

ANALISIS PENGARUH OPENING PELAT LANTAI TERHADAP MOMEN LENTUR DAN PERALIHAN HORIZONTAL DINDING DIAFRAGMA

Miciel¹ dan Roesdiman Soegiarso²

¹Jurusan Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara Jakarta

Email: mi_ci_el@yahoo.com

² Dosen Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara Jakarta

Email: roesdimans@pps.untar.ac.id

ABSTRAK

Metode konstruksi *top down* adalah salah satu metode yang sedang berkembang akhir-akhir ini untuk mengendalikan peralihan horisontal dari galian dan meminimalisasi dampak terhadap bangunan dan fasilitas eksisting disekitarnya. Metode konstruksi *top down* adalah metode menggali dan membangun struktur bawah dari atas ke bawah dengan pelat lantai dasar dikerjakan pertama kali sebagai pelat atas dari galian. Pelat lantai sebagai penahan lateral dinding diafragma selama galian berlangsung. Pada metode *top down*, opening pelat lantai diperlukan untuk akses pelaksanaan pekerjaan galian. Opening pada pelat lantai mengurangi kekakuan pelat lantai sebagai sistem penahan lateral pada dinding diafragma yang dapat mengakibatkan momen lentur dan peralihan horisontal yang besar dari dinding diafragma. Pada penelitian ini dilakukan pemodelan dinding diafragma dengan berbagai variasi penahan lateral berupa pelat lantai. Pemodelan galian dilakukan dengan bantuan program Plaxis 3D Foundation diverifikasi dengan memasukkan beban lateral tanah dan spring ke dalam program Etabs 9.7.0. Dari hasil pemodelan tersebut, didapatkan peralihan horisontal terbesar terjadi pada dinding diafragma tanpa pelat lantai dan terdapat perbedaan posisi dan nilai momen lentur maksimum dinding diafragma antara kedua program tersebut walaupun ada kemiripan bentuk momen lentur dinding diafragma.

Kata kunci: dinding diafragma, *top down*, momen lentur, peralihan horisontal, *spring*.

1. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Pemilihan metode konstruksi struktur bawah tanah dapat dipengaruhi oleh lokasi galian. Apabila lokasi galian dekat dengan bangunan eksisting maka perlu dipilih metode yang tepat. Metode yang tepat diharapkan dapat mengendalikan peralihan horisontal dari struktur bawah tanah dan dapat meminimalisasi dampak yang merugikan terhadap bangunan dan fasilitas eksisting di sekitarnya. Salah satu metode konstruksi bawah tanah yang sedang berkembang akhir-akhir ini adalah metode konstruksi *top down*. Kelebihan metode *top down* yang lain adalah mempercepat periode konstruksi sebab struktur bawah tanah dikonstruksi secara bersamaan dengan struktur atas.

Metode konstruksi *top down* adalah metode menggali dan membangun struktur bawah tanah dari atas ke bawah. Struktur bawah tanah yang digunakan untuk menahan tekanan lateral tanah adalah dinding diafragma. Dinding diafragma memerlukan lateral *support* selama proses galian berlangsung. Lateral *support* yang digunakan berupa pelat lantai. Pelat lantai adalah struktur permanen yang menggantikan *strut* baja yang sifatnya sementara, sehingga mereduksi waktu untuk pemasangan dan pembongkaran *strut* baja.

Dalam metode *top down*, *opening* dibuat pada pelat lantai untuk akses dan mobilisasi selama pekerjaan galian berlangsung. *Opening* pada pelat lantai dapat mengurangi kekakuan pelat lantai sebagai lateral *support* dinding diafragma. Hal ini dapat mengakibatkan peralihan horisontal dinding diafragma membesar. Oleh sebab itu, luasan *opening* pada pelat lantai penting untuk diperhitungkan dalam pemodelan galian metode *top down*.

Konsep Metode Konstruksi *Top Down*

Metode konstruksi *top down* dilakukan dengan memasang pelat lantai dasar pertama kali sebelum galian dilakukan. Pelat lantai sebagai lateral *support* permanen bagi dinding diafragma untuk menggantikan *strut* baja yang sifatnya sementara. Pemasangan pelat lantai dan galian dilakukan dari atas ke bawah. Pada metode *top down*, struktur atas dikonstruksi bersamaan selama galian dan struktur bawah dikerjakan.

Tekanan Lateral Tanah

Tekanan tanah *Rankine* dapat diaplikasikan baik pada tanah kohesi maupun tanah non-kohesi. Kekurangan metode *Rankine* adalah tidak dapat memperhitungkan gesekan antara dinding penahan tanah dengan tanah. Di sisi lain tekanan tanah *Coulomb* dan *Caquot-Kreisel* dapat memperhitungkan gesekan antara dinding penahan tanah dengan tanah, Padfield dan Mair mengadopsi teori tekanan tanah *Rankine*, koefisien *Coulomb*, dan *Caquot-Kreisel* untuk menghitung masalah tekanan tanah pada galian. Perilaku jangka pendek pada tanah kohesi, tekanan tanah didapat dari metode *total stress*. Padfield dan Mair (1984) mengusulkan persamaan untuk menghitung tekanan tanah kohesi adalah sebagai berikut:

$$\sigma_a = \sigma_v \cdot K_a - 2 \cdot c \cdot K_{ac} \quad (1)$$

$$K_{ac} = \sqrt{K_a \left(1 + \frac{c_w}{c} \right)} \quad (2)$$

$$\sigma_p = \sigma_v \cdot K_p + 2 \cdot c \cdot K_{pc} \quad (3)$$

$$K_{pc} = \sqrt{K_p \left(1 + \frac{c_w}{c} \right)} \quad (4)$$

dengan: σ_a = tekanan lateral tanah aktif total yang bekerja pada dinding diafragma
 σ_p = tekanan lateral tanah pasif total yang bekerja pada dinding diafragma
 c = kohesi
 ϕ = sudut geser, berdasarkan total stress
 c_w = adhesi antara dinding penahan tanah dengan tanah
 K_a = koefisien tekanan tanah aktif
 K_p = koefisien tekanan tanah pasif

Jika tanah kohesi 100% jenuh, maka pada analisis dapat diasumsikan $\phi=0$ dan c adalah kuat geser undrained (s_u), maka $K_a = K_p = 1$, $K_{ac} = K_{pc} = \sqrt{1 + \frac{c_w}{s_u}}$, dimana c_w bisa diestimasi dengan persamaan

$$c_w = \alpha \cdot s_u \quad (5)$$

dengan: α = faktor reduksi yang berhubungan dengan kekuatan tanah metodekonstruksi dan kekasaran permukaan dinding

Pemodelan Perilaku Tanah

Tanah yang diberi beban cenderung berperilaku *non-linear*. Salah satu cara pemodelan perilaku tegangan regangan yang terkenal adalah Mohr-Coulomb. Model Mohr-Coulomb adalah model *linear elastic perfectly-plastic* dapat dikategorikan sebagai model yang mendekati perilaku tanah sebenarnya.

Model ini memerlukan 5 dasar input parameter antara lain *Young's Modulus* (E), *Poisson's ratio* (ν), kohesi (c), sudut geser dalam (ϕ), dan sudut *dilatancy* (ψ). Tipe perilaku material terdiri dari:

a. Perilaku *drained*

Perilaku *drained* digunakan untuk kasus tanah kering dan tanah yang mempunyai permeabilitas tinggi seperti tanah pasir (*sands*). Opsi ini dapat digunakan untuk mensimulasi perilaku tanah jangka panjang tanpa perlu memodelkan *history* dari pembebanan *undrained* dan konsolidasi.

b. Perilaku *undrained*

Perilaku *undrained* digunakan untuk kasus yang memperhitungkan kelebihan tekanan air biasanya terjadi pada tanah *clay*. Aliran tekanan air dapat diabaikan apabila permeabilitas *clay* rendah.

c. Perilaku *Non Porous*

Perilaku non-porous tidak memperhitungkan tekanan *initial* dan tekanan air tanah. Perilaku ini biasanya digunakan untuk memodelkan struktur dan sering digunakan dalam kombinasi dengan model *linear-elastic*.

2. METODE PENELITIAN

Analisis *Total Stress dan Undrained*

Analisis *total stress* adalah analisis yang menggunakan parameter $c = s_u$, $\phi = 0$, dan $\nu = 0,49$ untuk memenuhi kondisi bahwa tidak ada perubahan volume tanah pada *clay* jenuh. Pada metode *beam on elastic foundation*, untuk perilaku *undrained*, galian hanya dapat dianalisis dengan metode *total stress*. Sebaliknya pada metode elemen hingga, perilaku *undrained* dapat dianalisis dengan metode *effective stress* ataupun *total stress*.

Metode analisis *undrained* adalah metode dimana tekanan air berlebih tidak hilang sama sekali dalam analisis. Jika tanah berada dalam kondisi jenuh, maka tidak ada perubahan volume tanah. Analisis 2 dimensi akan menghasilkan peralihan horisontal yang *overestimate* dimana analisis 3 dimensi akan memberi hasil yang lebih rasional. Pada penelitian ini, analisis galian yang dilakukan adalah analisis *undrained total stress* dengan metode elemen hingga.

Beam on Elastic Foundation

Pada saat kondisi galian normal, deformasi dan tegangan pada dinding penahan tanah maupun permukaan tanah akan dipengaruhi oleh ketidakseimbangan gaya yang bekerja pada dinding dan kekakuan dari sistem dinding dan pelat lantai. Ketidakseimbangan gaya ini berkaitan dengan kondisi tanah, elevasi muka air tanah, tekanan air, lebar galian, kedalaman galian, dan luasan dari area galian.

Beam on elastic foundation merupakan metode sederhana dengan parameter yang mudah dipahami. Metode ini tidak memerlukan waktu lama dalam prosesnya. Namun kesederhanaan metode *beam on elastic foundation* menemukan kesulitan ketika menganalisis masalah galian yang rumit. Pada interaksi tanah terhadap struktur sering disimulasikan sebagai *springs* untuk memudahkan analisis. Analisis ini menjelaskan bahwa pondasi adalah struktur dengan kekakuan tertentu dan tanahnya yang merupakan bagian dari *elastic foundation*. Interaksi tanah terhadap struktur disimulasikan sebagai satu seri *spring*. Konstanta *spring* adalah rasio dari tegangan (P) terhadap perpindahan (δ).

Hal tersebut dapat ditunjukkan dengan rumus berikut:

$$K_s = \frac{P}{\delta} \quad (6)$$

dengan K_s disebut sebagai koefisien reaksi tanah dasar, modulus dari reaksi tanah dasar, ataupun konstanta *spring* tanah.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Studi Kasus

Beban yang diterapkan pada dinding diafragma berupa beban lateral tanah. Beban yang diterapkan pada pelat lantai berupa beban gravitasi. Beban gravitasi terdiri dari berat sendiri struktur dan beban hidup. Beban hidup pada lantai di elevasi 0.00 sebesar 15 kN/m² dan pada lantai di elevasi -6.00 dan -7.20 sebesar 2,5 kN/m².

Variasi kasus yang dianalisis antara lain:

1. Dinding diafragma kantilever.
2. Dinding diafragma dengan pelat full sebagai lateral *support*.
3. Dinding diafragma dengan pelat berlubang sebagai lateral *support*. Variasi luas lubang ada dua yaitu 16% dan 21,6% dari luas bruto galian.
4. Dinding diafragma dengan pelat berlubang sebagai lateral *support* dan kolom baja sebagai *vertical support*.

Untuk semua kasus yang dibahas memiliki data sebagai berikut:

1. Berat jenis beton 24 kN/m³ dan mutu beton yang dipakai untuk material dinding diafragma dan pelat lantai yaitu 40 MPa.
2. Denah (50 x 50)m
3. Kedalaman dinding diafragma 30m untuk kasus tanpa *vertical support* dan 40m untuk kasus dengan *vertical support*.
4. Tebal dinding diafragma 0,8m untuk kedalaman dinding diafragma 30m. Untuk kedalaman dinding diafragma 40m, tebal dinding diafragma 1m.
5. Tebal pelat lantai 0,3m. Hanya untuk kasus dengan *vertical support*, tebal pelat lantai di elevasi 0,00 adalah 0,55 m.
6. Tahapan galian pada analisis ini ada dua. Untuk kasus tanpa *vertical support*, kedalaman galian pertama 6m, kemudian kedalaman galian kedua sampai elevasi -11,50m. Untuk kasus dengan *vertical support*, kedalaman galian pertama 7,2m, selanjutnya kedalaman galian kedua sampai elevasi -15,5m.
7. *Vertical support* berupa kolom baja dengan kedalaman 20m berupa material bata dengan berat jenis 78,5 kN/m³, diameter 0,6m dengan tebal 0,2m.

Masing-masing kasus dianalisis pada 2 jenis tanah *clay* yaitu *stiff clay* dan *soft clay*. Parameter tanah *clay* dapat dilihat pada tabel 1. dan 2.

Tabel 1. Parameter Tanah *Stiff Clay*

Parameter	Lapis ke-1	Lapis ke-2	Lapis ke-3
	(0-15)m	(15-40)m	(40-75)m
Model material	<i>Mohr-Coulomb</i>	<i>Mohr-Coulomb</i>	<i>Mohr-Coulomb</i>
Tipe material	<i>Undrained</i>	<i>Undrained</i>	<i>Undrained</i>
Berat jenis tanah <i>unsaturated</i> (kN/m ³)	16	18	19

Parameter	Lapis ke-1	Lapis ke-2	Lapis ke-3
	(0-15)m	(15-40)m	(40-75)m
Berat jenis tanah <i>saturated</i> (kN/m ³)	16	18	19
<i>Modulus Young</i> (kN/m ²)	195000	210000	285000
<i>Poisson's ratio</i>	0,495	0,495	0,495
Kohesi	150	160	180
Sudut geser dalam	0	0	0
Faktor reduksi interface	0,9	0,85	0,85

Tabel 2. Parameter Tanah *Soft Clay*

Parameter	Lapis ke-1	Lapis ke-2	Lapis ke-3
	(0-15)m	(15-40)m	(40-75)m
Model material	Mohr-coulomb	Mohr-coulomb	Mohr-coulomb
Tipe material	Undrained	Undrained	Undrained
Berat jenis tanah <i>unsaturated</i> (kN/m ³)	16	17	18
Berat jenis tanah <i>saturated</i> (kN/m ³)	16	17	18
<i>Modulus Young</i> (kN/m ²)	25000	25000	25000
<i>Poisson's ratio</i>	0,495	0,495	0,495
Kohesi	25	25	25
Sudut geser dalam	0	0	0
Faktor reduksi interface	0,9	0,85	0,85

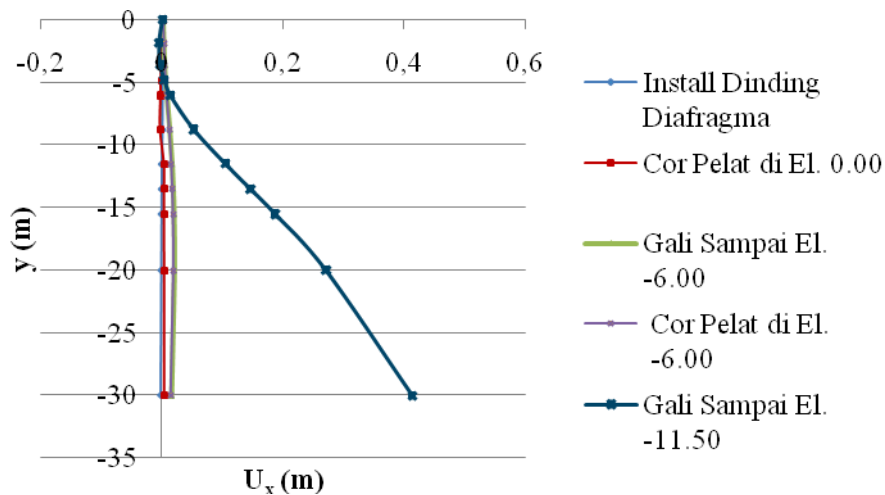
Deskritisasi Model

Analisis galian ini dilakukan dengan bantuan program numerik. Elemen dinding diafragma dan pelat dideskritisasi menjadi elemen-elemen yang lebih kecil. Pada analisis ini digunakan bantuan program Plaxis 3D Foundation. Ada dua tahapan deskritisasi yaitu *2D mesh generation* dan *3D mesh generation*. Tingkat kekasaran deskritisasi terdiri dari *very coarse*, *coarse*, *medium*, *fine*, *very fined*. Deskritisasi yang dipakai pada analisis ini adalah *fine*.

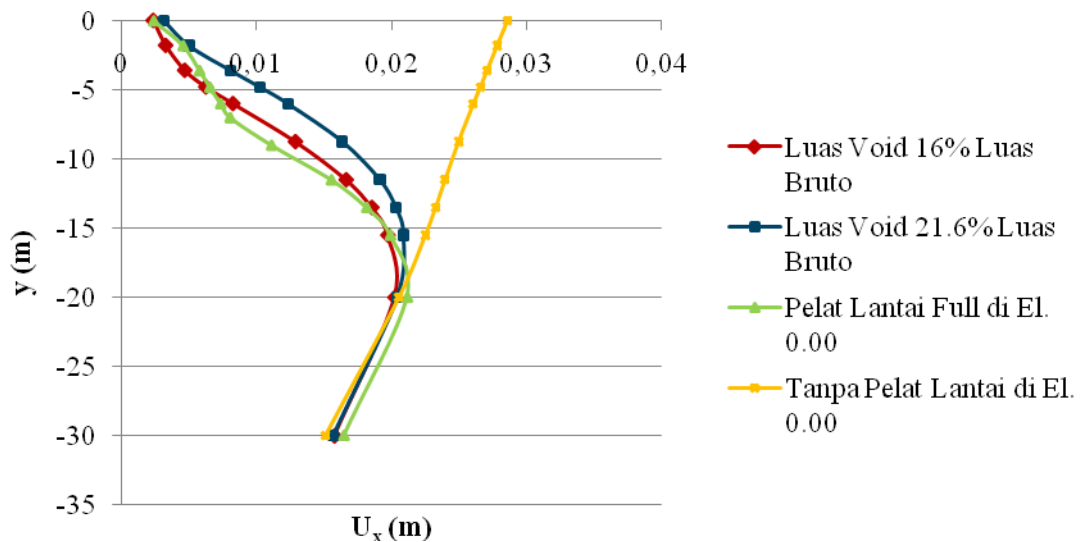
Hasil Analisis

Berdasarkan hasil analisis *total stress with undrained* parameter dengan model *linear elastic perfectly-plastic Mohr-Coulomb* pada program Plaxis 3D Foundation, didapatkan hasil berupa momen lentur dan peralihan horisontal (U_x) dinding diafragma. Pada Gambar 1. diperlihatkan bahwa kedalaman dinding semakin dalam, nilai U_x semakin besar. Nilai U_x terbesar terjadi pada tahapan terakhir yaitu tahapan galian sampai elevasi -11,50.

Nilai U_x dinding diafragma dengan variasi lateral *support* pada tahapan galian sampai elevasi -6,00 dapat dilihat pada Gambar 2. Dari gambar terlihat, dinding diafragma tanpa pelat lantai di elevasi 0,00 memiliki nilai U_x yang jauh lebih besar dibandingkan dinding diafragma yang memiliki lateral *support* berupa pelat lantai. Nilai U_x terbesar pada elevasi 0,00. Pelat lantai dengan luas void 21,6% menghasilkan U_x yang lebih besar dari pada pelat lantai dengan luas void 16%.



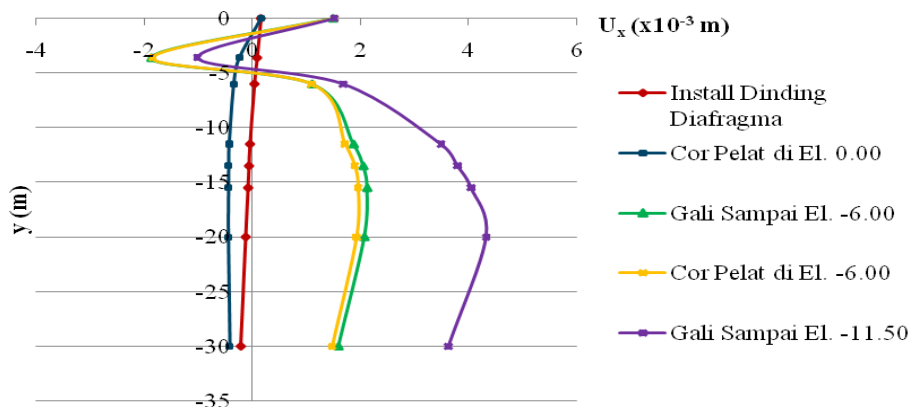
Gambar 1. Grafik U_x Dinding Diafragma dengan Pelat Lantai Berlubang Pada *Soft Clay*



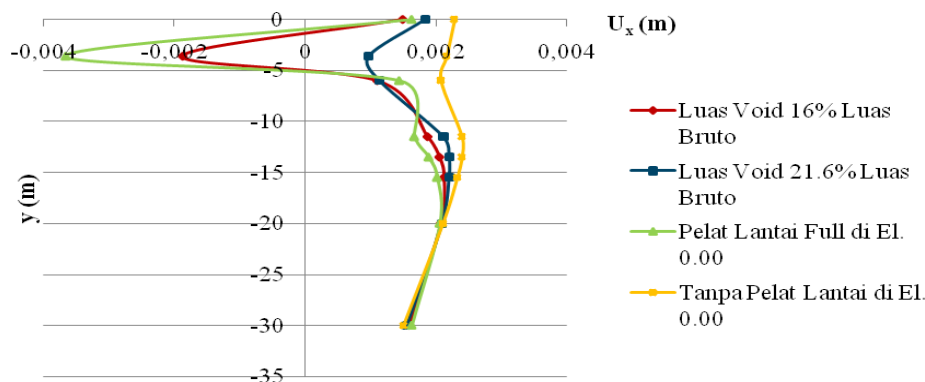
Gambar 2. Grafik U_x Dinding Diafragma dengan Variasi *Support* Pada *Soft Clay*

Pada tanah *stiff clay*, nilai U_x terbesar terjadi pada elevasi -20,00 kemudian mengecil sampai kedalaman dinding diafragma terakhir di elevasi -30,00 dapat dilihat pada Gambar 3. Hal ini dapat disebabkan oleh semakin dalam jenis tanahnya berupa lempung teguh. Hal ini terlihat dari nilai kohesinya semakin besar dengan bertambahnya kedalaman.

Dinding diafragma dengan dan tanpa pelat lantai di elevasi 0,00 dan digali sampai elevasi -6,00 pada tanah *stiff clay* menghasilkan nilai U_x maksimum. Untuk kasus tanpa pelat lantai, nilai U_x maksimum pada elevasi -11,50 dan -13,50 serta arah U_x dinding diafragma searah dengan arah beban lateral tanah. Sebaliknya pada kasus pelat lantai *full* dan berlubang 16%, nilai U_x maksimum pada elevasi -3.60 dan arah U_x dinding diafragma berlawanan dengan arah beban lateral tanah dapat dilihat pada Gambar 4.

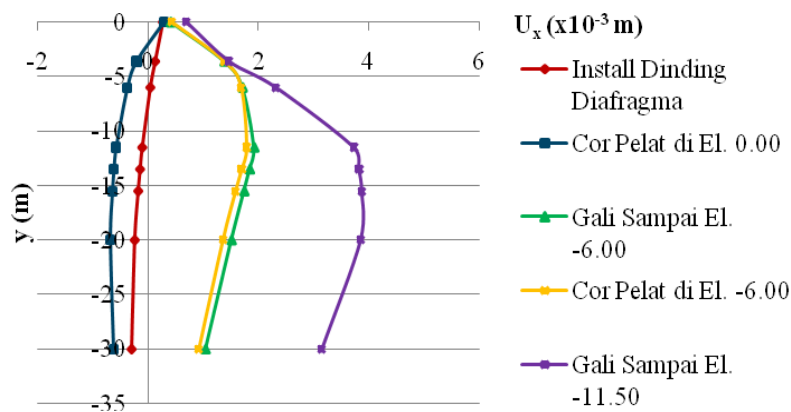


Gambar 3. Grafik U_x Dinding Diafragma dengan Pelat Lantai Berlubang Pada *Stiff Clay*



Gambar 4. Grafik U_x Dinding Diafragma dengan Variasi *Support* Pada *Stiff Clay*

Pada Gambar 5. dinding diafragma dengan pelat lantai berlubang pada tanah *stiff clay* ditopang dengan *vertical support* menghasilkan nilai U_x maksimum yang lebih kecil. Nilai U_x maksimum tanpa *vertical support* 0,00433m menjadi 0,00384m.



Gambar 5. Grafik U_x Dinding Diafragma dan Pelat Lantai Berlubang Dengan *Vertical Support* Pada *Stiff Clay*

Pada metode konstruksi *top down*, gaya aksial yang dihasilkan pada pelat lantai sebagai lateral *support* dinding diafragma cukup besar. Dari Tabel 3. terlihat bahwa gaya aksial terbesar pada tanah *soft clay* dan *stiff clay* terjadi pada pelat lantai dengan void 21,6%. Masing-masing gaya aksial tersebut sebesar 7150kN/m untuk *soft clay* dan 995,75kN/m untuk *stiff clay*. Hal ini dapat disebabkan oleh berkurangnya kekakuan pelat lantai akibat luasan void.

Tabel 3. Gaya Aksial Pelat (N_{11}) Pada Setiap Tahap Konstruksi

Tipe Pelat	Jenis Tanah	Gaya Aksial Pelat N_{11} (kN/m) Pada Setiap Tahapan Konstruksi					
		Cor Pelat di El. 0,00	Gali Sampai El. 6,00	Cor Pelat di El. -6,00		Gali Sampai El. -11,50	
				Pelat El. 0,00	Pelat El. -6,00	Pelat El. 0,00	Pelat El. -6,00
Pelat full	Soft Clay	50	1160	1180	37,11	1270	2090
	Stiff Clay	27,19	1570	1580	29,95	1640	440
Pelat Void 16%	Soft Clay	49,6	775,4	809,3	31,36	691,25	3370
	Stiff Clay	23,9	1080	1080	21,95	1110	549,54
Pelat Void 21,6%	Soft Clay	52	1290	1350	40,1	796,6	7150
	Stiff Clay	46,77	1090	1120	33,44	1130	995,75

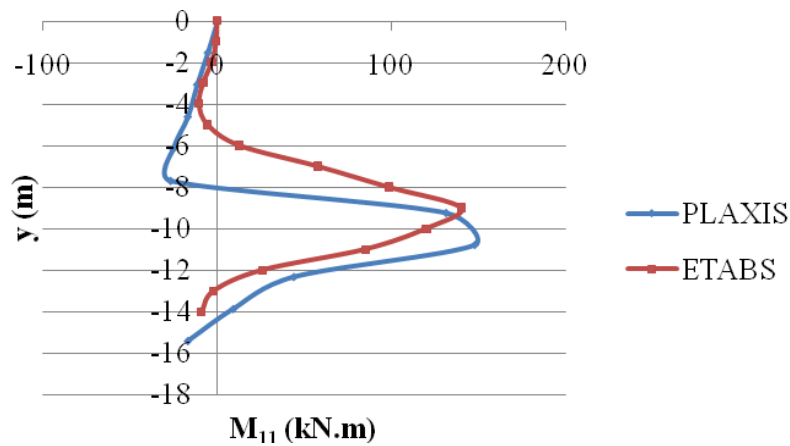
Pada Tabel 4. ditunjukkan bahwa pelat lantai dan dinding diafragma memiliki nilai U_x yang sama besar sebab sambungan antara pelat lantai dan dinding diafragma dalam pemodelan adalah *rigid*. Gaya aksial yang cukup besar pada pelat lantai dan bentuk pelat lantai yang berubah sesudah berdeformasi menyebabkan pelat lantai dianggap sebagai diafragma semi-*rigid*.

Tabel 4. Perbandingan U_x Pelat dan Dinding Diafragma

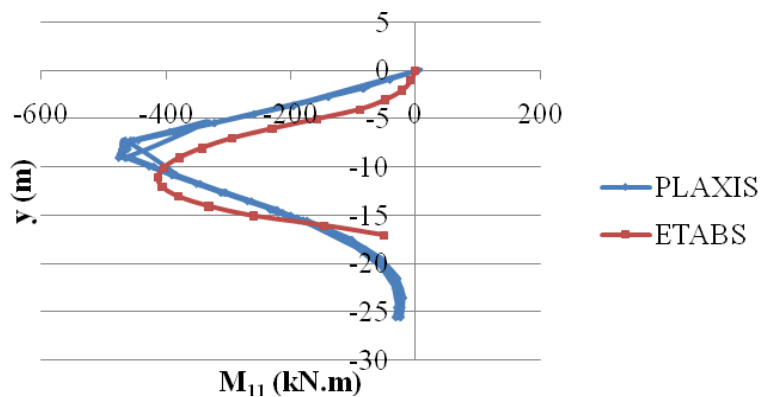
Tahapan Konstruksi	U_x (m)			
	Pelat		Dinding Diafragma	
	El. 0.00	El. -7.20	El. 0.00	El. -7.20
Cor Pelat di El. 0.00	0,000328	-	0,000328	-
Gali Sampai EL. -7.20	0,000471	-	0,000471	-
Tahapan Konstruksi	U_x (m)			
	Pelat		Dinding Diafragma	
	El. 0.00	El. -7.20	El. 0.00	El. -7.20
Cor Pelat di El. -7.20	0,000486	0,00235	0,000486	0,00235
Gali Sampai EL. -15.50	0,000834	0,00357	0,000834	0,00357

Hasil Verifikasi

Momen lentur dinding diafragma yang didapat dari analisis dengan program Plaxis 3D Foundation diverifikasi dengan program lain yaitu Etabs 9.7.0. Pada Gambar 6. dan Gambar 7. untuk kasus dinding diafragma kantilever, bentuk momen yang dihasilkan sudah menyerupai tetapi ada perbedaan posisi (y) dan nilai momen maksimum (M_{11}). Selisih nilai momen maksimum yang dihasilkan kedua program sebesar 5,4% pada tanah *stiff clay* dan 13,2% pada tanah *soft clay*.

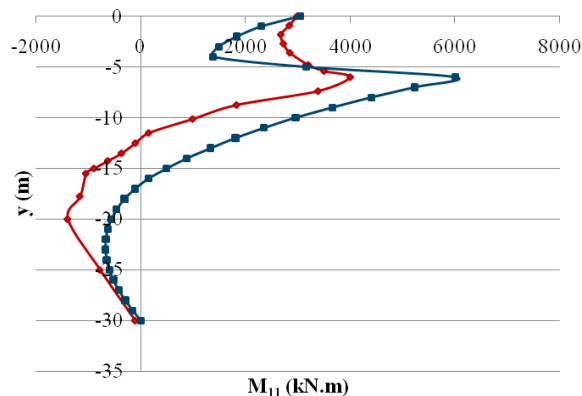


Gambar 6. Verifikasi Dinding Diafragma Kantilever Pada *Stiff Clay*

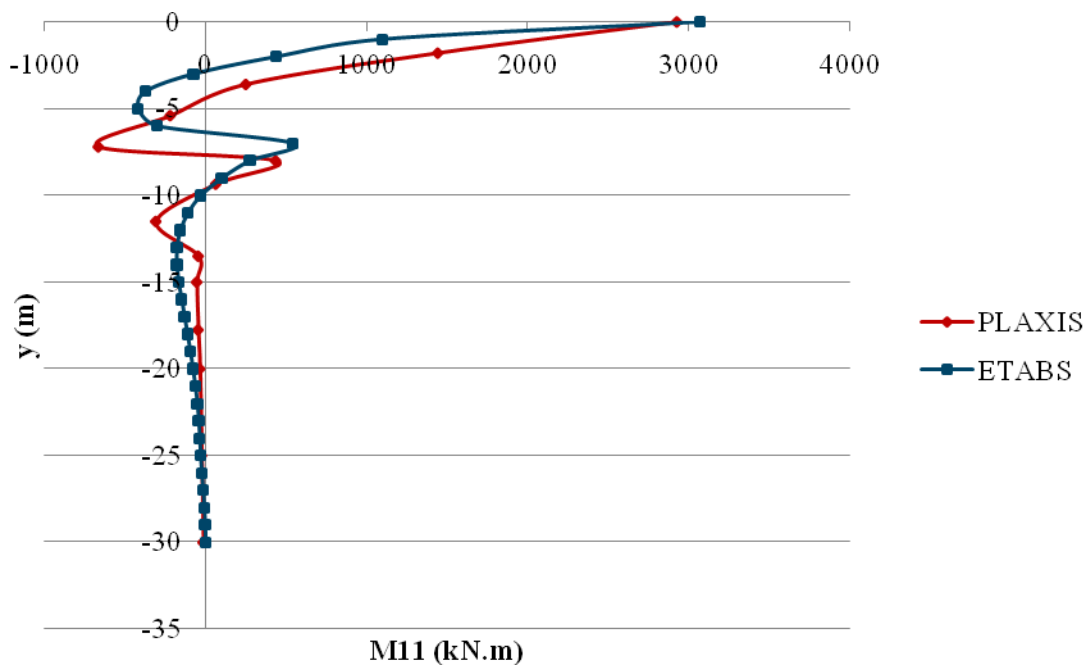


Gambar 7. Verifikasi Dinding Diafragma Kantilever Pada *Soft Clay*

Pada Gambar 8. dan Gambar 9. untuk kasus dinding diafragma dengan pelat lantai berlubang, bentuk momen yang dihasilkan sudah menyerupai tetapi ada perbedaan posisi (y) dan nilai momen maksimum (M_{11}). Selisih nilai momen maksimum yang dihasilkan kedua program cukup jauh. Nilai momen maksimum pada tanah *soft clay* dari Plaxis sebesar 4000kN.m dan Etabs 6000kN.m. Pada tanah *stiff clay*, nilai momen maksimum dari Plaxis sebesar 2922 kN.m dan Etabs 3070 kN.m.



Gambar 8. Verifikasi Dinding Diafragma Dengan Pelat Lantai *Full* Pada *Soft Clay*



Gambar 9. Verifikasi Dinding Diafragma Dengan Pelat Lantai *Full* Pada *Stiff Clay*

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan pada penelitian ini dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil analisis *total stress* pada program Plaxis 3D Foundation menunjukkan bahwa dinding diafragma kantilever tanpa pelat lantai sebagai lateral *support* menghasilkan peralihan horisontal yang paling besar. Sedangkan peralihan horisontal terkecil terjadi pada kasus pelat lantai *full*. Hanya saja untuk metode konstruksi *top down*, pelat lantai harus dilubangi untuk akses. Hasil yang paling efisien untuk metode *top down* adalah pelat lantai dengan luas *void* 16% dari luas pelat lantai bruto.
2. Hasil verifikasi momen lentur dinding diafragma pada program Plaxis 3D Foundation terhadap program Etabs 9.7.0 didapat bentuk momen lentur yang mirip tetapi ada perbedaan posisi dan nilai momen lentur maksimum. Perbedaan ini disebabkan oleh program Etabs 9.7.0 tidak mempunyai parameter tanah, sehingga parameter tanah dimodelkan sebagai *spring* titik. Untuk mendapatkan hasil yang mendekati eksak, *spring* titik harus diperbanyak dengan membagi elemen sekecil mungkin.

Saran

Pengaruh kekakuan pelat lantai terhadap momen lentur dinding diafragma pada konstruksi *top down* lebih efektif dengan membatasi luas *opening* dari pelat lantai daripada mempertebal pelat lantai. Penelitian lebih lanjut mengenai hal ini dapat dicoba dengan memverifikasi hasil dari program Plaxis 3D Foundation terhadap program metode elemen hingga lainnya seperti Abaqus.

REFERENSI

- Dong, Yuepeng. (2014). Advanced Finite Element Analysis of Deep Excavation Case Histories. Department of Engineering Science University of Oxford.
- Puller, Malcolm. (2003). Deep Excavations A Practical 2nd ed. Thomas Telford, London.
- Hwang, Richard N., and Moh, Za Chieh(2007). “Performance of Floor Slabs in Excavations Using Top-Down Method of Construction and Correction of Inclinometer Readings”. *Journal of GeoEngineering*, Vol. 2, No. 3.