

STUDI DAYA DUKUNG LATERAL FONDASI TIANG FREE-HEAD MENGGUNAKAN PROGRAM BUATAN BERBAHASA *FORCE FORTRAN 2.0*

Lilya¹ dan Gregorius Sandjaja S²

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

²*Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta*
Email: gregorius@ft.untar.ac.id

ABSTRAK

Fondasi merupakan bagian paling bawah dari suatu konstruksi yang penting untuk memikul beban bangunan di atasnya sehingga didesain dengan baik agar dapat menahan beban-beban yang bekerja, salah satunya adalah beban lateral. Analisis lateral telah dilakukan dengan beberapa metode. Dalam analisis ini metode yang digunakan antara lain metode *Broms*, *Matlock & Reese*, dan metode beda hingga. Ada 2 jenis tanah yang homogen, yaitu tanah kohesif dan non-kohesif. Metode-metode yang digunakan dalam analisis memberikan hasil yang berbeda sehingga menunjukkan kelebihan dan kekurangan pada masing-masing metode yang mempengaruhi ketelitian hasil analisis. Ketelitian hasil analisis ini dipengaruhi oleh parameter tanah yang digunakan yaitu ketelitian hasil akan meningkat seiring dengan kedekatan parameter tanah yang digunakan dalam analisis.

Kata kunci: metode *Broms*, metode *Matlock & Reese*, metode beda hingga, parameter tanah.

1. PENDAHULUAN

Fondasi merupakan bagian paling bawah dari suatu konstruksi yang penting untuk memikul beban bangunan di atasnya (Napitupulu dan Iskandar, 2013). Fondasi harus didesain dengan baik agar dapat menopang bangunan dan meneruskan beban bangunan termasuk beban luar ke lapisan tanah di bawahnya. Fondasi yang baik harus dapat menahan beban-beban yang bekerja pada fondasi. Salah satu beban yang perlu diperhitungkan pada perencanaan fondasi adalah beban lateral. Terdapat banyak metode perhitungan untuk analisis daya dukung lateral fondasi tiang seperti metode *Broms* dan metode *Matlock & Reese*. Program aplikasi untuk menghitung daya dukung lateral fondasi tiang sudah banyak tersedia tetapi membutuhkan biaya mahal, sehingga program ini dibuat sebagai alternatif untuk melakukan perhitungan daya dukung lateral fondasi tiang dengan biaya yang lebih murah.

Dalam makalah ini akan disajikan program yang dibuat sendiri dengan bahasa *Force FORTRAN 2.0* khusus untuk menghitung dan menganalisis daya dukung lateral fondasi tiang berdasarkan metode beda hingga (*finite-difference method*). Dalam pembuatan program ini ada beberapa hal yang membatasi, yaitu: jenis tanah berupa kohesif dan non-kohesif, tanah bersifat homogen, dan parameter yang digunakan diambil berdasarkan nilai rata-rata data tanah. Dalam memodelkan fondasi tiang pada program, jumlah elemen dibatasi maksimum sepuluh elemen.

Hasil analisis dengan program berbahasa *Force FORTRAN 2.0* kemudian dibandingkan dengan hasil perhitungan menggunakan metode yang diusulkan oleh *Broms* dan *Matlock & Reese*.

2. LANDASAN TEORI

Faktor Kekakuan Gaya Lateral Fondasi Tiang

Menurut *Tomlinson* dan *Woodward* (2015) untuk menentukan besar faktor kekakuan fondasi tiang yang mendukung beban lateral, perlu diketahui faktor kekakuan fondasi tiang, R dan T.

$$R = \sqrt[4]{\frac{E_p I_p}{k_h B}} \quad (1)$$

$$T = \sqrt[5]{\frac{E_p I_p}{n_h}} \quad (2)$$

dengan, R = faktor kekakuan fondasi tiang untuk tanah konstan, E_p = modulus elastis fondasi tiang, I_p = momen inersia fondasi tiang, k_h = modulus *subgrade* tanah horizontal, B = ukuran fondasi tiang, T = faktor kekakuan fondasi tiang untuk tanah yang tidak konstan, n_h = koefisien variasi modulus tanah.

Nilai n_h mempunyai hubungan dengan modulus *subgrade* horizontal sebagai berikut:

$$k_h = n_h \times \frac{x}{B} \quad (3)$$

dengan, x = kedalaman yang ditinjau, $n_h = 350 \sim 700 \text{ kN/m}^3$ untuk tanah lempung lunak yang terkonsolidasi normal, $n_h = 150 \text{ kN/m}^3$ untuk tanah lanau organik lunak.

Metode *Broms*

Metode perhitungan ini menggunakan diagram tekanan tanah yang disederhanakan dengan menganggap bahwa sepanjang kedalaman fondasi tiang reaksi atau tahanan tanah mencapai nilai *ultimate*.

Pada kondisi fondasi tiang pendek *free-head* pada tanah kohesif, momen maksimum diberikan untuk dua rentang kedalaman.

$$M_{\max} = H_u (e + 1,5B + 0,5x_o) \text{ untuk } 1,5B + x_o \quad (4)$$

$$M_{\max} = 2,25Bc_u(L - x_o)^2 \text{ untuk } L - x_o \quad (5)$$

$$x_o = \frac{H_u}{9c_u B} \quad (6)$$

dengan, M_{\max} = momen maksimum, H_u = gaya lateral, e = jarak ujung fondasi tiang ke permukaan tanah, x_o = letak momen maksimum terjadi, c_u = *undrained shear strength*, L = panjang fondasi tiang.

Pada kondisi fondasi tiang pendek *free-head* pada tanah non-kohesif, momen maksimum pada kedalaman x_o sebesar:

$$M_{\max} = H_u (e + 1,5x_o) \quad (7)$$

$$x_o = 0,82 \frac{H_u}{\gamma' BK_p} \quad (8)$$

dengan, γ' = tegangan efektif tanah, K_p = koefisien tekanan tanah pasif.

Pada kondisi fondasi tiang panjang *free-head* pada tanah kohesif, momen maksimum pada kedalaman x_o sebesar:

$$M_{\max} = H_u (e + 1,5B + x_o) - 0,5x_o(9c_u Bx_o) \quad (9)$$

dengan, x_o sesuai pada persamaan (6).

Pada kondisi fondasi tiang panjang *free-head* pada tanah non-kohesif, momen maksimum pada kedalaman x_o sebesar:

$$M_{\max} = H_u (e + 0,67x_o) \quad (10)$$

$$x_o = 0,82 \left(\frac{H_u}{\gamma' BK_p} \right)^{0,5} \quad (11)$$

Pada tanah kohesif, besar defleksi dikaitkan dengan faktor tak berdimensi βL .

$$\beta = \left(\frac{k_h B}{4E_p I_p} \right)^{1/4} \quad (12)$$

Sehingga, $\beta L < 1,5$ untuk fondasi tiang pendek *free-head*, defleksi dan putaran sudut sebesar:

$$y_o = \frac{4H_u (1+1,5 \%_L)}{k_h BL} \quad (13)$$

$$\theta = \frac{6H_u(1+2\%_L)}{k_h BL^2} \quad (14)$$

$\beta L > 2,5$ untuk fondasi tiang panjang *free-head*, defleksi dan putaran sudut sebesar:

$$y_o = \frac{4H_u \beta(e\beta + 1)}{k_h B} \quad (15)$$

$$\theta = \frac{2H_u \beta^2 (1+2e\beta)}{k_h B} \quad (16)$$

Pada tanah non-kohesif, besar defleksi dikaitkan dengan faktor tak berdimensi αL .

$$\alpha = \left(\frac{n_h}{E_p I_p} \right)^{\frac{1}{5}} \quad (17)$$

Sehingga, $\alpha L < 2$ untuk fondasi tiang pendek *free-head*, defleksi dan putaran sudut sebesar:

$$y_o = \frac{18H_u (1+1,33\%_L)}{L^2 n_h} \quad (18)$$

$$\theta = \frac{24H_u (1+1,5\%_L)}{L^3 n_h} \quad (19)$$

$\alpha L > 4$ untuk fondasi tiang panjang *free-head*, defleksi dan putaran sudut sebesar:

$$y_o = \frac{2,4H_u}{(n_h)^{\frac{3}{5}} (E_p I_p)^{\frac{2}{5}}} + \frac{1,6H_u e}{(n_h)^{\frac{2}{5}} (E_p I_p)^{\frac{3}{5}}} \quad (20)$$

$$\theta = \frac{1,6H_u}{(n_h)^{\frac{2}{5}} (E_p I_p)^{\frac{3}{5}}} + \frac{1,74H_u e}{(n_h)^{\frac{1}{5}} (E_p I_p)^{\frac{4}{5}}} \quad (21)$$

Metode Matlock & Reese (Tomlinson dan Woodward, 2015)

Metode ini merupakan metode yang menggunakan pendekatan analisis berdasarkan reaksi *subgrade* dari tanah. Berikut persamaan-persamaan untuk menghitung defleksi (y_x), momen (M_x), putaran sudut atau *slope* (S_x), gaya geser (V_x), dan reaksi tanah (P_x):

$$y_x = y_A + y_B = A_y \frac{HT^3}{E_p I_p} + B_y \frac{MT^2}{E_p I_p} \quad (22)$$

dengan, y_x = defleksi, y_A = defleksi atas, y_B = defleksi bawah, H = gaya lateral, M = momen, A_y = koefisien atas untuk defleksi, B_y = koefisien bawah untuk defleksi.

$$S_x = S_A + S_B = A_s \frac{HT^2}{E_p I_p} + B_s \frac{MT}{E_p I_p} \quad (23)$$

dengan, S_x = putaran sudut, S_A = putaran sudut atas, S_B = putaran sudut bawah, A_s = koefisien atas untuk putaran sudut, B_s = koefisien bawah untuk putaran sudut.

$$M_x = M_A + M_B = A_m HT + B_m M \quad (24)$$

dengan, M_x = momen, M_A = momen atas, M_B = momen bawah, A_m = koefisien atas untuk momen, B_m = koefisien bawah untuk momen.

$$V_x = V_A + V_B = A_v H + B_v \frac{M}{T} \quad (25)$$

dengan, V_x = gaya geser, V_A = gaya geser atas, V_B = gaya geser bawah, A_v = koefisien atas untuk gaya geser, B_v = koefisien bawah untuk gaya geser.

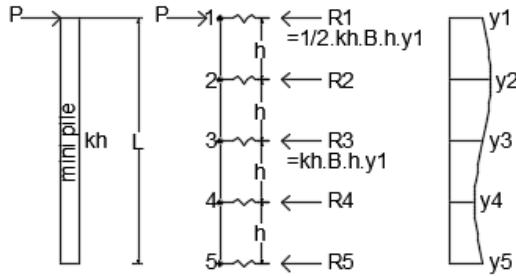
$$P_x = P_A + P_B = A_p \frac{H}{T} + B_p \frac{M}{T^2} \quad (26)$$

dengan, P_x = reaksi tanah, P_A = reaksi tanah atas, P_B = reaksi tanah bawah, A_p = koefisien atas untuk reaksi tanah, B_p = koefisien bawah untuk reaksi tanah.

Nilai-nilai koefisien A dan B pada persamaan (22) sampai dengan persamaan (26) disediakan dalam bentuk grafik yang ada pada dilihat pada banyak literatur antara lain Tomlinson dan Woodward (2015).

Metode Beda Hingga (*Finite-Difference Method*)

Menurut analisis Sujatmiko (2011) dan konsep fondasi *WINKLER*, fondasi tiang pancang dapat diidealisasikan sebagai sebuah balok sepanjang sumbu x dengan penampang yang konstan di sepanjang balok. Pada ujung fondasi tiang diberi beban lateral (P) pada arah sumbu y dan reaksi tanah diidealisasikan sebagai titik-titik pegas yang bekerja di sepanjang balok fondasi tiang pancang. Berikut ini contoh permodelan dengan fondasi tiang yang dibagi menjadi 5 node:



Gambar 1. Model Permasalahan (Sujatmiko, 2011)

Sehingga dengan menggunakan formulasi beda hingga diferensial orde 2, maka akan didapat persamaan-persamaan berikut:

$$\frac{E_p I_p}{h^2} (y_{n-1} - 2y_n + y_{n+1}) = -M \quad (27)$$

$$\frac{E_p I_p}{h^2} = C \quad (28)$$

$$C(y_{n-1} - 2y_n + y_{n+1}) = -M \quad (29)$$

dengan, y_n = defleksi pada tiap node, h = jarak antar elemen.

Adapun reaksi tanah di sepanjang balok fondasi tiang pancang pada node beda hingga adalah sebagai berikut:

$$R_1 = \frac{1}{2} k_h B h y_1 \quad (30)$$

$$R_2 \text{ sampai } R_4 = k_h B h y_i \quad (31)$$

$$R_5 = \frac{1}{2} k_h B h y_5 \quad (32)$$

dengan, R_i = reaksi tanah pada tiap node, y_i = defleksi pada tiap node.

Berdasarkan keseimbangan gaya didapat:

Node 2, $\Sigma M_2 = 0$

$$C(y_1 - 2y_2 + y_3) + R_1 h - Ph = 0 \quad (33)$$

Node 3, $\Sigma M_3 = 0$

$$C(y_2 - 2y_3 + y_4) + R_1 2h + R_2 h - P2h = 0 \quad (34)$$

Node 4, $\Sigma M_4 = 0$

$$C(y_3 - 2y_4 + y_5) + R_1 3h + R_2 2h + R_3 h - P 3h = 0 \quad (35)$$

Node 5, $\Sigma M_5 = 0$

$$R_1 4h + R_2 3h + R_3 2h + R_4 h - P 4h = 0 \quad (36)$$

$\Sigma F = 0$

$$R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 - P = 0 \quad (37)$$

dengan, P = gaya lateral.

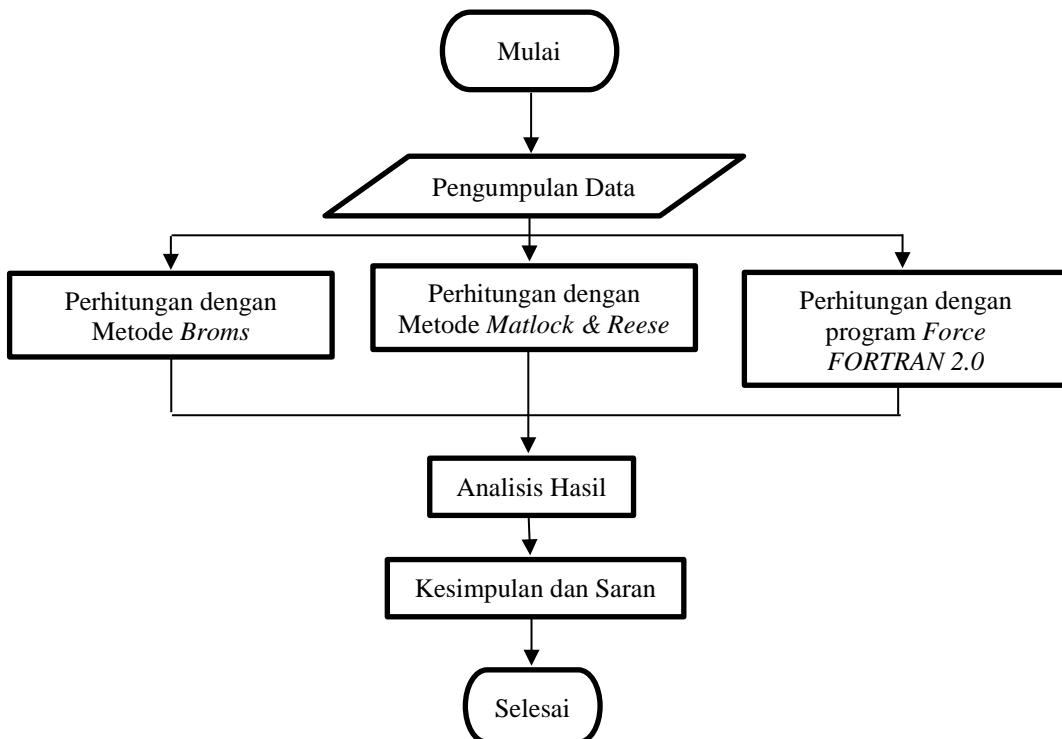
Sehingga dengan menggunakan persamaan-persamaan keseimbangan gaya tersebut dapat dihitung besar defleksi yang terjadi dengan menggunakan metode matriks sebagai berikut:

$$[A] \times \{y_i\} = \{B\} \quad (38)$$

dengan, $[A]$ = matriks konstanta defleksi, $\{y_i\}$ = vektor defleksi pada tiap node, $\{B\}$ = vektor konstanta persamaan.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Diagram Alir Penelitian



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

4. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Program Perhitungan Daya Dukung Lateral Berbahasa Force FORTRAN 2.0

Program untuk menghitung gaya lateral fondasi tiang *free-head* dibuat dengan menggunakan rumus-rumus metode beda hingga seperti yang tercantum pada persamaan (27) sampai dengan (38). Parameter tanah yang dimasukkan ke dalam perhitungan yaitu: bentuk fondasi tiang, ukuran fondasi tiang, mutu bahan, panjang fondasi tiang, modulus *subgrade* tanah, dan jumlah elemen fondasi tiang. Hasil dari perhitungan program berupa nilai momen di tiap elemen, defleksi yang terjadi pada tiap elemen, dan besar gaya lateral fondasi tiang.

Studi Kasus Penggunaan Program

Dalam studi kasus penggunaan program ini akan dilakukan pada fondasi bangunan 16 lantai dengan *semibasement* pada tanah kohesif yang memiliki kedalaman 19 m, sedangkan pada tanah non-kohesif digunakan data tanah untuk pembuatan turap dan fondasi tiang dipancang hingga kedalaman 23 m. Spesifikasi masing-masing fondasi tiang *free-head* pada kedua jenis tanah tersebut adalah berbentuk persegi berukuran 45 x 45 cm² dengan mutu K450 dan defleksi ijin 12 mm. Sebelum dilakukan perhitungan dengan program, dilakukan perhitungan dengan metode *Broms* dan *Matlock & Reese*. Hasil perhitungan tersebut akan dibandingkan dengan hasil perhitungan menggunakan program berbahasa *Force FORTRAN 2.0*.

Analisis dengan Metode *Broms*

Parameter yang digunakan dalam perhitungan ini merupakan data rata-rata sepanjang fondasi seperti yang tercantum pada tabel berikut:

Tabel 1. Parameter pada tanah kohesif

Modulus elastis fondasi tiang (E_p)	28723883,7903 kN/m ²
Momen inersia fondasi tiang (I_p)	0,003417188 m ⁴
Modulus <i>subgrade</i> tanah (k_h)	12833,3333 kN/m ³
<i>Undrained shear strength</i> (c_u)	70 kN/m ²

Tabel 2. Parameter pada tanah non-kohesif

Modulus elastis fondasi tiang (E_p)	28723883,7903 kN/m ²
Momen inersia fondasi tiang (I_p)	0,003417188 m ⁴
Koefisien variasi modulus tanah (n_h)	1333,3333 kN/m ³
Tegangan efektif tanah (γ')	15 kN/m ³
Koefisien tekanan tanah pasif (K_p)	0,1024

Sehingga dapat dihitung besar gaya lateral, putaran sudut, dan momennya berdasarkan besar defleksi ijinnya dengan menggunakan persamaan (6), (9) sampai dengan (12), (15) sampai dengan (17), (20), dan (21). Pada tanah kohesif di kedalaman 0 sampai 8 meter merupakan tanah lunak dan sekitar setengahnya digunakan untuk *semibasement* sehingga kedalaman tersebut dapat diabaikan sehingga didapat $e = 8$ m dan $L = 11$ m. Berikut hasil perhitungan yang didapat:

Tabel 3. Hasil analisis

	Tanah Kohesif	Tanah Non-Kohesif
Faktor tak berdimensi	3,8331 (fondasi tiang panjang)	9,7359 (fondasi tiang panjang)
Gaya lateral (H)	13,14 kN	37,2133 kN
Putaran sudut (θ)	0,0036 rad	0,00339 rad
Letak momen maksimum (x_o)	0,0463 m	6,0160 m
Momen maksimum (M_{max})	113,9893 kNm	149,9958 kNm

Analisis dengan Metode Matlock & Reese

Parameter yang digunakan dalam perhitungan merupakan data tanah berdasarkan tiap lapisannya seperti yang tercantum pada Tabel berikut:

Tabel 4. Parameter analisis pada tanah kohesif

x (m)	n_h (kN/m ³)	k_h (kN/m ³)	T	Z	Zmaks	e (m)
1,5	350	1166,6667	2,4266	0,6182	4,5331	8
3,0	350	2333,3333	2,1125	1,4201	5,2072	8
4,5	350	3500	1,9479	2,3102	5,6471	8
6,0	350	4666,6667	1,8390	3,2626	5,9815	8
7,5	350	5833,3333	1,7587	4,2644	6,2545	8
9,0	350	7000	1,6958	5,3074	6,4868	8
11,0	350	8555,5556	1,6290	6,7524	6,7524	8

Tabel 5. Parameter analisis pada tanah non-kohesif

x (m)	n_h (kN/m ³)	k_h (kN/m ³)	T	Z	Zmaks	e (m)
4,5	1333,3333	133,3333	3,7445	1,20176	6,14233	0
16	2000	56,2500	4,4500	3,59552	5,16856	0
19	10666,6667	252,6316	3,2952	5,76592	6,97980	0
23	33333,3333	652,1739	2,7259	8,43758	8,43758	0

Sehingga dapat dihitung besar gaya lateral, putaran sudut, dan momen, gaya geser, reaksi tanah, dan defleksinya pada tiap kedalaman berdasarkan besar defleksi ijinnya dengan menggunakan persamaan (22) sampai dengan (26). Koefisien A dan B pada persamaan-persamaan tersebut dapat dilihat pada literatur Tomlinson dan Woodward (2015). Berikut hasil perhitungan yang didapat:

Tabel 6. Hasil analisis pada tanah kohesif

x (m)	H (kN)	M (kNm)	S_x (rad)	M_x (kNm)	V_x (kN)	P_x (kN)	y_x (m)
1,5	18,1085	144,8680	-0,0079	163,2171	4,6263	18,6447	0,0120
3,0	128,3655	1026,9237	-0,0162	929,0003	-231,5944	103,1058	0,0017
4,5	-282,8736	-2262,9891	0,0069	-841,2534	591,9942	130,9501	-0,0008
6,0	-283,1850	-2265,4803	-0,0048	-89,4439	269,7421	205,9677	-0,0008
7,5	-1763,9933	-14111,9464	-0,0308	3574,5224	-112,3989	428,7162	-0,0001
9,0	-3282,4333	-26259,4663	-0,0550	739,9796	-807,0955	-2379,7546	-0,0001
11,0	-3654,4529	-29235,6233	-0,0584	-641,5916	-933,8692	-2866,3110	-0,0001

Tabel 7. Hasil analisis pada tanah non-kohesif

x (m)	H (kN)	M (kNm)	S_x (rad)	M_x (kNm)	V_x (kN)	P_x (kN)	y_x (m)
4,5	29,9122	0	-0,0048	84,0048	4,4868	6,7900	0,0120
16	-133,6656	0	-0,0007	-29,7404	26,7331	7,5093	-0,0027
19	-658,3678	0	-0,0018	32,5420	-6,5837	-9,9897	-0,0005
23	-1163,0385	0	-0,0022	47,5549	-11,6304	-21,3331	-0,0003

Analisis dengan Metode Beda Hingga (*Finite-Difference Method*)

Analisis yang dilakukan dengan program metode beda hingga menggunakan *Force FORTRAN 2.0* dimulai dengan memasukkan data: bentuk fondasi tiang, ukuran fondasi tiang, mutu bahan, panjang fondasi tiang, modulus *subgrade* tanah, dan jumlah elemen fondasi tiang. Pada tanah kohesif, jumlah elemen yang digunakan adalah delapan, sedangkan pada tanah non-kohesif jumlah elemennya adalah lima. Hasil *output* perhitungan program berupa nilai momen pada tiap elemen, defleksi pada tiap elemen, dan besar gaya lateral fondasi tiang. Berikut hasil perhitungan yang didapat:

Tabel 8. Hasil analisis dengan program pada tanah kohesif

Elemen	Momen (kNm)	Defleksi (m)
1	161,0547	0,0120000
2	458,8188	0,0004981
3	143,4966	0
4	-484,0142	-0,0001563
5	-137,5455	-0,0001448
6	100,9212	-0,0000529
7	251,2501	0
8	0	0
Gaya Lateral (kN)		20,1318

Tabel 9. Hasil analisis dengan program pada tanah non-kohesif

Elemen	Momen (kNm)	Defleksi (m)
1	80,8040	0,0120
2	567,4660	0,0012
3	-1661,4905	0
4	-1200,9755	0,0001
5	0	0
Gaya Lateral (kN)		17,5661

Perbandingan Hasil antara 3 Metode Perhitungan

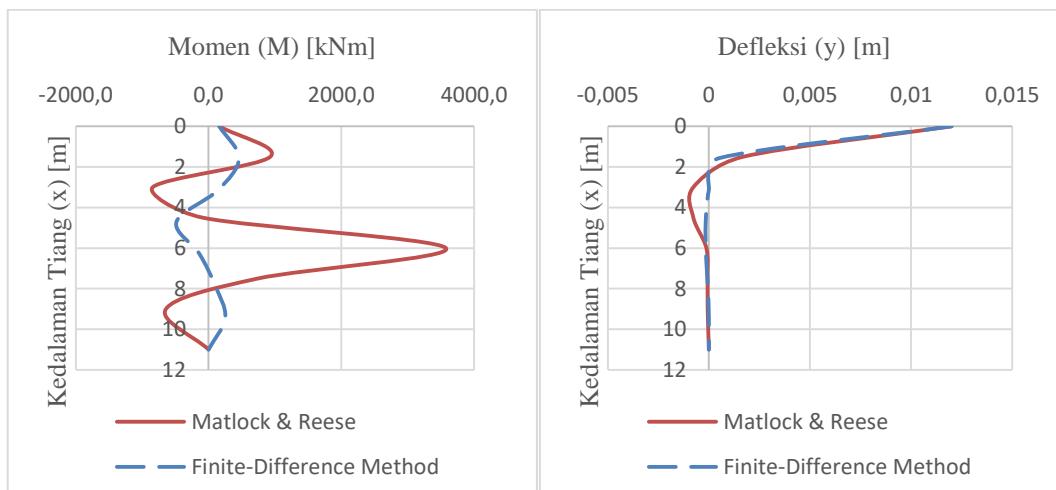
Berdasarkan perhitungan maka didapatkan hasil:

Tabel 10. Hasil analisis dengan 3 metode perhitungan pada tanah kohesif

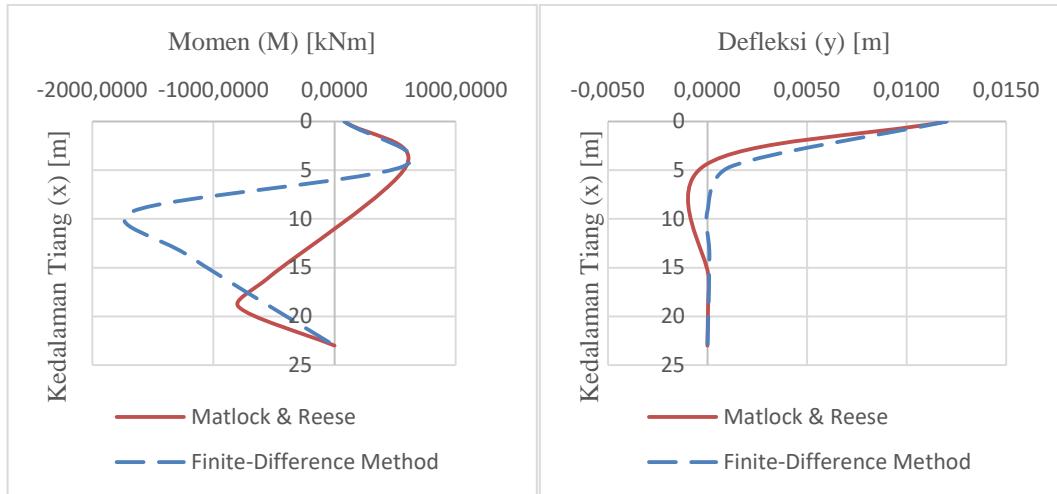
	Metode Broms	Metode Matlock & Reese	Finite-Difference Method
Gaya Lateral (H)	13,14 kN	18,1085 kN	20,1318 kN
Momen (M)	113,9893 kNm	144,8680 kNm	161,0547 kNm

Tabel 11. Hasil analisis dengan 3 metode perhitungan pada tanah non-kohesif

	Metode Broms	Metode Matlock & Reese	Finite-Difference Method
Gaya Lateral (H)	37,2133 kN	29,9122 kN	17,5661 kN
Momen (M)	149,9958 kNm	84,0048 kNm	80,8040 kNm

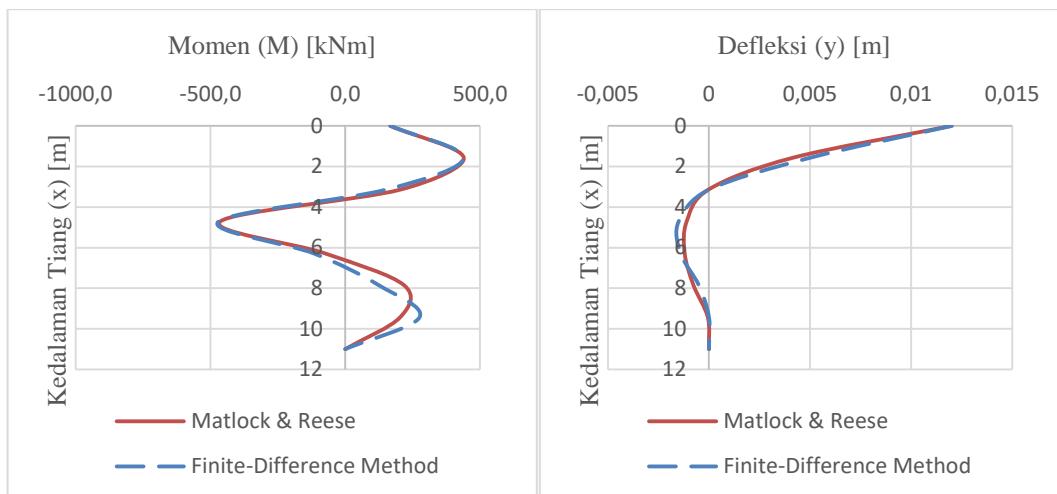


Gambar 5. Grafik Perbandingan Momen dan Defleksi Berdasarkan Metode Matlock & Reese dan Finite-Difference Method pada Tanah Kohesif

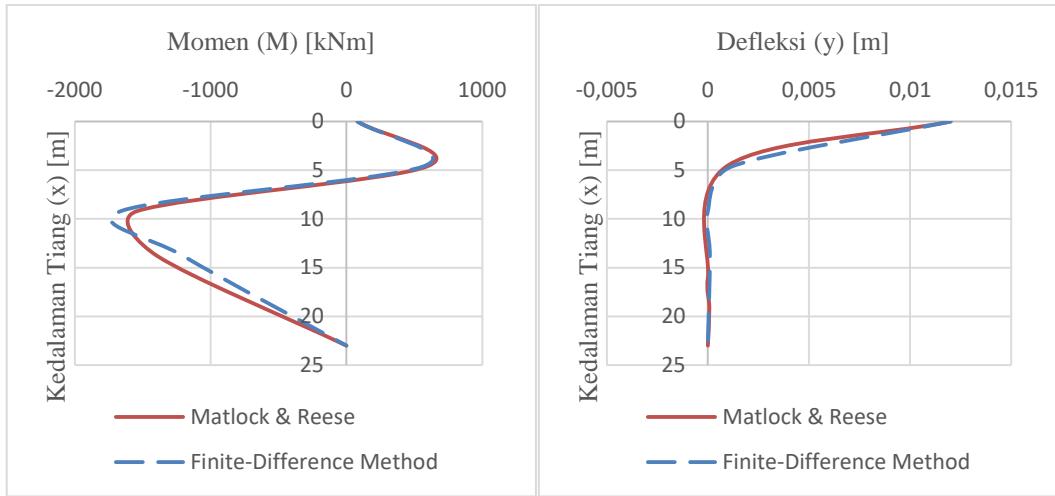


Gambar 6. Grafik Perbandingan Momen dan Defleksi Berdasarkan Metode *Matlock & Reese* dan *Finite-Difference Method* pada Tanah Non-Kohesif

Perbedaan hasil analisis antara 3 metode ini karena parameter tanah yang digunakan dalam analisis berbeda yaitu pada metode *Broms* dan *finite-difference method* digunakan nilai rata-rata, sedangkan pada metode *Matlock & Reese* digunakan nilai parameter sesuai dengan data pada tiap lapisan tanahnya. Berikut ini perbandingan hasil analisis jika pada metode *Matlock & Reese* menggunakan nilai parameter yang sama dengan *finite-difference method*.



Gambar 7. Grafik Perbandingan Momen dan Defleksi Berdasarkan Metode *Matlock & Reese* dan *Finite-Difference Method* dengan Nilai Parameter yang Sama pada Tanah Kohesif



Gambar 8. Grafik Perbandingan Momen dan Defleksi Berdasarkan Metode *Matlock & Reese* dan *Finite-Difference Method* dengan Nilai Parameter yang Sama pada Tanah Non-Kohesif

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, beberapa kesimpulan yang dapat diambil antara lain:

1. Hasil analisis dengan metode *Matlock & Reese* merupakan hasil yang paling teliti di antara ketiga metode perhitungan karena parameter tanah yang digunakan sesuai dengan data pada tiap lapisan tanah sehingga metode ini dijadikan acuan untuk metode perhitungan lainnya.
2. Hasil analisis dengan metode *Broms* merupakan hasil yang paling tidak teliti karena parameter tanah yang digunakan merupakan nilai rata-rata.
3. Hasil analisis dengan *finite-difference method* merupakan hasil yang paling mendekati dengan hasil metode *Matlock & Reese* walaupun parameter tanah yang digunakan merupakan nilai rata-rata karena ketelitian metode ini dipengaruhi oleh jumlah elemen yang dibagi.
4. Perbedaan hasil ketiga metode perhitungan dipengaruhi oleh spesifikasi parameter tanah yang digunakan dalam analisis.

6. SARAN

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, saran yang dapat disampaikan yaitu pengembangan program yang telah dibuat dengan *Force FORTRAN* 2.0 untuk analisis pada tanah selain tanah yang bersifat homogen dan nilai parameter-parameter yang berbeda pada tiap-tiap lapisan tanah.

DAFTAR PUSTAKA

- Napitupulu, E.D.S., dan Iskandar, R. (2013). Analisis Kapasitas Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Dengan Menggunakan Metode Analitis dan Elemen Hingga. Jurnal Teknik Sipil USU Vol. 2. No. 2
- Sujatmiko, A.F. (2011). Simulasi Respon Pondasi Tiang Pancang Akibat Pembebanan Lateral Menggunakan Metode Beda Hingga. Media Teknik Sipil. Vol. 9. No. 2, 96-101
- Tomlinson, M., and Woodward, J. (2015). *Pile Design and Construction Practice 6th ed.* CRC Press Taylor & Francis Group A Spon Press Book, London, New York