

PERBANDINGAN DEFORMASI DINDING PADA BASEMENT METODE *TOP-DOWN* DENGAN ANALISIS *CONSTRUCTION STAGE* DAN ANALISIS KONVENSIONAL

Raynaldi¹ dan Alfred Jonathan Susilo²

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
raynaldi.325179101@stu.untar.ac.id

²Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
alfredsusilo@gmail.com

Masuk: 05-01-2021, revisi: 14-01-2021, diterima untuk diterbitkan: 11-03-2021

ABSTRACT

In basement construction with the top-down approach, excavation and slab installation work are carried out in stages. However, not all geotechnical applications can simulate construction stages, hence this effect has been ignored by many engineers in practice. Therefore, in this study, the effect of basement construction stages is analyzed using MIDAS GTS NX. In the program, two different analyses are performed. The first analysis is the construction stage analysis that simulates construction stages. As a comparison, a conventional analysis is performed which doesn't simulate construction stages. The two analysis results are compared. This analysis focuses mainly on the wall deformation. The modeling consists of 5 excavation stages (17 meters deep) and a diaphragm wall (36 meters deep). The walls are given 5 layers of slab reinforcements. In the first excavation stage, the maximum wall deformation results in both analyses show slightly different results (the construction stage analysis result is 8% greater than that of conventional analysis). However, in the final excavation stage, a significant difference is shown (the construction stage analysis result is 37% greater than that of conventional analysis). These results indicate that the effect of construction stages should not be neglected, especially in multi-story basements with top-down construction.

Keywords: top-down; MIDAS GTS NX; construction stage; diaphragm wall; deformation

ABSTRAK

Pada konstruksi *basement* dengan metode *top-down*, pekerjaan penggalian dan pemasangan pelat dilakukan secara bertahap. Namun, tidak semua aplikasi geoteknik dapat mensimulasikan tahapan konstruksi sehingga pengaruhnya sering diabaikan oleh banyak insinyur dalam praktiknya. Maka, pada penelitian ini dilakukan analisis pengaruh tahapan konstruksi *basement* menggunakan aplikasi MIDAS GTS NX. Pada program, akan dilakukan dua analisis yang berbeda. Pertama, dilakukan analisis *construction stage* yang mensimulasikan tahapan konstruksi. Sebagai perbandingan, dilakukan analisis konvensional yang tidak mensimulasikan tahapan konstruksi. Kedua hasil analisis dibandingkan. Analisis ini lebih berfokus pada deformasi yang terjadi pada dinding diafragma. Pemodelan terdiri dari 5 tahap galian dengan kedalaman 17 meter dan dinding diafragma dengan kedalaman 36 meter. Dinding diberi kekuatan pelat sebanyak 5 lapis. Pada galian tahap pertama, hasil deformasi maksimum dinding pada kedua analisis menunjukkan hasil yang tidak jauh berbeda (hasil analisis *construction stage* lebih besar 8% dibandingkan hasil analisis konvensional). Tetapi pada galian tahap akhir, hasil deformasi maksimum dinding pada kedua analisis menunjukkan perbedaan signifikan (hasil analisis *construction stage* lebih besar 37% dibandingkan hasil analisis konvensional). Hasil ini menunjukkan bahwa pengaruh tahapan konstruksi sebaiknya tidak diabaikan khususnya pada *basement* bertingkat banyak dengan metode *top-down*.

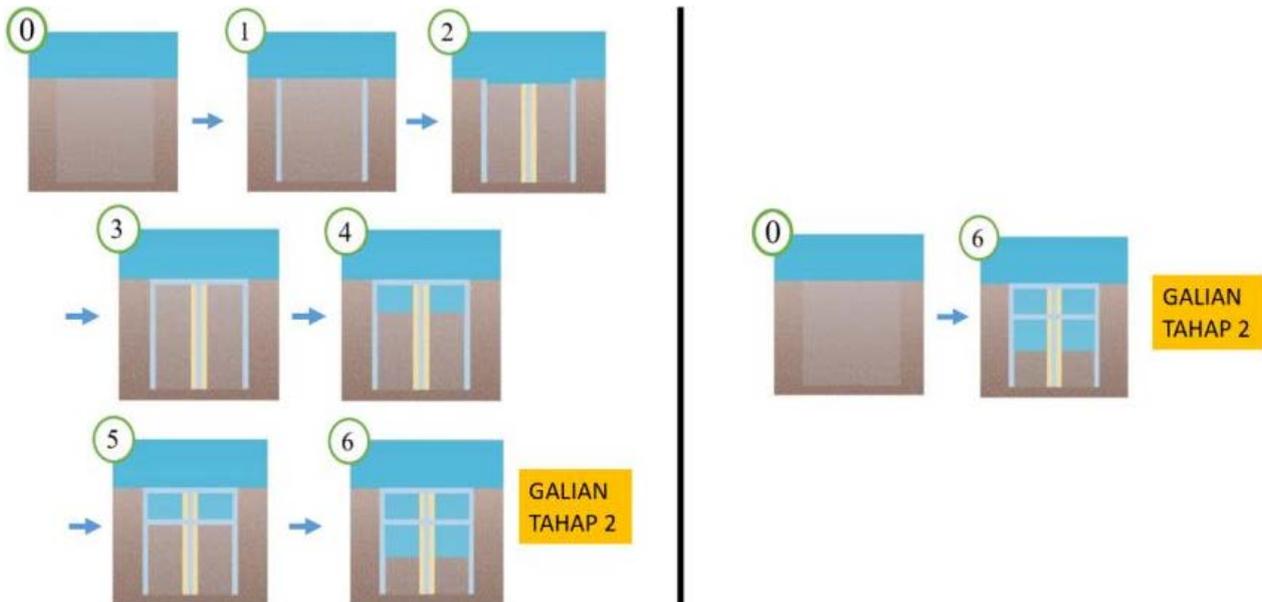
Kata kunci: *top-down*; MIDAS GTS NX; tahapan konstruksi; dinding diafragma; deformasi

1. PENDAHULUAN

Pekerjaan galian tanah akan menimbulkan deformasi lateral pada dinding diafragma, sehingga perlu dilakukan analisis untuk memastikan keamanannya. Untuk mendapatkan hasil analisis yang akurat, maka perlu dilakukan analisis yang menyerupai kondisi sesungguhnya. Dalam pekerjaan *basement* dengan metode *top-down* di lapangan, proses dilakukan secara bertahap mengikuti suatu tahapan konstruksi. Namun sayangnya, tidak semua aplikasi geoteknik dapat mensimulasikan tahapan konstruksi sesuai dengan yang dikerjakan di lapangan. Padahal, efek penerapan beban mati secara sekuensial merupakan faktor penting yang harus dipertimbangkan dalam analisis (Das, 2016). Sayangnya, efek ini telah diabaikan oleh banyak insinyur dalam praktiknya. Salah satu cara untuk mempertimbangkan efek ini dengan benar dalam analisis adalah dengan melakukan prosedur analisis langkah demi langkah sesuai dengan penerapan

beban mati secara sekuensial selama konstruksi berlangsung atau biasa disebut analisis *construction stage*. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dilakukan analisis pengaruh tahapan konstruksi pada *basement* dengan metode *top-down*. Aplikasi MIDAS GTS NX digunakan untuk analisis.

Pada program, akan dilakukan dua analisis yang berbeda. Pertama, dilakukan analisis *construction stage* yang dapat mensimulasikan tahapan konstruksi. Kedua, dilakukan analisis konvensional yang tidak mensimulasikan tahapan konstruksi. Kedua analisis diilustrasikan pada Gambar 1. Kedua hasil analisis akan dibandingkan dan dianalisis seberapa besar pengaruh tahapan konstruksi. Analisis ini lebih berfokus pada deformasi yang terjadi pada dinding diafragma untuk mengetahui perubahan deformasi yang terjadi pada dinding penahan tanah selama tahapan konstruksi. Untuk batasan masalah pada penelitian ini, *basement* yang ditinjau adalah *basement* 5 tingkat dan analisis dilakukan pada kondisi tanah *drained*.



Gambar 1. Ilustrasi analisis *construction stage* (kiri) dan analisis konvensional (kanan)

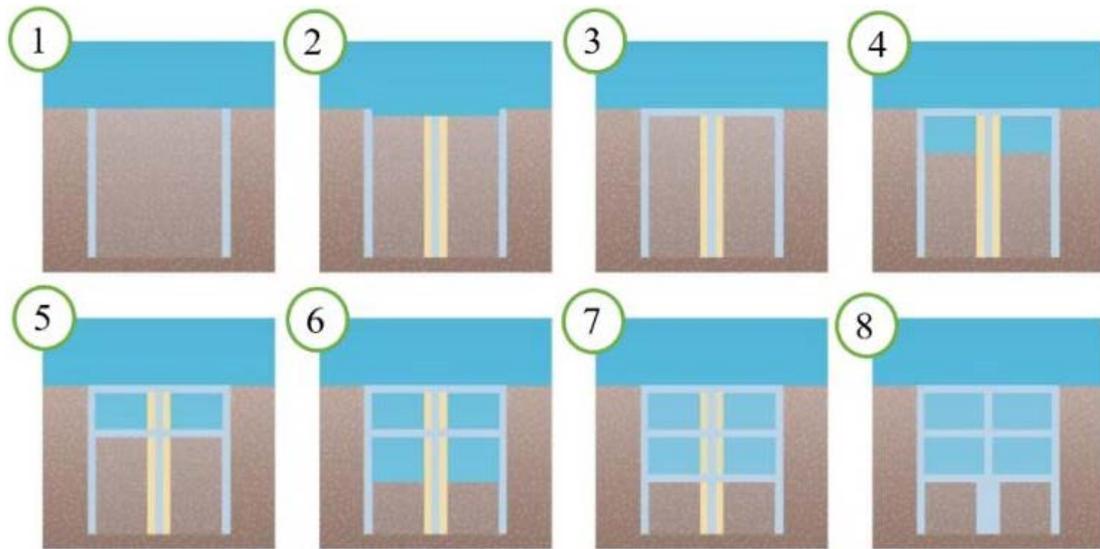
Metode *Top-Down*

Metode membangun bangunan tinggi yang dilakukan secara bersamaan ke bawah dan ke atas dinamakan *top-down*. Pada metode konstruksi *top-down*, urutan pekerjaan tidak dimulai dari lantai *basement* paling bawah (dasar galian). Tepatnya, titik awal pekerjaan dimulai dari pelat lantai satu (*ground level* atau muka tanah). Kemudian, galian mengarah ke bawah dan secara bersamaan juga dilakukan pekerjaan struktur atas. Dalam hal ini terjadi proses pekerjaan ganda, yaitu ke bawah dan ke atas. Jika dibandingkan dengan sistem konvensional (*bottom-up*), penggunaan sistem *top-down* lebih menghemat biaya dan memangkas waktu pelaksanaan (Prawidiawati, 2015). Faktor hemat waktu dan biaya memungkinkan sistem *top-down* akan berkembang cepat dan menjadi pilihan para perencana.

Tahapan Pada Metode *Top-Down*

Tahapan pengerjaan *basement* dengan metode *top-down* dapat dilihat pada Gambar 2 di bawah dengan penjelasan sebagai berikut:

1. Pemasangan dinding diafragma
2. Pemasangan fondasi dan *king post*
3. Pembuatan pelat lantai dasar (dicor di atas tanah dengan lantai kerja). Disediakan lubang lantai dan ramp sementara untuk pembuangan tanah galian.
4. Penggalian *basement* tingkat 1
5. Pengecoran pelat lantai. Disediakan lubang lantai dan *ramp* sementara untuk pembuangan tanah galian
6. Penggalian *basement* tingkat 2 dilaksanakan seperti galian *basement* 1, begitu seterusnya
7. Pengecoran *raft foundation*
8. *King post* dicor, sebagai kolom struktur



Gambar 2. Pekerjaan *basement* dengan sistem *top-down*

Dinding Penahan Tanah

Dinding penahan tanah yang digunakan pada *basement* metode *top-down* umumnya adalah dinding diafragma. Dinding diafragma atau dinding sekat adalah sebuah membran buatan dengan ketebalan (sesuai tebal alat penggali bernama *grabber*) dan kedalaman tertentu. Dinding diafragma merupakan dinding penahan tanah yang dipasang sebagai sebuah sistem pengembangan lebih lanjut dari sistem tiang bor beruntun atau *secant pile* dan juga *contiguous pile*. Penggunaan sistem dinding diafragma sangat ekonomis karena ada banyak faktor menguntungkan bila dibandingkan dengan sistem dinding penahan beruntun (Mistra, 2012).

Tiang Bor

Tahap pengeboran dikerjakan setelah dilakukan penetapan titik bor di lapangan sesuai rencana. Untuk menjaga kestabilan lubang, selama proses penggalian lubang yang dihasilkan selalu diisi dengan lumpur *Bentonite* yang dikontrol kekentalan dan berat jenisnya sebelum dituangkan ke dalam lubang galian. Setelah lubang selesai dikerjakan pembesian dimasukkan diikuti dengan pengecoran dengan menggunakan pipa tremi. Selama proses pengecoran kualitas beton harus tetap dijaga.

King Post

King post merupakan langkah kerja setelah seluruh pekerjaan pemasangan dinding diafragma selesai, yang berfungsi sebagai (Mistra, 2012):

1. Kolom sementara yang mendukung pelat lantai *basement* atau strutting pada saat penggalian *basement*.
2. Menahan pelat lantai dan menyalurkan beban yang bekerja pada pelat lantai *basement* ke tiang fondasi dimana *king post* tertanam.

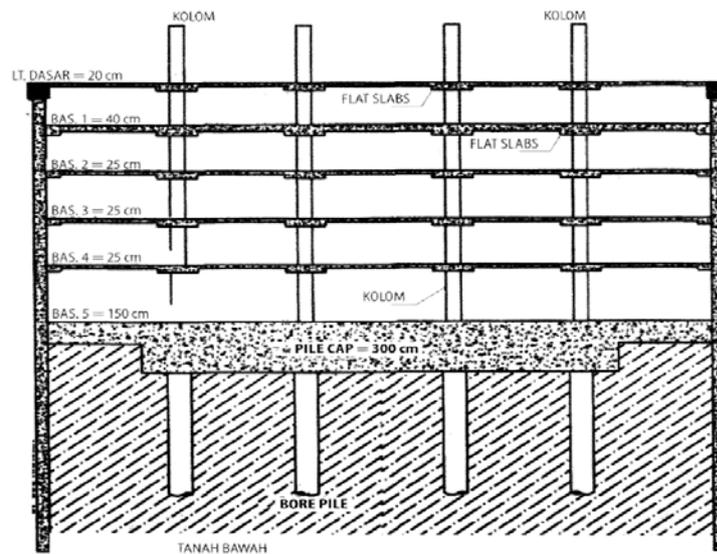
King post ini sangat berperan pada pelaksanaan sistem *top-down* yang memungkinkan pelaksanaan pembangunan serentak ke atas dan ke bawah.

Pelat

Selain berfungsi sebagai penahan beban gravitasi yang bekerja padanya, pelat lantai pada metode konstruksi *top-down* juga berfungsi penting sebagai pengaku (*strut*) yang menahan deformasi lateral dari dinding penahan tanah (Xiao, 2016). Hal yang juga perlu diperhatikan adalah rencana ketinggian lantai ke lantai dari pelat *basement* karena alat gali *backhoe* yang digunakan membutuhkan ruang gerak minimum tertentu. Bila jarak lantai terlalu dekat maka penggalian tidak dapat dilaksanakan secara berurutan, tapi harus meloncat satu lantai.

Raft (Base Floor)

Lantai dasar *basement* (*base floor*) merupakan fondasi utama dari seluruh bangunan sehingga dibuat berbeda dengan lantai *basement* lainnya. Pada lantai bagian ini merupakan lokasi adanya *pile cap*, fondasi tiang bor, dan kolom struktur utama. Seringkali didapat kebutuhan ruang *pile cap* yang hampir memenuhi seluruh ruang lantai *basement* bawah. Desain pelat ini sekaligus difungsikan sebagai *pile cap* yang lebar seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Potongan *basement* dengan metode *top-down* (Sumber: Mistra, 2012)

Analisis *Construction Stage*

Pada analisis *construction stage*, tidak dibuat model analisis independen untuk setiap tahap konstruksi. Sebaliknya, digunakan konsep model kumulatif di mana hanya perubahan struktur atau pembebanan yang menjadi *input* untuk setiap tahap konstruksi dan hasil analisis diakumulasikan dari hasil analisis tahap sebelumnya. Digunakan prosedur analisis langkah demi langkah sesuai dengan penerapan beban mati secara sekuensial selama konstruksi berlangsung. Oleh karena itu dalam analisis *construction stage*, perubahan struktur dan riwayat pembebanan dari tahap sebelumnya mempengaruhi hasil analisis tahap selanjutnya (Midas GTS, 2013).

Analisis Konvensional

Analisis konvensional dilakukan dengan asumsi bahwa semua beban diterapkan secara bersamaan ke struktur lengkap yang sudah jadi. Asumsi ini tidak valid dalam konstruksi nyata khususnya pada *basement* dengan metode *top-down*, karena konstruksi dilaksanakan secara bertahap dan beban mati yang bekerja juga diterapkan secara bertahap (Panigrahi, 2019).

Syarat Batas Deformasi Lateral Dinding Penahan

Batasan deformasi lateral izin dinding penahan tanah dan/atau *embedded walls* ditentukan oleh kondisi tanah, kedalaman galian serta jarak dan kondisi gedung terdekat yang besarnya ditentukan dalam rumusan seperti yang tercantum dalam Tabel 1.

Tabel 1. Batas maksimum deformasi lateral dinding

Batas maksimum deformasi lateral pada dinding	Lokasi gedung dan infrastruktur eksisting terdekat			
	Zona 1 ($x/H < 1$)	Zona 2 ($1 \leq x/H \leq 2$)	Zona 3 ($x/H > 2$)	
			Tanah Tipe A	Tanah Tipe B
Batas izin maksimum deformasi ($\delta w/H$)	0,5 %	0,7 %	0,7 %	1,0 %

(Sumber: Badan Standardisasi Nasional, 2017)

Keterangan:

- x = jarak dari batas galian
- H = kedalaman galian
- δw = defleksi dinding
- Tanah Tipe A= tanah lempung dan lanau overconsolidated, tanah residual, dan tanah pasir dengan kepadatan sedang sampai dengan padat.
- Tipe Tanah B= tanah lempung dan lanau lunak, tanah organik dan tanah timbunan tidak terpadatkan.

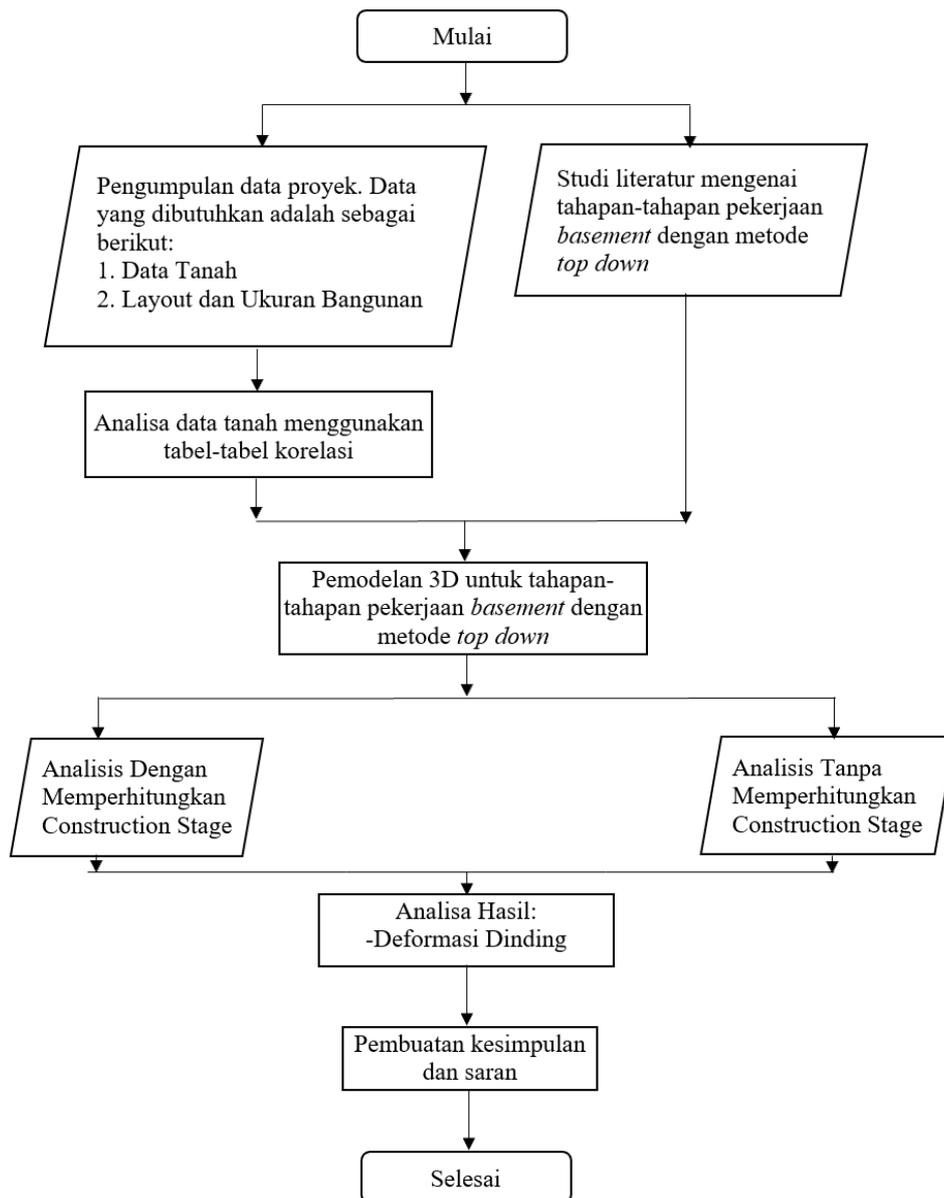
2. METODE PENELITIAN

Prosedur Analisis

Secara garis besar prosedur yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Tahap awal dari penelitian ini dimulai dengan menentukan data tanah dan *layout* bangunan dari proyek yang akan digunakan dalam penelitian.
2. Tahap berikutnya adalah mengolah data tanah yang telah didapat dengan menggunakan korelasi-korelasi.
3. Lalu dilakukan studi literatur mengenai tahapan-tahapan pekerjaan *basement* dengan metode *top-down*
4. Langkah berikutnya adalah pemodelan untuk tahapan-tahapan pekerjaan *basement* dengan metode *top-down*. Pemodelan dilakukan dengan program MIDAS GTS NX (pemodelan 3D).
5. Tahap berikutnya adalah dibuat perbandingan dengan pertama-tama dilakukan analisis *construction stage*, lalu dibandingkan dengan analisis konvensional tanpa memperhitungkan *construction stage* pada pemodelan.
6. Lalu dilakukan analisa hasil deformasi dinding diafragma.
7. Tahapan terakhir pada penelitian ini adalah membandingkan hasil yang didapat dari analisis. Kemudian akan diformulasikan kesimpulan-kesimpulan yang dapat bermanfaat untuk perencana.

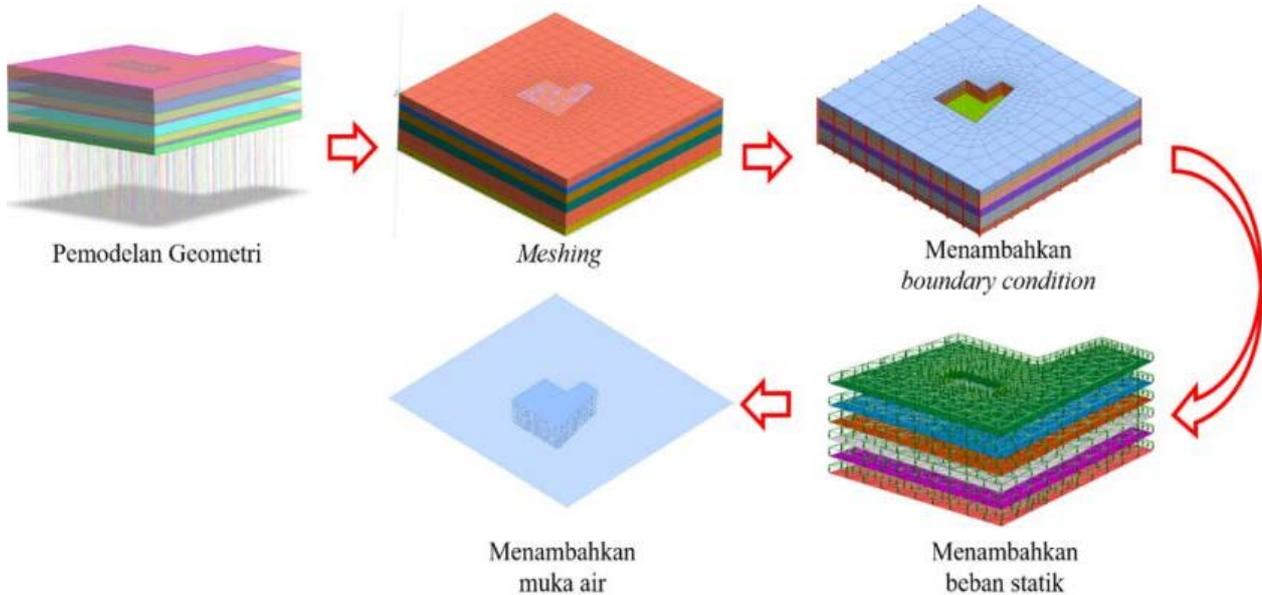
Gambar 4 menunjukkan diagram alir penelitian.



Gambar 4. Diagram alir penelitian

Tahapan Pemodelan

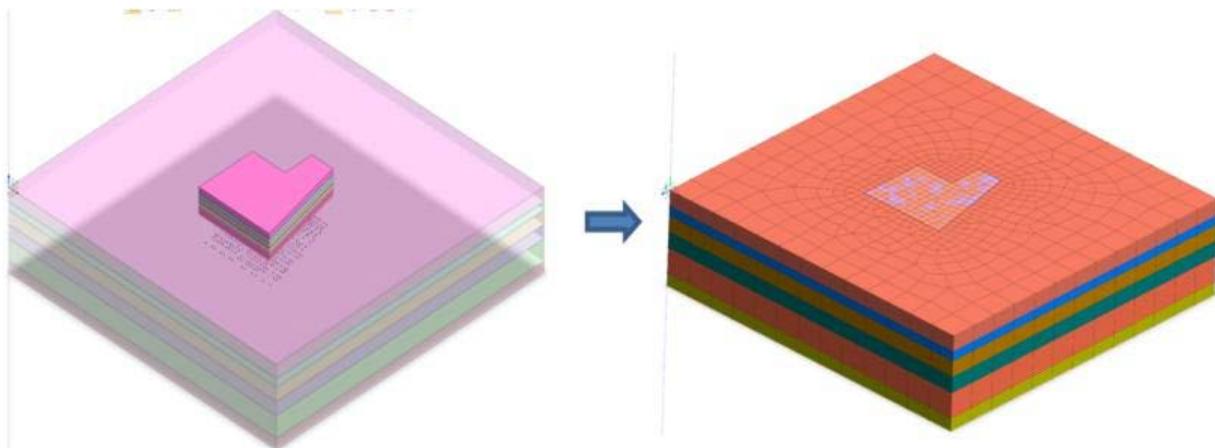
Pada program MIDAS GTS NX, secara garis besar dilakukan tahapan pemodelan seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Tahapan pemodelan 3D pada MIDAS GTS NX

Pemodelan Tanah

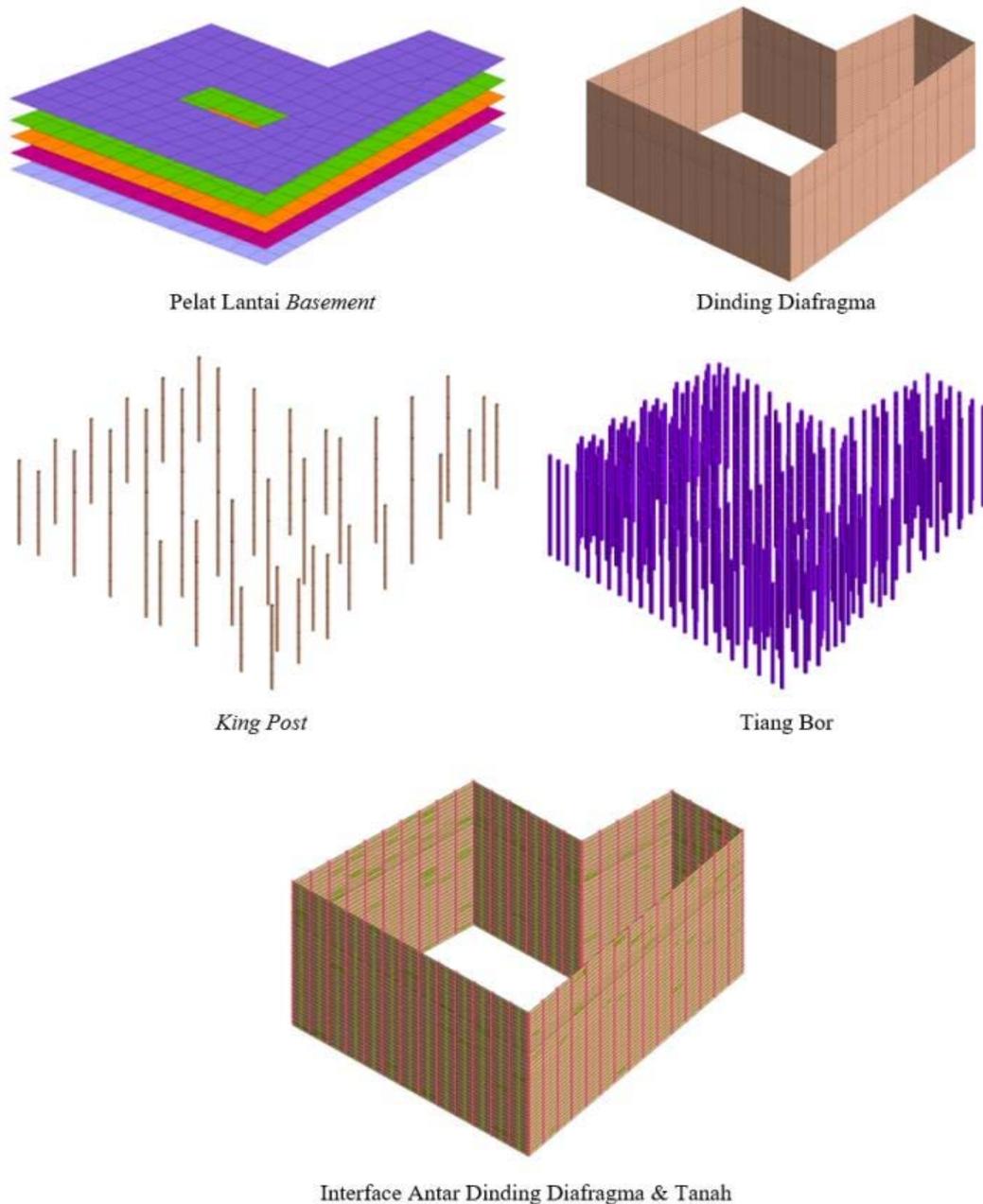
Untuk pemodelan tanah, awalnya dibuat model geometri untuk tanah galian dan tanah luar galian. Tahap selanjutnya, dilakukan *meshing* seperti pada Gambar 6. Untuk input data tanah, pada menu *material* dipilih *create isotropic* lalu *model type* yang digunakan untuk tanah adalah *modified mohr-coulomb*. Lalu dimasukkan data tanah sesuai dengan data rekap Tabel 2 s.d. Tabel 4.



Gambar 6. Pemodelan geometri dan *meshing* tanah

Pemodelan Dinding Diafragma dan Struktur *Basement*

Letak titik tiang bor/*king post* diimport dari denah *AutoCad*. Lalu dilakukan pemodelan geometri dan *meshing* untuk dinding diafragma, pelat *basement*, *raft*, *king post*, dan tiang bor. Untuk dinding diafragma dan tanah, dibuat *interface* yang mewakili hubungan antarmuka dan begitu pula untuk tiang bor dan tanah. Hasil *meshing* pelat, dinding diafragma, *king post*, tiang bor dan *interface* antar dinding diafragma dan tanah diperlihatkan pada Gambar 7 berikut ini.



Gambar 7. Hasil *meshing* untuk dinding diafragma dan struktur *basement*

Penambahan Kondisi Batas

Setelah *meshing*, dilakukan penambahan kondisi batas untuk tanah dengan cara *Static/Slope Analysis > Boundary > Constraint > Auto*. Lalu ditambahkan kondisi batas untuk tiang dan *king post* dengan cara *Static/Slope Analysis > Boundary > Constraint > Advanced Tab > Object type: Node > Select: Semua nodal tiang bor/ king post > DOF: Rz*

Penambahan Beban Statis

Beban statis yang dipertimbangkan adalah beban parkir sebesar 4 kN/m^2 yang diaplikasikan pada pelat *basement*, berat sendiri (*self weight*), *surchage load* sebesar 10 kN/m^2 , dan beban dari struktur atas sesuai dengan pembebanan pada struktur atas yang diaplikasikan sebagai beban terpusat pada *king post*.

Penambahan Muka Air

Pada saat pemodelan ini dimasukkan letak muka air tanah sesuai dengan kedalaman. Pada luar area galian, MAT berada pada kedalaman -1 m. Sedangkan pada area galian, muka air tanah divariasikan. Muka air tanah pada area galian menurun sedalam 1 meter di bawah tanah yang sudah digali sesuai dengan tahapan galian yang berlangsung.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Rekap Input Parameter Tanah

Tipe model yang digunakan untuk tanah adalah *modified mohr-coulomb* dan analisis dilakukan pada kondisi *drained*. Tabel 2 s.d Tabel 6 memperlihatkan rekap input parameter tanah.

Tabel 2. Rekap input parameter tanah (1)

Lapisan Tanah	Kedalaman (m)	N-SPT	Jenis Tanah	Konsistensi Tanah	Poisson Ratio	γ_{unsat} (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)
Lapisan 1	0-10	10	Clay	Medium	0,35	15	17
Lapisan 2	10-16	20	Clay	Stiff	0,3	16	18
Lapisan 3	16-26	30	Clay	Very Stiff	0,3	17	19
Lapisan 4	26-36	40	Clay	Very Stiff	0,3	17	19
Lapisan 5	36-52	40	Clay	Very Stiff	0,3	17	19
Lapisan 6	52-60	40	Clay	Hard	0,2	18	20

Tabel 3. Rekap input parameter tanah (2)

Lapisan Tanah	Kedalaman (m)	e_0	K (m/sec)	S_u (kPa)	E (MPa)	E_{oed} (MPa)	E_{uref} (MPa)
Lapisan 1	0-10	1,3	10^{-7}	20	10	16	30
Lapisan 2	10-16	1	10^{-7}	30	20	30	60
Lapisan 3	16-26	0,8	10^{-7}	50	30	40	90
Lapisan 4	26-36	0,8	10^{-7}	80	40	54	120
Lapisan 5	36-52	0,8	10^{-7}	80	40	54	120
Lapisan 6	52-60	0,8	10^{-7}	100	40	44	120

Tabel 4. Rekap input parameter tanah (3)

Lapisan	Kedalaman (m)	Porositas (n)	ϕ (°)	Ψ (°)	C (kPa)	OCR
Lapisan 1	0-10	0,57	18	0	10	2
Lapisan 2	10-16	0,50	20	0	20	1,4
Lapisan 3	16-26	0,44	23	0	36	1,4
Lapisan 4	26-36	0,44	25	0	36	1,4
Lapisan 5	36-52	0,44	25	0	36	1,2
Lapisan 6	52-60	0,44	30	0	50	1,2

Rekap Input Spesifikasi Dinding Penahan Tanah

Tabel 5 memperlihatkan rekap input parameter dinding diafragma.

Tabel 5. Rekap input spesifikasi dinding diafragma

Parameter	Nama	Nilai	Satuan
Jenis Perilaku	Jenis Material	Elastis	-
Modulus elastisitas	E	$2,7 \times 10^7$	kN/m ²
Tebal ekuivalen	t	1	m
Berat	γ	24	kN/m ³
Angka Poisson	ν	0,18	-

Rekap Input Spesifikasi Pelat

Tabel 6 memperlihatkan rekap input parameter pelat (*slab*).

Tabel 6. Rekap input spesifikasi pelat (*slab*)

Parameter	Nama	Nilai	Satuan
Jenis Perilaku	Jenis Material	Elastis	-
Modulus elastisitas	E	$2,7 \times 10^7$	kN/m ²
Tebal ekuivalen	t	0,3	m
Berat	γ	24	kN/m ³
Angka Poisson	ν	0,18	-

Rekap Input Spesifikasi Raft

Tabel 7 memperlihatkan rekap input parameter *raft*.

Tabel 7. Rekap input spesifikasi *raft*

Parameter	Nama	Nilai	Satuan
Jenis Perilaku	Jenis	Elastis	-
Modulus elastisitas	E	$2,7 \times 10^7$	kN/m ²
Tebal ekuivalen	t	2	m
Berat	γ	24	kN/m ³
Angka Poisson	ν	0,18	-

Rekap Input Spesifikasi Tiang Bor

Tabel 8 memperlihatkan rekap input parameter tiang bor pada tabel berikut.

Tabel 8. Rekap input spesifikasi tiang bor

Parameter	Nama	Nilai	Satuan
Jenis Perilaku	Jenis	Elastis	-
Modulus elastisitas	E	$2,7 \times 10^7$	kN/m ²
Diameter	D	0,8	m
Berat	γ	24	kN/m ³
Angka Poisson	ν	0,18	-

Rekap Input Spesifikasi *King post*

Tabel 9 memperlihatkan rekap input parameter *king post*.

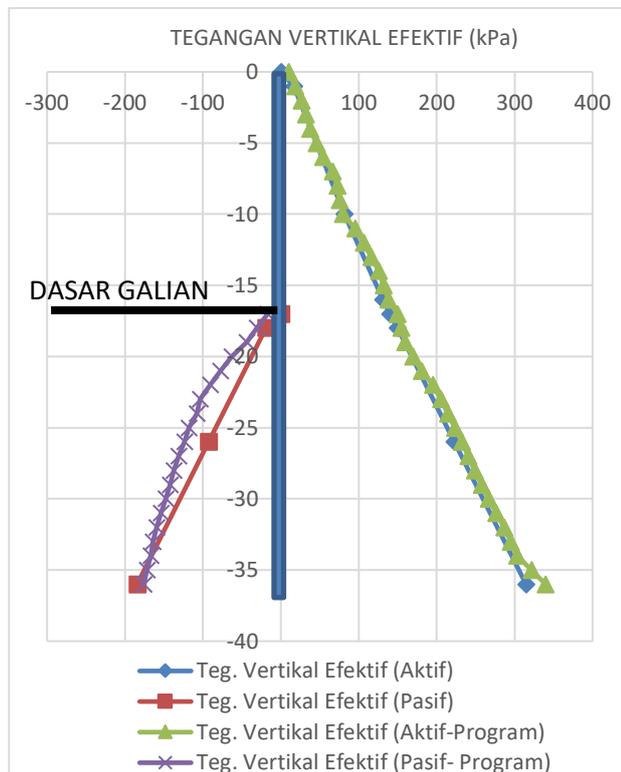
Tabel 9. Rekap input spesifikasi *king post*

Parameter	Nama	Nilai	Satuan
Jenis Perilaku	Jenis Material	Elastis	-
Modulus elastisitas	E	2×10^8	kN/m ²
Berat	γ	76,98	kN/m ³
Angka Poisson	ν	0,3	-

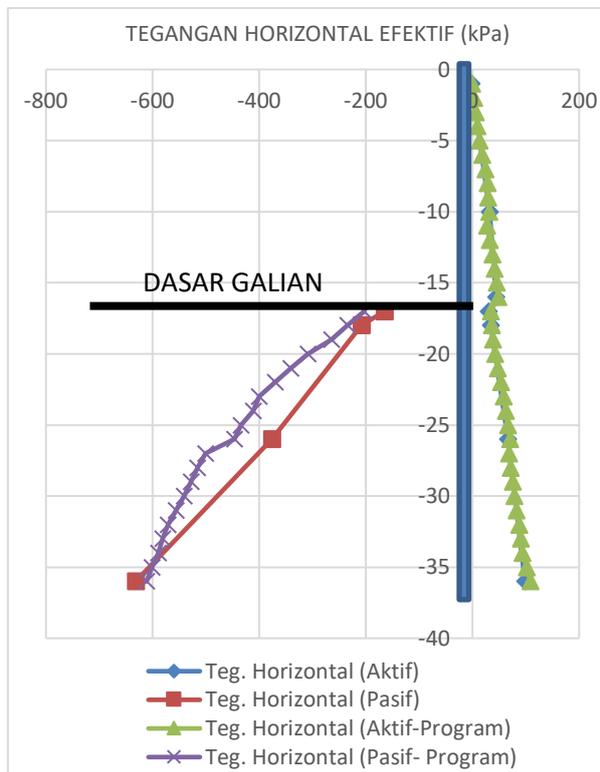
King post menggunakan pipa baja 600 mm dengan tebal 50 mm.

Perbandingan Tegangan Vertikal Dan Horizontal Efektif Pada Program Dan Hitungan Manual

Pengecekan dilakukan dengan membandingkan tegangan vertikal efektif dan tegangan horizontal efektif antara perhitungan manual dan hasil dari program. Analisis dilakukan pada tahap galian akhir dengan MAT luar galian berada pada kedalaman -1 m dan MAT area galian pada kedalaman -18 m. Gambar 8 dan Gambar 9 menunjukkan perbandingan antara kedua hasil. Tabel 10 menunjukkan hasil perhitungan manual tegangan aktif dan pasif.



Gambar 8. Tegangan Vertikal Efektif (Program Vs Hitungan Manual)



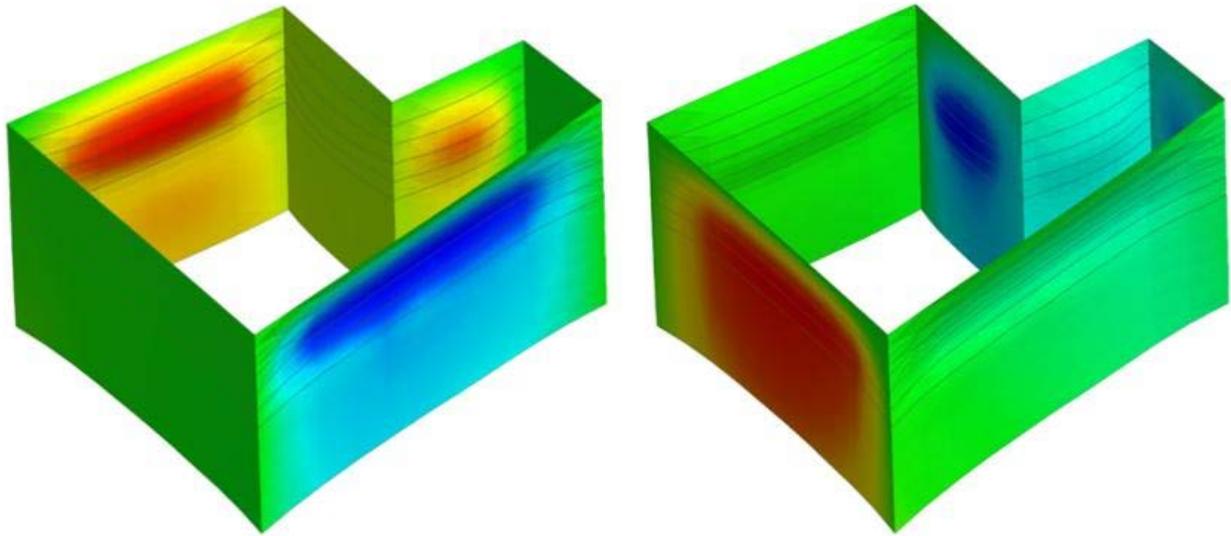
Gambar 9 Tegangan Horizontal Efektif (Program Vs Hitungan Manual)

Tabel 10. Hasil perhitungan manual tegangan efektif

Kedalaman (m)	γ (kN/m ³)	c'	ϕ'	Koefisien		Teg. Vertikal Efektif (kPa)		2c' Ka	2c' Kp	Teg. Lateral Efektif (kPa)	
				Aktif (Ka)	Pasif (Kp)	Aktif	Pasif			Aktif	Pasif
0	0					0,00					
1	17	10	18	0,53	1,89	17,00		10,56	-37,89	-1,58	
10	17	10	18	0,53	1,89	81,71		10,56	-37,89	32,57	
16	18	20	20	0,49	2,04	130,8		19,61	-81,58	44,54	
17	19	36	23	0,44	2,28	140,0	0,00	31,54	-164,35	29,81	-164,35
18	19	36	23	0,44	2,28	149,2	-19,00	31,54	-164,35	33,83	-207,72
26	19	36	23	0,44	2,28	222,7	-92,52	31,54	-164,35	66,04	-375,54
36	19	36	25	0,41	2,46	314,6	-184,42	29,22	-177,40	98,48	-631,80

Hasil Analisis *Construction Stage*

Dari hasil analisis *construction stage*, bisa didapatkan deformasi maksimum dinding penahan tanah pada masing-masing arah X dan Y seperti pada Gambar 10.



Gambar 10. Deformasi dinding arah x (kiri) dan arah y (kanan)

Tabel 11. Perbandingan deformasi maksimum dinding diafragma dengan pelat dan tanpa pelat

Tahapan	Deformasi Max Arah X (mm)		Deformasi Max Arah Y (mm)	
	Dengan Pelat	Tanpa Pelat	Dengan Pelat	Tanpa Pelat
Tahap Awal	0,00	0,00	0,00	0,00
Instalasi	0,00	0,00	0,00	0,00
Pemasangan Pelat 1	0,00	-	0,00	-
Penggalian Tahap 1	7,43	16,16	5,74	11,32
Pemasangan Pelat 2	7,38	-	5,69	-
Penggalian Tahap 2	10,31	28,55	8,32	19,41
Pemasangan Pelat 3	10,28	-	8,29	-
Penggalian Tahap 3	12,30	49,49	10,28	27,19
Pemasangan Pelat 4	12,30	-	10,27	-
Penggalian Tahap 4	13,92	97,34	12,06	35,82
Pemasangan Pelat 5	13,95	-	12,07	-
Penggalian Tahap 5	14,96	177,34	13,44	44,20
Pemasangan Raft	15,07	179,11	13,57	45,23

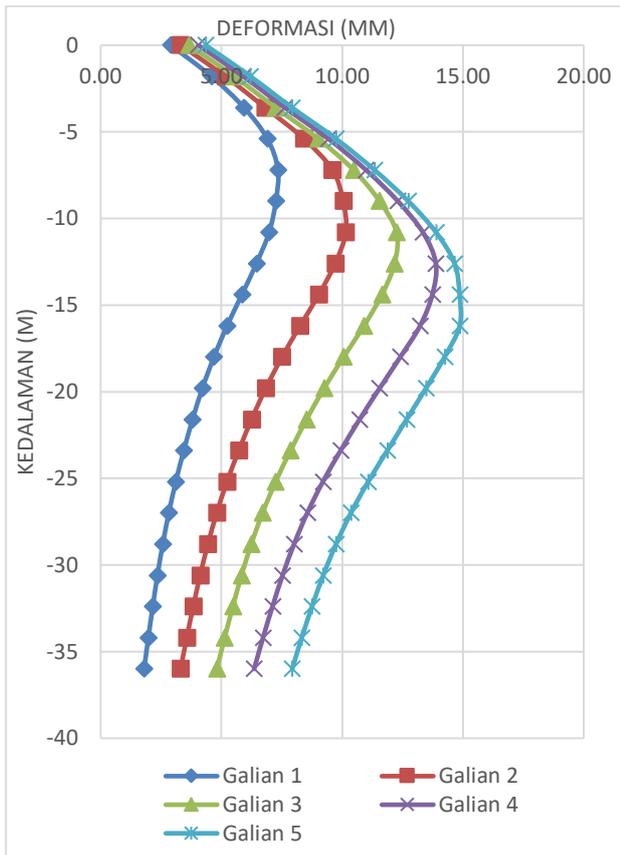
Untuk memperoleh gambaran seberapa efektif fungsi pelat sebagai *strut*, dilakukan perbandingan antara deformasi maksimum dengan pelat sebagai *strut* dan tanpa pelat sebagai *strut*.

Batas maksimum deformasi ditetapkan dalam SNI Geoteknik sesuai dengan Tabel 1. Diasumsikan bahwa $x/H < 1$, sehingga batas maksimum deformasi sebesar $0.5\%H$ yaitu 85 mm. Deformasi dinding penahan tanah dengan pelat masih memenuhi syarat SNI. Namun, tidak sama halnya dengan deformasi dinding penahan tanah tanpa perkuatan pelat sehingga pelat diperlukan selama pekerjaan penggalian agar dinding penahan tanah dalam keadaan aman.

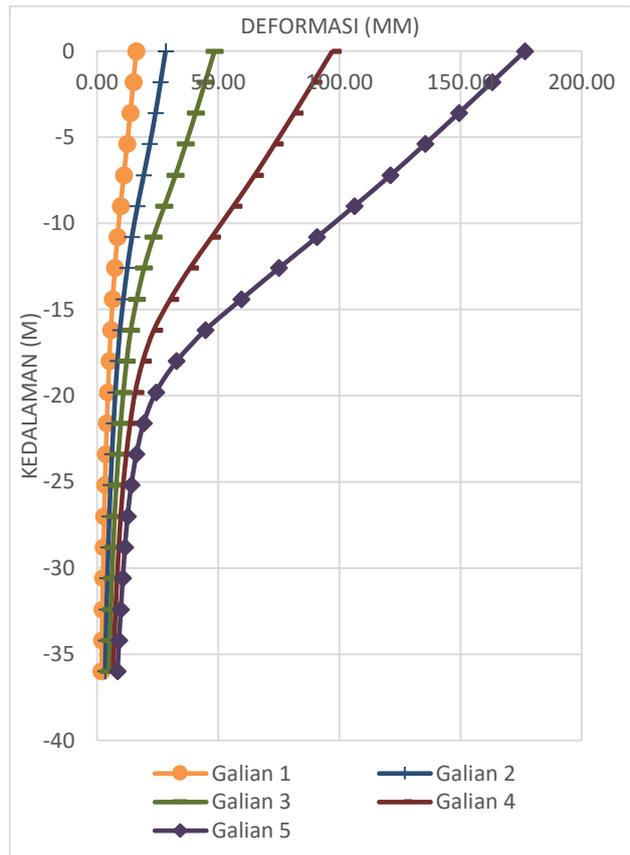
Dari hasil analisis pada Tabel 11, dapat dilihat bahwa perbedaan hasil deformasi maksimum antara penggalian *basement* tanpa pelat sebagai *strut* dan penggalian *basement* dengan pelat sebagai *strut* sangat besar. Pada tahap galian 5, didapatkan deformasi maksimum sebesar 15,07 mm (dengan perkuatan pelat) dan 179,11 mm (tanpa perkuatan pelat). Didapat perbedaan sebesar 164,04 mm.

Hasil deformasi dinding pada masing-masing tahapan dapat dilihat pada Gambar 11 untuk penggalian dengan perkuatan pelat dan Gambar 12 untuk penggalian tanpa perkuatan pelat.

Pada Gambar 11 dan Gambar 12, dapat terlihat perbedaan pola. Pada model tanpa pelat, letak titik deformasi maksimumnya selalu terletak di bagian paling atas dinding pada tiap tahapan, sedangkan pada model dengan pelat, letak titik deformasi maksimumnya berpindah-pindah. Semakin dalam galian, letak titik deformasi maksimumnya semakin ke bawah.



Gambar 11. Grafik deformasi dinding (dengan pelat) pada tiap tahap galian



Gambar 12. Grafik deformasi dinding (tanpa pelat) pada tiap tahap galian

Perbandingan Antara Hasil Analisis *Construction Stage* dan Analisis Konvensional

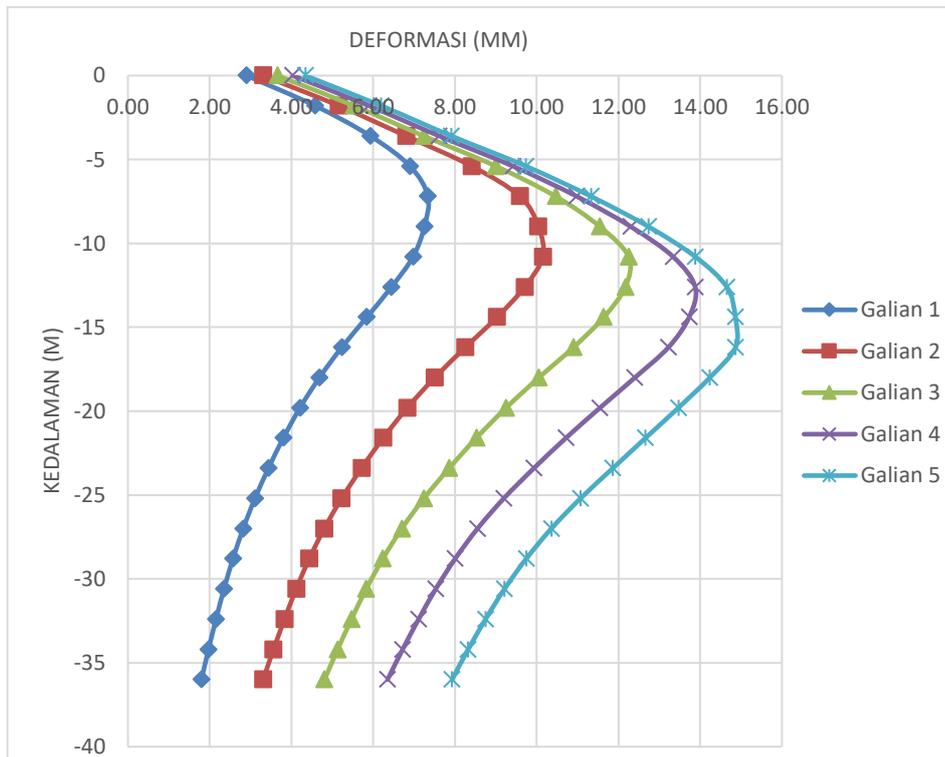
Selanjutnya dilakukan perbandingan hasil deformasi antara analisis *construction stage* dan analisis biasa (tanpa memperhitungkan *construction stage*). Hasil deformasi maksimum ditabulasikan pada Tabel 12.

Tabel 12. Perbandingan hasil deformasi maksimum dinding antara analisis *construction stage* dan analisis konvensional

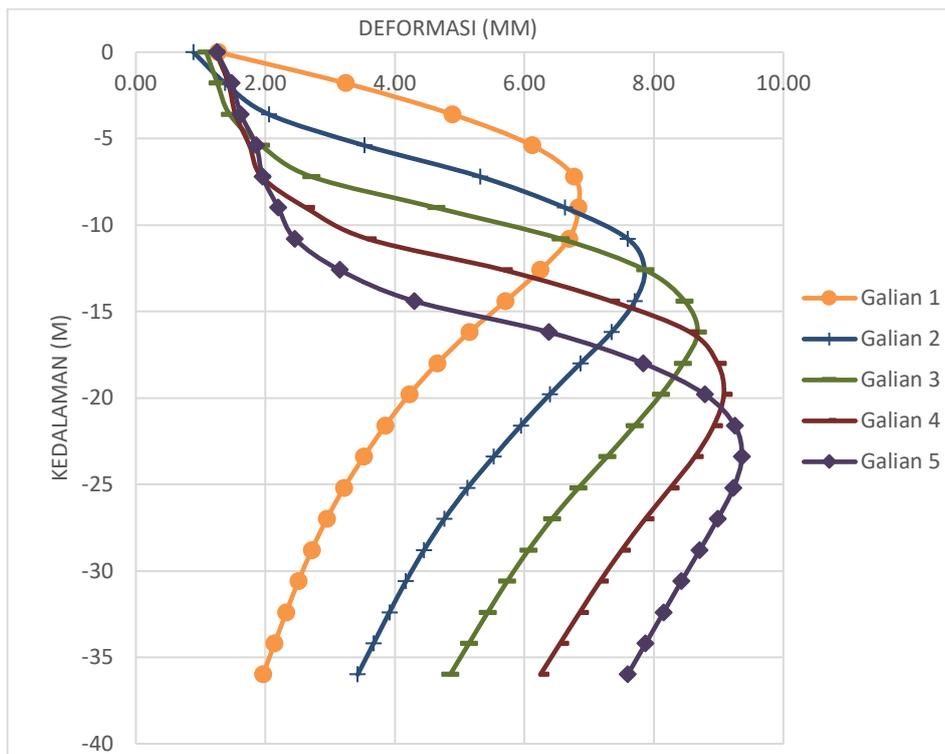
Tahapan Konstruksi	Deformasi Max Dinding Diafragma (mm)		Perbedaan (mm)
	Analisis		
	Dengan Memperhitungkan Tahapan Kontruksi	Tanpa Memperhitungkan Tahapan Kontruksi	
Tahap Awal Instalasi	0,00	0,00	0,00
Penggalian Tahap 1	7,43	6,84	0,59
Penggalian Tahap 2	10,31	7,86	2,45
Penggalian Tahap 3	12,30	8,68	3,62
Penggalian Tahap 4	13,92	9,08	4,84
Penggalian Tahap 5	14,96	9,36	5,60

Dari tabel di atas, jelas terlihat bahwa deformasi dengan memperhitungkan tahapan konstruksi lebih besar daripada deformasi tanpa memperhitungkan tahapan konstruksi. Perbedaan tidak terlalu besar pada tahap galian 1 yaitu 0,59 mm. Namun perbedaan semakin besar pada tahap-tahap berikutnya hingga mencapai perbedaan sebesar 5,60 mm pada tahap galian 5. Maka dari itu, pengaruh dari tahapan konstruksi tidak dapat diabaikan khususnya pada pekerjaan *basement* dengan metode *top-down*.

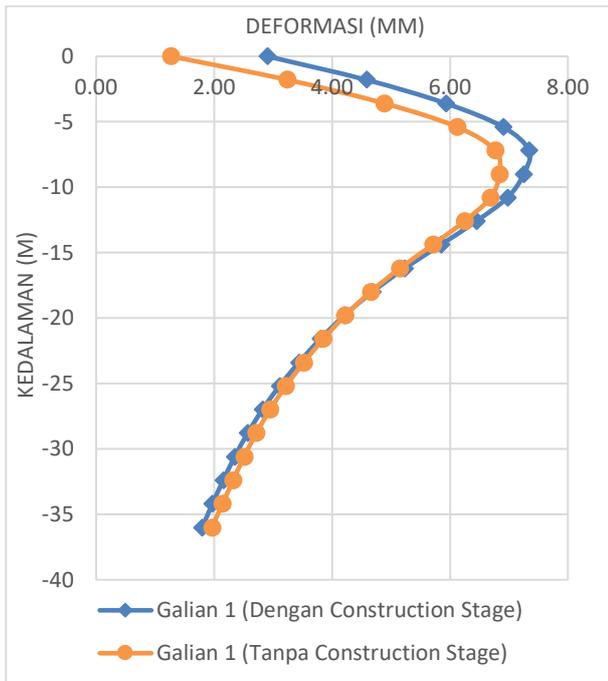
Pada Gambar 13 dan Gambar 14, ditunjukkan grafik deformasi pada masing-masing tahapan. Gambar 13 menggambarkan deformasi dinding hasil analisis *construction stage*, sedangkan Gambar 14 menggambarkan deformasi dinding hasil analisis konvensional.



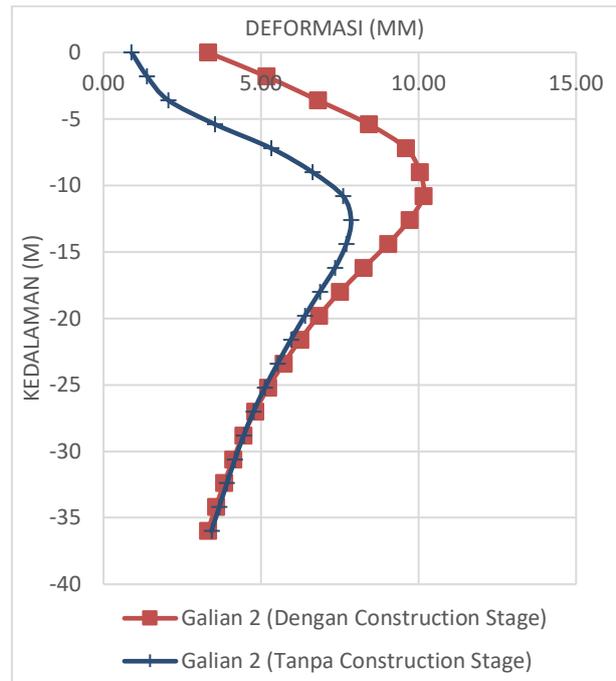
Gambar 13. Hasil deformasi dinding dengan analisis *construction stage*



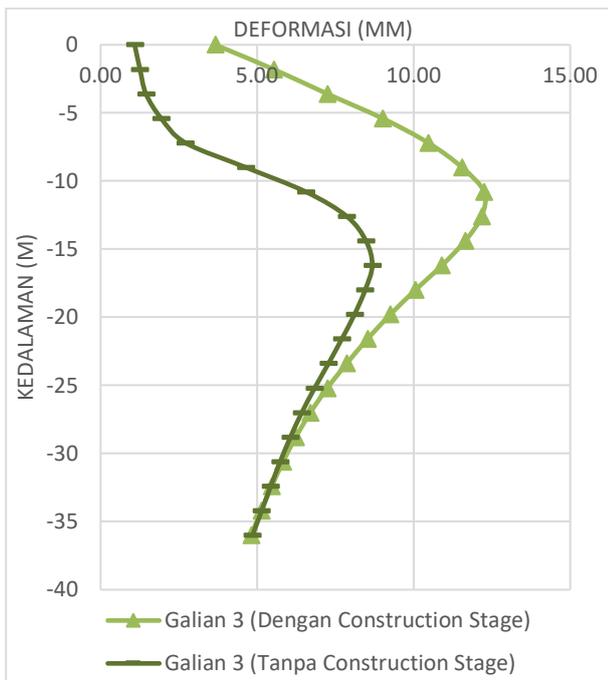
Gambar 14. Hasil deformasi dinding dengan analisis konvensional



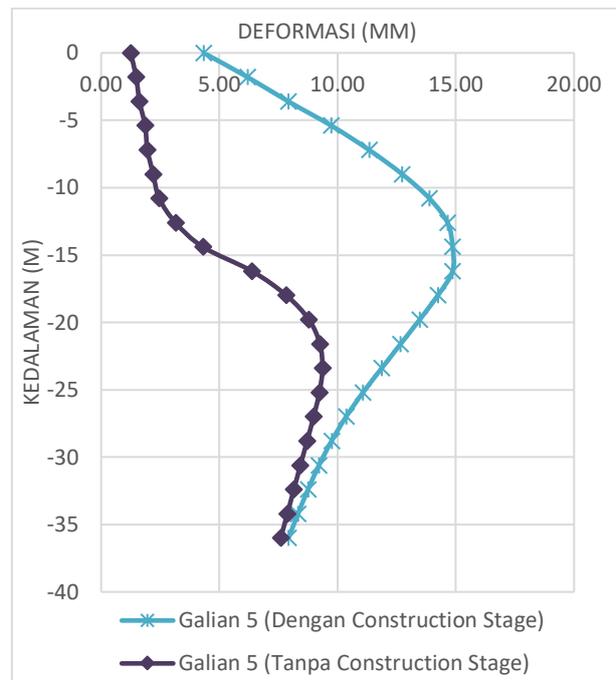
Gambar 15. Perbandingan hasil deformasi dinding antara analisis *construction stage* dan analisis konvensional pada galian tahap 1



Gambar 16. Perbandingan hasil deformasi dinding antara analisis *construction stage* dan analisis konvensional pada galian tahap 2



Gambar 17. Perbandingan hasil deformasi dinding antara analisis *construction stage* dan analisis konvensional pada galian tahap 3



Gambar 18. Perbandingan hasil deformasi dinding antara analisis *construction stage* dan analisis konvensional pada galian tahap 5

Pada Gambar 15 s.d. Gambar 18, dilakukan perbandingan dalam bentuk grafik agar memperjelas perbedaan tren. Dilihat dari Gambar 15, hasil deformasi dinding pada tahap galian 1 mempunyai tren pergerakan yang sama dan nilai yang tidak jauh berbeda.

Namun seiring dengan majunya tahapan, dapat dilihat pada Gambar 18 bahwa perbedaan tren semakin terlihat dan nilai semakin jauh berbeda. Hal ini jelas menunjukkan bahwa pengaruh tahapan konstruksi sebaiknya tidak diabaikan karena mempengaruhi hasil analisis khususnya apabila *basement* cukup dalam.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan dengan analisis *construction stage* dan analisis konvensional, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

- Pada pekerjaan *basement* dengan metode *top-down*, penting untuk dilakukan *construction stage* analysis karena berpengaruh terhadap hasil analisis.
- Hasil deformasi dinding menunjukkan bahwa hasil analisis *construction stage* lebih besar dibanding analisis biasa (tanpa memperhitungkan tahapan konstruksi) sehingga lebih baik desain dihitung menggunakan tahapan konstruksi sesuai dengan yang terjadi di lapangan.
- Dari hasil analisis *construction stage* pada *basement* dengan sistem *top-down*, didapatkan bahwa deformasi maksimum yang terjadi pada dinding semakin besar seiring dengan majunya tahapan konstruksi.
- Pelat berfungsi sangat efektif sebagai strut pada sistem *top-down* dan membantu menahan beban lateral tanah sehingga mengurangi defleksi dinding penahan tanah (dinding diafragma). Pada penggalian *basement* tanpa pelat sebagai strut, didapatkan deformasi dinding penahan tanah sebesar 179,11 mm pada tahap galian 5, namun apabila pelat digunakan deformasi berkurang menjadi 15,07 mm yaitu 8,41% dari deformasi dinding tanpa pelat.
- Deformasi maksimum dinding diafragma terjadi pada tahap galian 5 + *raft*. Deformasi ini masih lebih kecil daripada syarat deformasi sesuai ketentuan SNI yaitu sebesar 85 mm

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, adapun saran untuk melengkapi studi ini adalah:

- Pada saat melakukan meshing dapat dibuat dengan lebih detail lagi agar hasil yang didapat lebih akurat.
- Elemen struktur yang belum dilihat gaya-gaya dalam yang terjadi dapat ditampilkan di analisis berikutnya.
- Untuk analisis selanjutnya disarankan untuk memperhitungkan perubahan muka air tanah di luar area galian yang terjadi.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional. Persyaratan perancangan geoteknik. SNI 8460 (2017), 2017.
- Das, G. "Comparison of Conventional and Construction." IJSTE - International Journal of Science Technology & Engineering (2016): 1.
- Midas GTS. "NX On-line Manual." *Finite Element Analysis For Geotechnical Engineering*. 2013.
- Mistra, H. Struktur Dan Konstruksi Bangunan Tinggi Sistem Top and Down. Jakarta: Griya Kreasi, 2012.
- Panigrahi, Santosh. "Importance of Construction Sequence Analysis." IJISSET - International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology (2019): 1-3.
- Prawidiawati, Fitri. "ANALISA PERBANDINGAN METODE BOTTOM-UP DAN METODE TOP-DOWN PEKERJAAN BASEMENT PADA GEDUNG PARKIR APARTEMEN SKYLAND CITY EDUCATION PARK BANDUNG DARI SEGI BIAYA DAN WAKTU." JURNAL TEKNIK POMITS (2015): 1-6.
- Xiao, Hongju. "Case Study of Top-Down Construction." EJGE (2016).

