

Perbandingan Pemodelan *Pile Slab* Plaxis 2D dan Plaxis 3D pada Tanah Lunak (Studi Kasus Jembatan Sei Rambut)

MUHAMMAD RAQIL DWI SAPUTRA¹, DIAN ASTRIANI ARWAN ILYAS²

1. Mahasiswa, Institut Teknologi Nasional Bandung, Bandung, Indonesia

2. Dosen, Institut Teknologi Nasional Bandung, Bandung, Indonesia

Email: raqilrd@gmail.com

ABSTRAK

Jembatan Sei Rambut merupakan salah satu infrastruktur yang dibangun di atas tanah lunak sehingga memerlukan sebuah metode yang optimal. Salah satu metode yang digunakan pada jembatan ini adalah struktur pile slab. Dimana pada penelitian ini menganalisis pile slab menggunakan perangkat lunak Plaxis2D dan 3D. Penelitian ini berfokus pada titik PS 50 sampai PS 56 di Jembatan Sei Rambut. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan hasil antara kedua pemodelan dalam hal penurunan, perpindahan lateral, dan bending moment tiang. Analisis perbandingan pada program Plaxis dilakukan dengan menggunakan embedded beam dan plate untuk tiang fondasi dan slab serta hardening soil untuk tanah sebagai model material. Pemodelan 2D yang dilakukan yaitu plane strain dengan arah melintang dan memanjang struktur. Sementara itu, pemodelan Plaxis 3D menggunakan model material yang sama guna mendapatkan hasil yang lebih realistis. Hasil analisis menunjukkan nilai penurunan dan perpindahan lateral pada pemodelan 2D lebih besar dibandingkan pemodelan 3D. Sebaliknya, nilai bending moment pada pemodelan 3D lebih besar dibandingkan 2D.

Kata kunci: *Pile Slab, Tanah Lunak, Plaxis 2D, Plaxis 3D*

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi jembatan mengalami pertumbuhan yang semakin pesat, mulai dari bahan jembatan yang digunakan sampai dengan metode konstruksi jembatan (Dion Falerio, 2018). Pembaharuan dan inovasi-inovasi terbaru dari jembatan ini tidak lain merupakan solusi-solusi yang ditemukan untuk mengatasi masalah-masalah yang ada atau timbul di lapangan baik sebelum, sedang maupun setelah masa konstruksi. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah metode *pile slab*. Pertimbangan penggunaan metode *pile slab* ini selain kemudahan dalam pelaksanaan juga karena adanya masalah-masalah tanah yang timbul seperti daerah rawan longsor atau daerah dimana tidak dimungkinkan untuk dilakukan penimbunan tanah.

2. LANDASAN TEORI

2.1 Tanah Lunak

Menurut Panduan Geoteknik 1, 2001 istilah "tanah lunak" berkaitan dengan tanah-tanah yang jika tidak dikenali dan diselidiki secara teliti dapat menyebabkan masalah ketidak stabilan dan

penurunan jangka panjang yang tidak dapat ditolerir, tanah tersebut mempunyai kuat geser yang rendah dan kompresibilitas yang tinggi.

2.2 Pile Slab

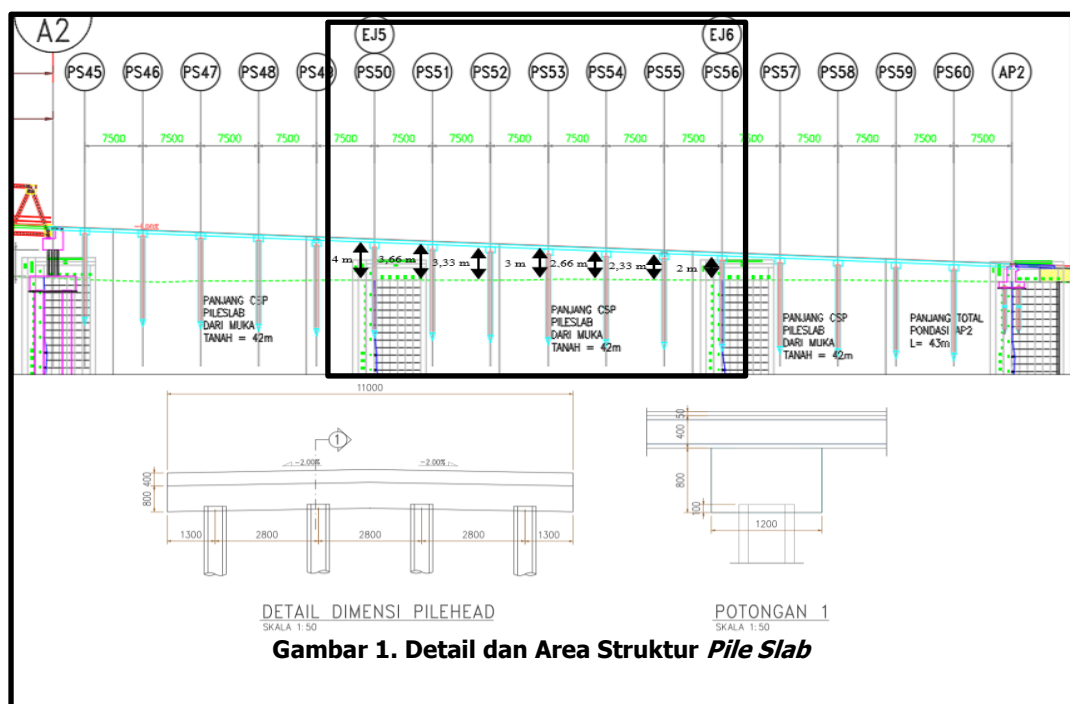
Pile slab atau tiang pelat adalah struktur yang tersusun dari pelat (*slab*), *pile head*, dan tiang pancang yang membentuk portal menerus. *Pile head* digunakan untuk mendistribusikan beban ke seluruh tiang. Pelat (*slab*) merupakan elemen horisontal struktur yang dapat mendukung beban hidup maupun beban mati dengan menyalurkannya kepada kerangka vertikal dari sistem struktur. (Sudarmoko 1996). Pelat dipakai pada struktur arsitektural, jembatan perkerasan jalan, dan lain sebagainya.

2.3 Metode Elemen Hingga Menggunakan Plaxis

Metode elemen hingga merupakan prosedur perhitungan yang sering digunakan untuk mendapatkan pendekatan dari permasalahan matematis yang muncul pada rekayasa teknik dari metode tersebut yang membuat persamaan matematis dengan berbagai pendekatan dan rangkaian persamaan aljabar yang melibatkan nilai pada titik-titik di bagian yang dievaluasi. Persamaan metode elemen hingga dibuat agar mendapat solusi sebaik mungkin untuk menghindari kesalahan pada hasil akhirnya.

3. METODOLOGI

Metodologi penelitian ini diawali dengan studi literatur untuk memahami konsep dan teori yang mendukung penelitian. Selanjutnya, dilakukan pengumpulan data. Data yang dikumpulkan berupa geometri jembatan *pile slab* dan data tanah berupa NSPT serta data uji laboratorium. Setelah data terkumpul, dilakukan pemodelan menggunakan Plaxis 2D dan Plaxis 3D. Dimana pemodelan pada Plaxis 2D dimodelkan secara *plane strain* yang mencakup titik PS 50, PS 53, dan PS 56 untuk potongan melintang dan titik PS 50 sampai PS 56 untuk potongan memanjang. Sedangkan pada pemodelan Plaxis 3D dimodelkan secara penuh dari titik PS 50 sampai PS 56. Kedua pemodelan menggunakan model material yang sama untuk mendapatkan hasil yang lebih realistis. Pemodelan menggunakan *embedded beam* dan *plate* untuk tiang fondasi dan slab, serta *hardening soil* sebagai model tanah. Hasil pemodelan yang ditinjau berupa penurunan, perpindahan lateral, dan *bending moment* tiang yang digunakan sebagai bahan analisis. Gambar detail dan area *pile slab* dapat dilihat pada **Gambar 1**.



4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengolahan Data Parameter Tanah

Pengolahan data parameter tanah menggunakan hasil dari pengujian SPT pada lokasi pengeboran yang dikorelasikan. Pada Tabel 1, dapat dilihat parameter yang digunakan dalam pemodelan serta kedalaman tanah sedalam 63 m yang di klasifikasikan menjadi enam lapisan.

Tabel 1 Data Parameter Tanah

Parameter Tanah	Lanau Lunak	Lempung Medium	Pasir Lepas	Pasir Medium	Lempung Teguh	Pasir Medium	Unit
	Hardening Soil	Hardening Soil	Hardening Soil	Hardening Soil	Hardening Soil	Hardening Soil	
Kedalaman	0-16	16-26	26 - 40	40 - 50	50 - 58	58 - 63	
Klasifikasi Tanah	Very Soft	Medium	Loose	Medium	Medium	Medium	
Type	Undrained A	Undrained A	Drained	Drained	Undrained A	Drained	
N-SPT	1	7	10	25	12	20	
γ_{unsat}	15	15	15	16	16	16	(kN/m ³)
γ_{sat}	16	16	16	17	17	17	(kN/m ³)
E	840	7350	4900	12250	25200	9800	(kN/m ²)
E50 ref	672	5880	3920	9800	20160	7840	(kN/m ²)
Eoed ref	537,6	4704	3136	7840	16128	6272	(kN/m ²)
Eur ref	2016	17640	11760	29400	60480	23520	
K _x	8,64E-04	8,64E-04	8,64E-02	8,64E-02	8,64E-04	8,64E-02	m/day
K _y	8,64E-04	8,64E-04	8,64E-02	8,64E-02	8,64E-04	8,64E-02	m/day
c'	1	4	0,1	0,1	7	0,1	(kN/m ²)
v	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	
Φ	18	24	32	33	28	33	
ψ	0	0	2	3	0	3	

4.2 Data Parameter Struktur

Pemodelan Plaxis menggunakan *embedded beam* untuk tiang fondasi dan *plate* untuk memodelkan slab. Parameter pemodelan dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 3 Parameter Tiang Fondasi

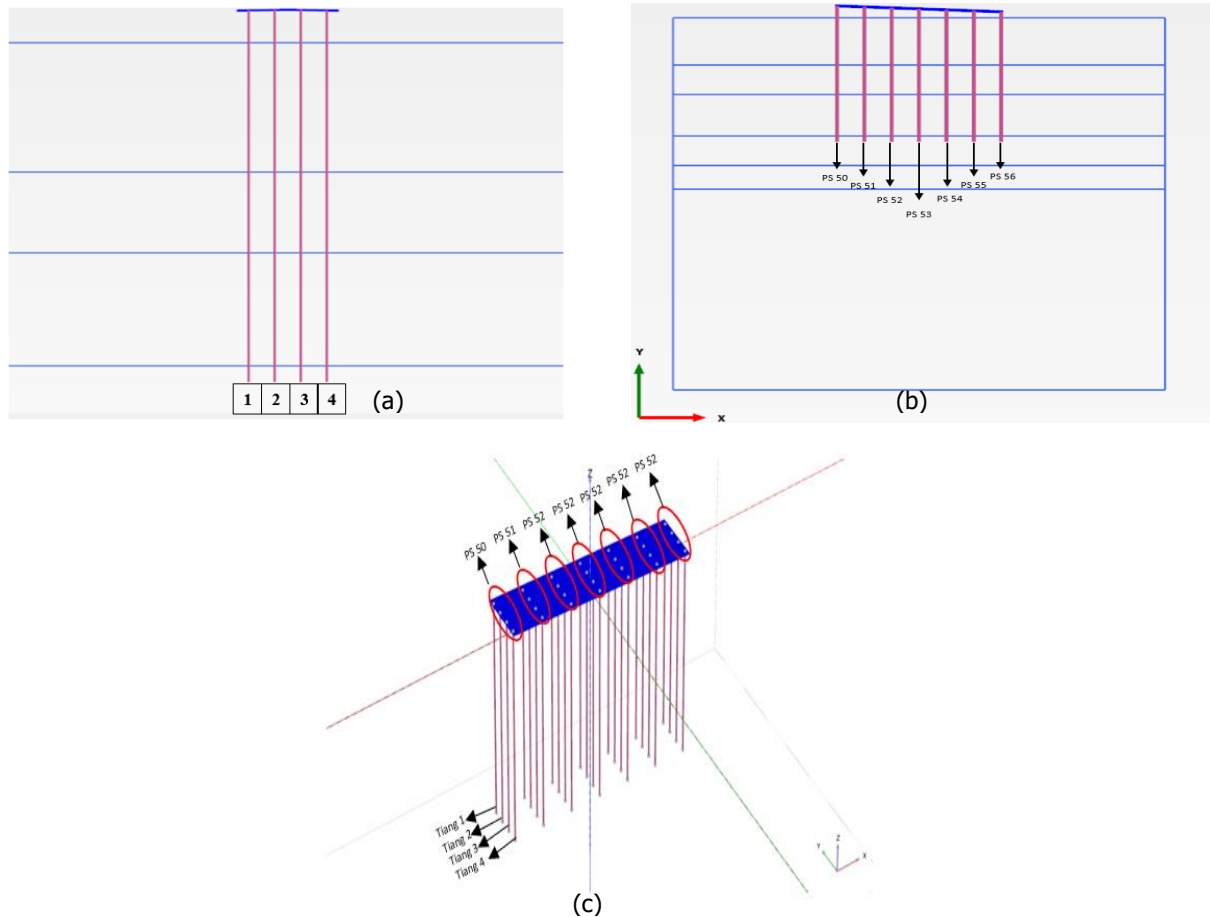
CSP 600		
D	0,6	m
L Spacing (s)	7,5	m
fc'	52	Mpa
E	33892181,99	kN/m ²
w	24	kN/m ³
Tskin Start	14,13	kN/m
Tskin End	1687,52	kN/m
Fmax	60,99	kN

Tabel 2 Parameter Slab

Slab		
Tebal	1,2	m
Panjang	11	m
Lebar	7,5	m
Concrete Quality (fc')	35	Mpa
A	9	m ²
E	27805574,98	kN/m ²
EA	250250174,8	kN/m ²
EI	30030020,98	kN/m ²
v	0,15	
I	1,08	m ⁴
w	24	kN/m ³

4.3 Pemodelan Pada Plaxis 2D dan Plaxis 3D

Pada model 2D, lapisan tanah dan stuktur fondasi dimodelkan dalam dua arah yaitu arah sumbu X dan arah sumbu Y (Gambar 2a dan 2b). sedangkan untuk model 3D lapisan tanah dan struktur dimodelkan dalam tiga arah yaitu arah sumbu X yang sejajar dengan pemodelan, arah sumbu Y yang melintang pemodelan dan arah sumbu Z yang menjadi arah vertikal pada pemodelan (Gambar 2c). Pembebanan yang digunakan yaitu beban merata sebesar 15 kN/m yang diasumsikan sebagai beban lalu lintas yang bekerja pada struktur *slab*.



Gambar 2. Notasi Pemodelan (a) Pemodelan Melintang 2D, (b) Pemodelan Memanjang 2D, (c) Pemodelan 3D

4.4 Rekapitulasi Hasil Pemodelan Plaxis

Berdasarkan hasil analisis pada pemodelan melintang Plaxis 2D, nilai penurunan tiang (U_y) terbesar terjadi pada titik PS 50 dengan besaran nilai sekitar 68,2 mm. Untuk nilai perpindahan lateral (U_x), nilai terbesar terjadi pada titik PS 50 tiang 4 dengan besaran nilai sekitar 1.9 mm. Sedangkan nilai *bending moment* (M) yang terbesar terjadi pada titik PS 56 tiang 4 dengan besaran 1.433 kN/m (Tabel 4).

Tabel 4. 1 Hasil Pemodelan Melintang 2D

No. Tiang	Pemodelan Melintang 2D								
1	PS 50			PS 53			PS 56		
	U_x (m)	U_y (m)	M (kN/m)	U_x (m)	U_y (m)	M (kN/m)	U_x (m)	U_y (m)	M (kN/m)
	0,00189	0,0682	1,2940	0,00168	0,0530	1,1561	0,00180	0,0526	1,3770
2	PS 50			PS 53			PS 56		
	U_x (m)	U_y (m)	M (kN/m)	U_x (m)	U_y (m)	M (kN/m)	U_x (m)	U_y (m)	M (kN/m)
	0,00065	0,0682	0,4377	0,00058	0,0530	0,4073	0,00068	0,0526	0,4491
3	PS 50			PS 53			PS 56		
	U_x (m)	U_y (m)	M (kN/m)	U_x (m)	U_y (m)	M (kN/m)	U_x (m)	U_y (m)	M (kN/m)
	0,00065	0,0682	0,4378	0,00058	0,0530	0,4058	0,00051	0,0526	0,5076
4	PS 50			PS 53			PS 56		
	U_x (m)	U_y (m)	M (kN/m)	U_x (m)	U_y (m)	M (kN/m)	U_x (m)	U_y (m)	M (kN/m)
	0,00190	0,0682	1,2900	0,00168	0,0530	1,1511	0,00163	0,0526	1,4328

Pada pemodelan memanjang plaxis 2D nilai penurunan tiang (U_y) terbesar terjadi pada titik PS 53 dengan besaran nilai sekitar 93,5 mm. Untuk nilai perpindahan lateral (U_x), nilai terbesar

terjadi pada titik PS 50 dengan besaran nilai sekitar 11.9 mm. Sedangkan nilai *bending moment* (M) yang terbesar terjadi pada titik PS 56 dengan besaran 37,343 kN/m (Tabel 5).

Tabel 4. 2 Hasil Pemodelan Memanjang 2D

Pemodelan Memanjang 2D											
PS 50			PS 51			PS 52			PS 53		
Ux (m)	Uy (m)	My (kN/m)	Ux (m)	Uy (m)	My (kN/m)	Ux (m)	Uy (m)	My (kN/m)	Ux (m)	Uy (m)	My (kN/m)
0,01187	0,08382	36,83770	0,00792	0,08879	27,54915	0,00388	0,09229	15,85112	0,00187	0,09347	2,60234
PS 54			PS 55			PS 56					
Ux (m)	Uy (m)	My (kN/m)	Ux (m)	Uy (m)	My (kN/m)	Ux (m)	Uy (m)	My (kN/m)			
0,00403	0,09204	11,22277	0,00787	0,08833	24,59713	0,01169	0,08310	37,34292			

Pada pemodelan Plaxis 3D dapat dilihat bahwa nilai penurunan tiang (Uz) terbesar terjadi pada titik PS 53 tiang 2 dengan besaran nilai sekitar 29,07 mm. Untuk nilai perpindahan lateral arah memanjang pemodelan (Ux), nilai terbesar terjadi pada titik PS 50 tiang 2 dengan besaran nilai sekitar 1.81 mm. Untuk perpindahan lateral arah melintang pemodelan (Uy), nilai terbesar terjadi pada titik PS 54 tiang 1 dengan besaran nilai sekitar 1,32 mm. Untuk bending moment arah memanjang (Mx) yang terbesar terjadi pada titik PS 56 tiang 1 dengan besaran 98,16 kN/m. Sedangkan bending moment arah melintang (My) yang terbesar terjadi pada titik PS 54 tiang 1 dengan besaran 74,71 kN/m (Tabel 6).

Tabel 4. 3 Hasil Pemodelan 3D

No. Tiang	Pemodelan 3D														
1	PS 50					PS 51					PS 52				
	Ux (m)	Uy (m)	Uz (m)	My (kN/m)	Mx (kN/m)	Ux (m)	Uy (m)	Uz (m)	My (kN/m)	Mx (kN/m)	Ux (m)	Uy (m)	Uz (m)	My (kN/m)	Mx (kN/m)
	0,00149	0,00075	0,01924	51,72557	86,54085	0,00140	0,00100	0,02526	61,76445	43,00521	0,00091	0,00125	0,02821	66,03000	27,29138
2	PS 50					PS 51					PS 52				
	Ux (m)	Uy (m)	Uz (m)	My (kN/m)	Mx (kN/m)	Ux (m)	Uy (m)	Uz (m)	My (kN/m)	Mx (kN/m)	Ux (m)	Uy (m)	Uz (m)	My (kN/m)	Mx (kN/m)
	0,00181	0,00029	0,01933	8,65628	68,21608	0,00165	0,00030	0,02532	17,66391	48,88127	0,00093	0,00049	0,02829	13,15452	28,63236
3	PS 50					PS 51					PS 52				
	Ux (m)	Uy (m)	Uz (m)	My (kN/m)	Mx (kN/m)	Ux (m)	Uy (m)	Uz (m)	My (kN/m)	Mx (kN/m)	Ux (m)	Uy (m)	Uz (m)	My (kN/m)	Mx (kN/m)
	0,00170	0,00025	0,01928	14,97724	71,89738	0,00163	0,00042	0,02527	30,14888	38,14705	0,00098	0,00047	0,02825	35,68446	22,27581
4	PS 50					PS 51					PS 52				
	Ux (m)	Uy (m)	Uz (m)	My (kN/m)	Mx (kN/m)	Ux (m)	Uy (m)	Uz (m)	My (kN/m)	Mx (kN/m)	Ux (m)	Uy (m)	Uz (m)	My (kN/m)	Mx (kN/m)
	0,00152	0,00042	0,01907	39,18324	90,02130	0,00148	0,00088	0,02511	58,02506	48,88992	0,00094	0,00111	0,02808	53,26775	31,33474

No. Tiang	Pemodelan 3D									
1	PS 53					PS 54				
	Ux (m)	Uy (m)	Uz (m)	My (kN/m)	Mx (kN/m)	Ux (m)	Uy (m)	Uz (m)	My (kN/m)	Mx (kN/m)
	0,00078	0,00124	0,02897	58,34184	25,43890	0,00074	0,00132	0,02807	74,71009	12,73725
2	PS 53					PS 54				
	Ux (m)	Uy (m)	Uz (m)	My (kN/m)	Mx (kN/m)	Ux (m)	Uy (m)	Uz (m)	My (kN/m)	Mx (kN/m)
	0,00079	0,00054	0,02907	19,23577	10,89486	0,00077	0,00034	0,02815	16,71517	14,40299
3	PS 53					PS 54				
	Ux (m)	Uy (m)	Uz (m)	My (kN/m)	Mx (kN/m)	Ux (m)	Uy (m)	Uz (m)	My (kN/m)	Mx (kN/m)
	0,00080	0,00033	0,02904	19,46441	8,13377	0,00079	0,00056	0,02812	21,25505	20,36589
4	PS 53					PS 54				
	Ux (m)	Uy (m)	Uz (m)	My (kN/m)	Mx (kN/m)	Ux (m)	Uy (m)	Uz (m)	My (kN/m)	Mx (kN/m)
	0,00081	0,00104	0,02888	55,32717	7,44833	0,00077	0,00079	0,02796	48,65937	26,03300

No. Tiang	Pemodelan 3D									
1	PS 55					PS 56				
	Ux (m)	Uy (m)	Uz (m)	My (kN/m)	Mx (kN/m)	Ux (m)	Uy (m)	Uz (m)	My (kN/m)	Mx (kN/m)
	0,00126	0,00104	0,02488	56,70587	51,04259	0,00155	0,00055	0,01860	34,65871	98,16619
2	PS 55					PS 56				
	Ux (m)	Uy (m)	Uz (m)	My (kN/m)	Mx (kN/m)	Ux (m)	Uy (m)	Uz (m)	My (kN/m)	Mx (kN/m)
	0,00127	0,00041	0,02496	15,90172	37,41981	0,00146	0,00020	0,01868	15,40252	81,99536
3	PS 55					PS 56				
	Ux (m)	Uy (m)	Uz (m)	My (kN/m)	Mx (kN/m)	Ux (m)	Uy (m)	Uz (m)	My (kN/m)	Mx (kN/m)
	0,00124	0,00030	0,02491	16,36715	44,57185	0,00134	0,00050	0,01863	18,04331	76,29483
4	PS 55					PS 56				
	Ux (m)	Uy (m)	Uz (m)	My (kN/m)	Mx (kN/m)	Ux (m)	Uy (m)	Uz (m)	My (kN/m)	Mx (kN/m)
	0,00124	0,00083	0,02475	50,11529	43,65285	0,00139	0,00080	0,01845	44,55578	91,51981

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis pada pemodelan melintang Plaxis 2D, nilai penurunan tiang (Uy) terbesar terjadi pada titik PS 50 dengan besaran nilai sekitar 68,2 mm. Untuk nilai perpindahan lateral (Ux), nilai terbesar terjadi pada titik PS 50 tiang 4 dengan besaran nilai sekitar 1.9 mm. Sedangkan nilai bending moment (M) yang terbesar terjadi pada titik PS 56 tiang 4 dengan besaran 1.433 kN/m. Pada pemodelan memanjang Plaxis 2D nilai penurunan tiang (Uy) terbesar terjadi pada titik PS 53 dengan besaran nilai sekitar 93,5 mm. Untuk nilai perpindahan lateral (Ux), nilai terbesar terjadi pada titik PS 50 dengan besaran nilai sekitar 11.9 mm. Sedangkan nilai bending moment (M) yang terbesar terjadi pada titik PS 56 dengan besaran 37,343 kN/m. Pada pemodelan Plaxis 3D dapat dilihat bahwa nilai penurunan tiang (Uz) terbesar terjadi pada titik PS 53 tiang 2 dengan besaran nilai sekitar 29,07 mm. Untuk nilai perpindahan lateral arah memanjang pemodelan (Ux), nilai terbesar terjadi pada titik PS 50 tiang 2 dengan besaran nilai sekitar 1.81 mm. Untuk perpindahan lateral arah melintang pemodelan (Uy), nilai terbesar terjadi pada titik PS 54 tiang 1 dengan besaran nilai sekitar 1,32 mm. Untuk bending moment arah memanjang (Mx) yang terbesar terjadi pada titik PS 56 tiang 1 dengan besaran 98,16 kN/m. Sedangkan bending moment arah melintang (My) yang terbesar terjadi pada titik PS 54 tiang 1 dengan besaran 74,71 kN/m.

Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai penurunan dan perpindahan lateral pada pemodelan 2D lebih besar dibandingkan pemodelan 3D. Selisih penurunan berkisar 45,16% - 72,03% pada pemodelan 2D melintang, dan 68,90% - 77,52% untuk pemodelan 2D memanjang. Untuk perpindahan lateral, selisih 2,42% - 77,75% pada arah melintang dan 56,91% - 86,74% pada arah memanjang. Sebaliknya, nilai bending moment pada pemodelan 3D lebih besar dibandingkan 2D, dengan selisih 94,94% - 98,02% untuk arah melintang dan 43,65% - 89,77% untuk arah memanjang.

DAFTAR RUJUKAN

- Agus Setyo Muntohar & Fadly Fauzi. 2013. " Perilaku Fondasi Tiang Bor Kelompok dengan Model Elemen Hingga 2D dan 3D "Tangerang, W. T. (2024).
- Ong Yin Hoe. (2018). " Comparison of Induced Deflection and Forces in Piles Adjacent to Tunnelling and Deep Excavation in 2D and 3D Problems."
- Sri Yulanti, Muhammad Riza, Vitta Pratiwi (2023). " Studi Perbandingan Analisis FEM 2D dan 3D Pada Stabilitas Sheet Pile Long Storage Kota Jakarta."