <sup>2</sup> )	$C_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi$	<i>Strain Factor</i> (E50)	$k$ (kN/m <sup>3</sup> )
0,00-5,80	Lempung	Kaku	19,70	134	-	0,005	271000
5,80-13,10	Pasir	Padat	20,00	-	43	-	61000
13,10-15,50	Lempung	Kaku	17,60	115	-	0,005	271000
15,50-21,30	Pasir	Sedang	17,30	-	31	-	24430

## Hasil Analisis Kapasitas Dukung Lateral

Pada Metode Broms, perhitungan kapasitas dukung lateral hanya bisa pada tanah homogen, artinya harus pada tanah pasir saja atau lempung saja, sedangkan pada lokasi yang akan dianalisis merupakan tanah yang berlapis. Maka penelitian ini mengacu pada hasil dari penelitian yang dilakukan Zhaohui Yang and Boris Jeremic' (2002) diasumsikan tanah dengan kondisi tanah lempung saja atau tanah pasir saja. Selanjutnya hasil analisis menggunakan metode Broms akan dibandingkan dengan analisis menggunakan Metode *p-y curve* yang dibantu dengan *software* LPILE dan pengujian lateral lapangan. Berikut merupakan hasil dari perhitungan kapasitas dukung lateral.

### 1. Pada Tanah Lempung

Perhitungan pada tanah lempung dilakukan dengan menggunakan beban yang dipakai pada pengujian lateral di lapangan.

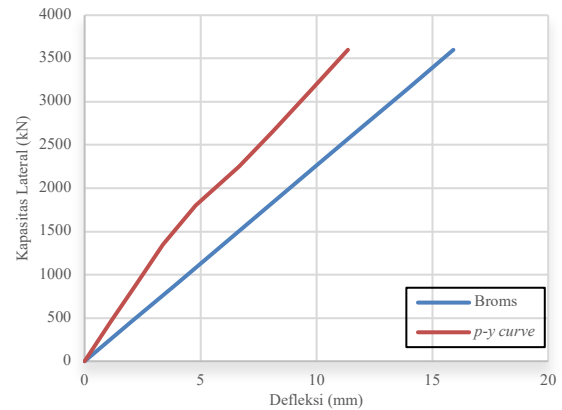


**Gambar 4.** Perbandingan Metode Broms dan *p-y curve* pada Tanah Lempung

Berdasarkan Gambar 4 defleksi pada tanah lempung dengan metode Broms lebih besar daripada metode *p-y curve*. Hal tersebut sesuai dengan penelitian dari Thadapaneni Kanakeswararo dan B. Ganesh (2017) bahwa defleksi dari Metode Broms lebih besar daripada metode *p-y curve*.

### 2. Pada Tanah Pasir

Perhitungan pada tanah pasir juga dilakukan dengan menggunakan beban yang dipakai pada pengujian lateral.

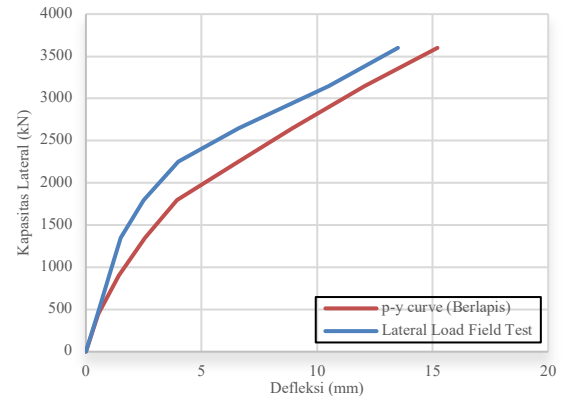


**Gambar 5.** Perbandingan Metode Broms dan *p-y curve* pada Tanah Pasir

Berdasarkan Gambar 5 defleksi pada tanah pasir dengan metode Broms lebih besar daripada metode *p-y curve*. sesuai dengan penelitian yang dilakukan Mughieda O dan Sharma A (2022) bahwa hasil dari Metode Broms lebih besar dan konservatif daripada Metode *p-y curve*.

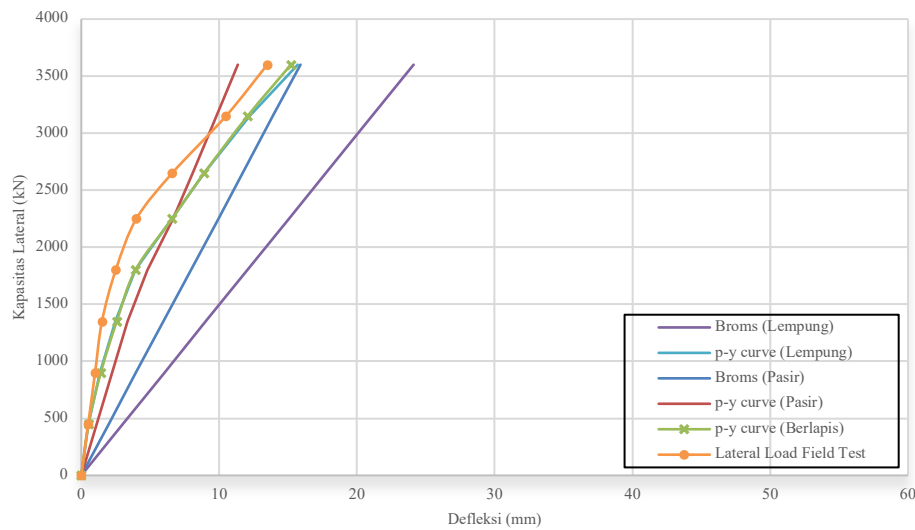
### 3. Pada Tanah Berlapis (Lempung-Pasir)

Perhitungan pada tanah berlapis (lempung-pasir) dilakukan dengan menggunakan beban yang dipakai pada pengujian lateral di lapangan.



**Gambar 6.** Perbandingan Pada Tanah Berlapis (Lempung-Pasir)

Berdasarkan Gambar 6 defleksi pada tanah berlapis dengan metode *p-y curve* lebih besar daripada hasil pengujian lateral di lapangan. Selanjutnya merupakan perbandingan dan verifikasi hasil dari metode Broms, *p-y curve*, dengan pengujian lateral di lapangan (lateral load field test).



**Gambar 7.** Grafik Perbandingan Hasil Perhitungan Metode Broms, *p-y curve* dan Pengujian Lateral

**Tabel 5.** Perbandingan Hasil Perhitungan Metode Broms, *p-y curve*, dan Pengujian Lateral

Qu (kN)	Defleksi (mm)					
	Pengujian Lateral	<i>p-y curve</i> (Berlapis)	Broms (Lempung)	<i>p-y curve</i> (Lempung)	Broms (Pasir)	<i>p-y curve</i> (Pasir)
3600	13.5	15	24	16	16	11
3150	10.5	12	21	12	14	10
2650	6.6	9	18	9	12	8
2250	4.0	7	15	7	10	7
1800	2.5	4	12	4	8	5
1350	1.5	3	9	2	6	3
900	1.0	1	6	1	4	2
450	0.5	1	3	1	2	1
0	0.0	0	0	0	0	0

Pola defleksi metode Broms dan *p-y curve* menunjukkan defleksi berbanding linear dengan bertambahnya pembebanan pada pondasi tiang, karena menurut Kristianto (2017) defleksi pada metode Broms akan berbanding lurus disebabkan jarak ujung tiang ke muka tanah ( $e$ ) dan modulus tanah konstan dan berbanding lurus dengan nilai defleksi, sedangkan pada metode *p-y curve* pola defleksi tidak berbanding lurus karena faktor kekakuan tanah yang berbeda pada setiap pembebanan.

Hasil perhitungan metode Broms dan *p-y curve* dengan perbandingan tanah 1 lapis (lempung saja atau pasir saja) dan berlapis (lempung-pasir), sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Zhaohui Yang dan Boris Jermic' (2002), bahwa defleksi pada tanah lempung-pasir mendekati defleksi pada tanah

lempung, sedangkan defleksi pada tanah pasir lebih kecil daripada tanah lempung dan tanah berlapis (lempung-pasir).

Hasil Metode Broms pada tanah pasir mendekati hasil dari Metode *p-y curve* pada tanah lempung dan berlapis (lempung-pasir) hal tersebut sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Mebrahtu (2022) bahwa hasil dari metode Broms pada tanah pasir mendekati hasil dari metode *p-y curve* pada tanah lempung dikarenakan tekanan tanah lateral ultimate tanah lempung/lempung-pasir metode *p-y curve* yang diasumsikan sebagai pegas (*springs*) pada setiap tumpukan mendekati tekanan tanah lateral ultimate metode Broms pada tanah pasir yang diasumsikan modulus tanah bertambah secara konstan.

## KESIMPULAN

Setelah melakukan analisis kapasitas dukung lateral, dan defleksi pada tanah lempung, pasir, dan tanah berlapis (lempung-pasir) dapat disimpulkan bahwa defleksi metode Broms lebih besar dan konservatif daripada metode  $p$ - $y$  curve pada tanah homogen (lempung saja atau pasir saja) Defleksi metode Broms juga lebih besar daripada metode  $p$ - $y$  curve dan pengujian lateral pada tanah berlapis (lempung-pasir). Artinya kapasitas dukung lateral pada metode Broms akan lebih kecil daripada metode  $p$ - $y$  curve dan pengujian lateral.

Hasil Metode Broms pada tanah pasir mendekati hasil dari Metode  $p$ - $y$  curve pada tanah berlapis (lempung-pasir) yaitu selisih 4%-34%. Hasil metode Broms pada tanah pasir, juga mendekati hasil dari pengujian lateral di lapangan (*lateral load field test*) dengan selisih 13%-35%.

Sehingga Metode Broms dengan asumsi tanah 1 lapis yaitu tanah pasir bisa dijadikan pendekatan untuk mengestimasi kapasitas dukung lateral pada tanah ber-lapis (lempung-pasir).

## DAFTAR PUSTAKA

- Briaud, J.-L., & Wang, Y.-C. (2018). *Synthesis of Load-Deflection Characteristics of Laterally Loaded Large Diameter Drilled Shafts: Technical Report 5. Report Date 13. Type of Report and Period Covered Unclassified*.
- Das, B. M. (2014). *Principles Of Foundation Engineering* (9th ed.).
- Dewi, S. (2009). *Analisa Kapasitas Kelompok Tiang Terhadap Beban Lateral dengan Menggunakan PLAXIS 3D Foundation*. Universitas Bina Nusantara.
- Ensoft. (2016). *LPILE Manual*.
- Kanakeswararao, T., & Ganesh, B. (2017). Analysis of Pile Foundation Subjected to Lateral and Vertical Loads. *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)*.
- Kristianto, A., Surjandari, N. S., & Djarwanti, N. (2017). Analisis Defleksi Lateral Tiang Tunggal *Free-End Pile* pada Tanah Kohesif.
- Mebrahtu, D. G. (2022). *Design of Horizontally Loaded Piles FEM and FDM Study on Lilla Lidingö Bridge*.
- Mostafa, H. H. (2022). Lateral response evaluation of single piles based on pressure meter test results (using Foxta) versus standard penetration test results (using Lpile). *Innovative Infrastructure Solutions*, 7(4). <https://doi.org/10.1007/s41062-022-00870-4>
- Mughieda, O., Alzo'ubi, A.K., Alzaylaie, M., Vandanapu, R., & Sharma, A. (2022). Empirical and numerical study of the static lateral response of socketed pile in Dubai, UAE. *Geotechnical Research*, 9(3), 165-171. <https://doi.org/10.1680/jgere.22.00032>
- Pang, L., Jiang, C., & Chen, L. (2022). Nonlinear Predictive Framework of the Undrained Clay Slope Effect on the Initial Stiffness of  $p$ - $y$  Curves of Laterally Loaded Piles by FEM. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(11). <https://doi.org/10.3390/jmse10111684>
- Rahardjo, P. P. (2013). *Buku Manual Pondasi Tiang* (4th ed.). Universitas Katolik Parahyangan.
- Russo, G. (2016). A method to compute the non-linear behaviour of piles under horizontal loading. *Soils and Foundations*, 56(1), 33-43. <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2016.01.003>
- Sivaraman, S., & Muthukkumaran, K. (2021). Non-linear performance analysis of free headed piles in consolidating soil subjected to lateral loads. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 24(2), 449-457. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2020.09.007>
- Tomlinson, M. J. (1957). *The Adhesion of piles driven into clay: Vol. Vol. 2*. Fourth International Conference on Soil Mechanics & Foundation Engineering.
- U.S. Department of Transportation. (1998). *495050222-FHWA-HI-97-013-Broms-Method-Pile-Lateral-Load-Capacity*.
- Wang, Y.-C., Assistant, R., & Briaud, J.-L. (2020). Large Diameter Piles Under Lateral Loading-A Database Study. *ISSMGE International Journal of Geoengineering Case Histories* ©, 6, 41. <https://doi.org/10.4417/IJGCH-06-02-03>
- Yang, Z., & Jeremi'c, B. J. (2002). Numerical Analysis of Pile Behavior under Lateral Loads in Layered Elastic-Plastic Soils. In *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics Int. J. Numer. Anal. Meth. Geomech* (Vol. 02).