

ANALISIS INTERAKSI *STRUCTURE-SOIL-STRUCTURE* PADA BASEMENT ADJACENT TERHADAP DEFLEKSI DINDING BASEMENT

Steven Gusanto^{1*}, Alfred Jonathan Susilo¹, dan Sunarjo Leman¹

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta, Indonesia

*steven.325210006@stu.untar.ac.id

Masuk: 02-07-2025, revisi: 07-07-2025, diterima untuk diterbitkan: 31-07-2025

ABSTRACT

Basement structure becomes an alternative in optimizing land use on urban cities. In a basement structure, there are lots of components that must be considered, from soil behavior and conditions around the structure, to designing of retaining walls that can handle appropriate loads. This research is done to analyze the effect of adjacent basement with variety of distance and depth of the adjacent basement. Analysis was done by finite element with help of finite element software Midas GTS NX. Using nonlinear analysis to determine the effects of distance and depth on deflection. The bigger the distance of the adjacent basement, the bigger the deflection of the existing basement. If the adjacent basement level is above the existing basement, it adds on the deflection of the existing basement away from adjacent basement. If the adjacent basement level is below the existing basement, it drags the deflection of the existing basement towards the adjacent basement.

Keywords: *diaphragm wall, deflection, adjacent basement, finite element, structure-soil-structure interaction*

ABSTRAK

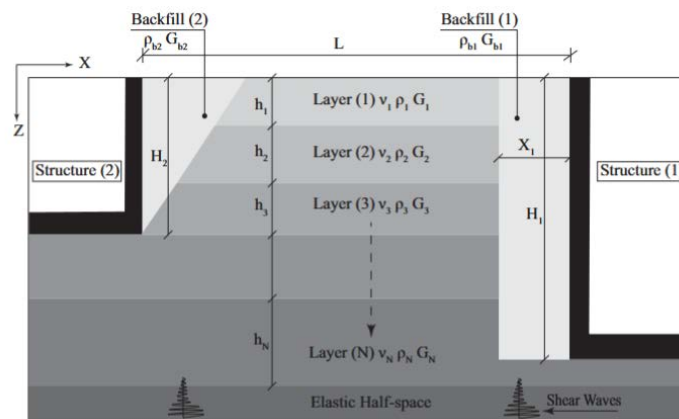
Struktur *basement* merupakan salah satu solusi efektif dalam mengoptimalkan penggunaan lahan di kawasan perkotaan yang padat dan terbatas, khususnya di kota-kota metropolitan. Dalam perencanaan dan pelaksanaan konstruksi struktur *basement*, terdapat berbagai aspek penting yang harus diperhatikan, seperti kondisi dan karakteristik tanah di lokasi, serta desain sistem penahan tanah yang mampu menahan gaya lateral secara efektif. Salah satu tantangan yang muncul dalam pembangunan *basement* di kawasan padat bangunan adalah adanya *basement* lain yang berdekatan, yang dapat memengaruhi perilaku struktur dan tanah secara keseluruhan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dampak keberadaan *basement adjacent* (bersebelahan) terhadap defleksi dinding *basement* eksisting dengan melakukan variasi terhadap jarak dan kedalaman *basement adjacent*. Metode analisis yang digunakan adalah analisis elemen hingga dengan bantuan perangkat lunak Midas GTS NX menggunakan pendekatan nonlinear. Hasil analisis menunjukkan bahwa semakin besar jarak antara *basement*, defleksi yang terjadi pada *basement* eksisting juga meningkat. Selain itu, jika *basement adjacent* lebih dangkal dibanding *basement eksisting*, maka defleksi cenderung membesar menjauhi *basement adjacent*. Sebaliknya, jika *basement adjacent* memiliki elevasi yang lebih dalam, maka defleksi cenderung membesar ke arah *basement adjacent*. Temuan ini menunjukkan bahwa interaksi antar struktur *basement* sangat dipengaruhi oleh konfigurasi spasial dan kedalaman masing-masing struktur.

Kata kunci: dinding diafragma, defleksi, *basement* berdekatan, elemen hingga, structure-soil-structure interaction

1. PENDAHULUAN

Era globalisasi yang terjadi pada abad ke 20 ini mengakibatkan terjadinya pertumbuhan pesat pada keadaan sosial, perekonomian, dan ledakan jumlah penduduk secara global, sehingga pembangunan gedung-gedung tinggi menjadi semakin banyak (Lou et al., 2011). Terutama dalam lingkungan kota yang memiliki kepadatan tinggi, dimana tanah menjadi suatu hal yang terbatas, bangunan tinggi dengan *basement* yang cukup dalam menjadi opsi untuk memaksimalkan penggunaan lahan (Jessica et al., 2023).

Dalam kota-kota metropolitan, seperti kota Kobe di Jepang, bangunan-bangunan tinggi dibangun berdekatan satu sama lain. (Lou et al., 2011). Dalam kasus tersebut, interaksi yang terjadi tidak hanya dengan tanah, melainkan interaksi antar struktur bawah tanah dengan struktur bawah tanah lain disekitarnya akan terjadi, sehingga karakteristik struktur tersebut tidak dapat dianggap sebagai karakteristik independen, melainkan terhubung dengan struktur lain didekatnya. (Lou et al., 2011). Interaksi antar struktur bawah tanah juga disebut dengan istilah Structure-Soil-Structure Interaction (SSSI). Gambar 1 memberikan ilustrasi konfigurasi SSSI.



Gambar 1. Ilustrasi Konfigurasi dari Sistem *Structure-Soil-Structure* (Madany & Guo, 2021)

Dalam mendesain *deep basement*, diperlukan dinding *basement* yang tepat. Dinding *basement* merupakan salah satu contoh dari *retaining wall*. *Retaining wall* dan sistem pendukung lainnya memerlukan analisis, desain dan pengawasan performa yang tepat dan presisi untuk mencegah kegagalan (Tan & Chow, 2008).

Analisis elemen hingga secara 2 dimensi pada umumnya dapat digunakan secara tepat untuk memprediksi perilaku lateral dari tanah dengan cukup akurat. Memprediksi penurunan dan pergerakan dibelakang tanah membutuhkan permodelan yang lebih kompleks seperti analisis elemen hingga secara 3 dimensi (Pappin, 2007).

Pada tahun 1973, Lee & Wesley melakukan investigasi terhadap pengaruh SSSI pada respons seismik dari beberapa reaktor nuklir yang berdekatan menggunakan skema 3D. Interaksi antar struktur ini dianalisa dengan memperhitungkan pengaruh tanah yang berfungsi sebagai *coupling* dan persamaan teoritisnya didasarkan pada model dinamis dimana beberapa struktur 3 dimensi yang fleksibel, baik simetris ataupun tidak simetris, dihubungkan secara berdekatan pada sebuah *half space* atau suatu permukaan yang elastis. Penggunaan skema 3D dapat menangkap interaksi yang lebih kompleks pada SSSI.

Pada tahun 2021, Amelia et al. juga melakukan sebuah penelitian mengenai konstruksi *basement* dan akibatnya terhadap deformasi struktur eksisting. Penelitian ini menggunakan metode elemen hingga untuk memprediksi interaksi yang terjadi. Pada penelitian ini ditemukan bahwa konstruksi galian dalam yang berdekatan dapat menyebabkan deformasi pada struktur eksisting disekitarnya akibat pergerakan tanah (Amelia et al., 2021).

Tanah dengan perbedaan ketinggian harus disanggah oleh *retaining wall* dan struktur lain yang serupa. Desain dari struktur tersebut memerlukan estimasi dari tekanan lateral tanah yang terjadi. Tekanan lateral tanah dapat didefinisikan sebagai fungsi dari beberapa faktor, seperti tipe dan besar pergerakan dinding, kekuatan geser dari tanah, berat jenis tanah, dan kondisi air tanah dari tanah dibelakang struktur (Das, 2014).

Basement merupakan ruang bawah tanah dan merupakan bagian dari bangunan yang terletak di bawah permukaan tanah. Ruangan ini digunakan untuk berbagai keperluan seperti parkir, ruang mekanikal, penyimpanan, hingga ruang fungsional lainnya. Untuk mencegah pergerakan-pergerakan yang dapat merugikan struktur *basement* diperlukan dinding penahan tanah dan dinding *basement* yang mampu menahan beban-beban eksternal, biasanya secara lateral (Jalla, 1999).

Terdapat berbagai macam jenis dinding penahan tanah, seperti *sheet pile walls*, *braced walls*, *pile walls*, dan *diaphragm walls*. *Diaphragm walls* seringkali digunakan digunakan secara luas dalam proyek-proyek lubang fondasi yang dalam dan luas. Hal ini dikarenakan *diaphragm walls* memiliki beberapa keunggulan seperti kekakuan tinggi, kekuatan tinggi, ketahanan bocor yang tinggi, efisiensi konstruksi, dan adaptabilitasnya terhadap berbagai konfigurasi lubang.

Syarat batas defleksi dari dinding penahan tanah ditentukan oleh kedalaman galian, kondisi tanah, dan lokasi struktur disekitarnya yang dapat ditentukan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Batas maksimum deformasi lateral dinding (Hamderi, 2021).

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 (δ_w/H)	0,5 %	0,7 %	0,7 %	1,0 %

Keterangan

- x : jarak dari batas galian
H : kedalaman galian
 δ_w : 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.

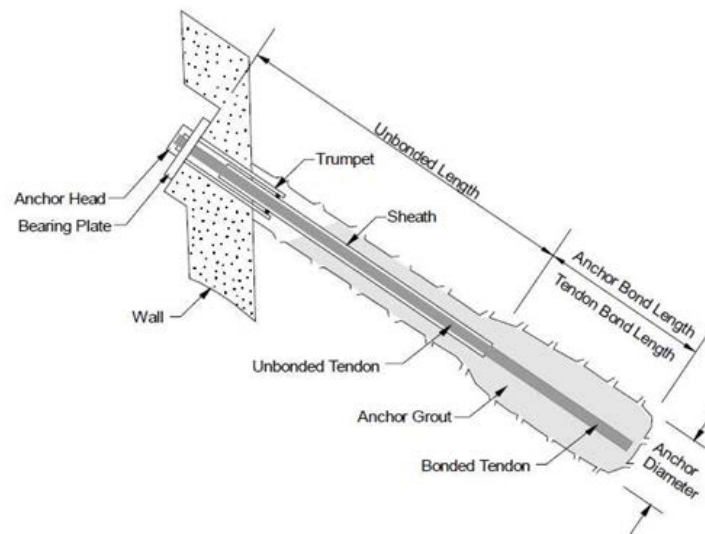
Dalam menjaga dinding agar tidak melewati batas syarat defleksi terdapat beberapa solusi yang dapat digunakan, salah satunya ialah *ground anchor*. Menurut Susanto & Susilo (2022), setiap dinding penahan tanah memiliki komponen penahan defleksi, komponen utamanya adalah *Ground Anchor*. *Ground Anchor* dapat dibagi menjadi dua bagian yaitu *unbonded length* dan *bonded length*. *Unbonded length* (*free length*) merupakan bagian dari *anchor* yang mampu mengalami regangan secara elastis dan menyalurkan gaya menuju bagian *bonded length*. *Free length* dibungkus dengan pipa plastic untuk mencegah tercampur dengan material *grouting* pada *bond length*. *Bond length* atau *fixed length* merupakan bagian tendon yang menyalurkan gaya Tarik dari *free length* ke tanah di sekitar jangkar. Bagian ini ditanam kedalam tanah menggunakan *grouting* semen dan terbuat dari baja berkekuatan tinggi bisa dalam bentuk *bar*, *strand*, atau *wire*.

Berdasarkan British Standards Institution, 1989, seperti yang dikutip oleh Susanto & Susilo (2022), Panjang *fixed length* yang terbenam harus berdasarkan persamaan 1. Gambar 2 juga memberikan ilustrasi bagian-bagian dari *ground anchor*.

$$L = \frac{T_{all} \times SF}{\pi \times d \times \alpha \times S_u} \dots \dots \dots (1)$$

Dimana

- L : Panjang *fixed length* (m)
 T_{all} : Gaya Tarik desain angkur (kN)
SF : Faktor keamanan
d : Diameter *grouting* (m)
 α : Faktor adhesi
 S_u : Kuat geser *undrained* tanah rata-rata sepanjang *fixed length* (kN/m²)



Gambar 2. Ilustrasi pemasangan *ground anchor* (Susanto & Susilo, 2022).

Analisis pengaruh struktur *basement* berdekatan terhadap defleksi dinding *basement* eksisting dilakukan dengan memodelkan variasi lokasi struktur *basement* lain terhadap *basement* yang dianalisis.

Batasan masalah dalam penelitian adalah sebagai berikut: Analisis hanya ditinjau pada tanah di lokasi Jakarta Pusat, DKI Jakarta, Indonesia, Penelitian ini tidak membahas aspek biaya dan aspek metode konstruksi, jenis dinding penahan tanah *basement* merupakan dinding diafragma, variabel pada analisis adalah jarak antar *basement* dan perbedaan kedalaman antar *basement*, hasil dari analisis defleksi adalah defleksi maksimum pada dinding penahan tanah *basement*, analisis menggunakan data *Standard Penetration Test* (SPT) tanpa dilakukan perbaikan tanah, metode yang digunakan dalam analisis defleksi adalah metode elemen hingga dengan bantuan aplikasi Midas Gts NX, analisis perbedaan jarak, dilakukan pada jarak 2.00 m, 6.00 m, dan 10.00 m. Dengan kedalaman kedua *basement* -7.00 m dari permukaan tanah, pada analisis perbedaan kedalaman, kedalaman *basement* eksisting adalah -8.00 m dan jarak antar *basement* adalah 6 m, analisis perbedaan kedalaman dilakukan pada perbedaan kedalaman 0.00m, +4.00 m, dan -4.00 m.

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana pengaruh jarak dan perbedaan kedalaman antar *basement* terhadap defleksi dinding *basement* eksisting.

Penelitian bertujuan menganalisis defleksi yang terjadi pada *basement* eksisting akibat pengaruh jarak dan perbedaan kedalaman antara *basement* eksisting dengan *basement* berdekatan.

2. METODE PENELITIAN

Data proyek yang dikumpulkan meliputi data tanah dan data struktur dan berdekatan yang akan divariasikan jarak dan kedalamannya. Proyek yang dianalisis menggunakan data tanah yang berlokasi di Jakarta Pusat, DKI Jakarta, Indonesia. Data tanah yang tersedia dari proyek adalah laporan tes sondir di 5 titik, laporan *Boring Hole* di 5 titik, dan laporan uji lab dari sampel tanah pengujian SPT. Data tanah yang diperoleh akan dilakukan pengolahan sehingga mendapatkan parameter-parameter tanah yang tersedia. Pengolahan data tanah dilakukan dengan melakukan perhitungan teoritis dan menggunakan korelasi-korelasi dari berbagai sumber untuk mendapatkan parameter tanah yang dibutuhkan untuk dilakukan input dan permodelan pada program analisis elemen hingga.

Analisis dilakukan berdasarkan data teknis tanah, geometri struktur, serta kondisi yang telah ditentukan pada bab sebelumnya. Proses pemodelan menggunakan perangkat lunak Midas GTS NX, dengan mempertimbangkan kondisi batas yang merepresentasikan keadaan lapangan. Hasil yang ditampilkan pada meliputi grafik, tabel, serta visualisasi deformasi, yang kemudian dianalisis untuk mengetahui pengaruh kedalaman *basement*, jarak antar bangunan terhadap defleksi dinding *basement*.

Pada Tabel 2, disajikan data tanah yang didapatkan melalui berbagai metode korelasi dari hasil *boring hole* melalui tindakan *soil investigation*.

Tabel 2. Data Tanah

Elevation (m)		Depth (m)	Type of Soil	Consistency	γ_{sat} (kn/m ³)	Undrained	
						C (kpa)	Φ (°)
0	4	2	Clay	Medium stiff	15.97	10.00	5.55
4	10	7	Clay	Stiff	17.22	16.00	6.23
10	15	12.5	Silty clay	Very stiff - hard	19.32	40.18	26.22
15	34	24.5	Sandy silt	Hard	20.28	59.56	30.60
34	40	37	Silty sand	Very dense	22.00	60.00	44.25

Tabel 2. Data Tanah (lanjutan)

c' (kPa)	ϕ' (°)	γ_{dry} (kN/m ³)	γ_{wet} (kN/m ³)	NSPT	μ_s	Cc	Cs	e0	OCR
10.00	5.55	9.64	15.21	4	0.35	0.5762	0.16	1.6414	>1
16.00	17.00	11.62	16.41	10	0.3	0.4267	0.12	1.2184	>1
28.09	20.22	18	18.32	33	0.250	0.18	0.07	0.48	>1
59.56	30.60	18	19.28	50	0.200	0.09	0.06	0.40	>1
60.00	44.25	21	21.00	50	0.250	0.06	0.05	0.40	>1

Terdapat berbagai macam parameter yang diinput dalam analisis ini, seperti parameter tanah, parameter dinding dan parameter *interface*. Parameter tanah yang digunakan diambil dari proyek nyata yang sudah dilakukan di kota Jakarta, Indonesia. Parameter-parameter yang terkumpul ini kemudian akan dimasukkan kedalam perangkat lunak. Tabel 3 memberikan parameter tanah yang digunakan dalam permodelan.

Tabel 3. Parameter Tanah Input

Jenis Tanah	Material	Type Model	Elastic Modulus (E) (kPa)	Poisson's Ratio (v)	γ_{wet} (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	Void Ratio (e_0)
Clay	Isotropic	Modified Mohr-Coulomb	7560	0.35	15.21	15.97	1.6414
Clay	Isotropic	Modified Mohr-Coulomb	17280	0.3	16.41	17.22	1.2184
Silty Clay	Isotropic	Modified Mohr-Coulomb	60264	0.25	18.32	19.32	0.48

Tabel 3. Parameter Tanah (lanjutan)

Drainage parameters	Cohesion (c) (kN/m ²)	Friction angle (ϕ) (°)
Drained	10	5.55
Drained	16	17
Drained	28.09	20.22

Tipe model yang digunakan adalah *modified mohr-coulomb*. Penggunaan model *modified mohr-coulomb* bertujuan untuk komputasi yang lebih sederhana dan lebih stabil, dengan menyeimbangkan antara akurasi dan efisiensi.

Dinding *basement* merupakan dinding diafragma sehingga pada permodelan dianggap sebagai *shell* 2 dimensi dengan material beton. Berikut disajikan parameter dari dinding *basement*. Tabel 4 dan Tabel 5 memberikan parameter dinding untuk masing-masing variasi analisis.

Tabel 4. Parameter dinding dan pelat lantai untuk analisis variasi horizontal

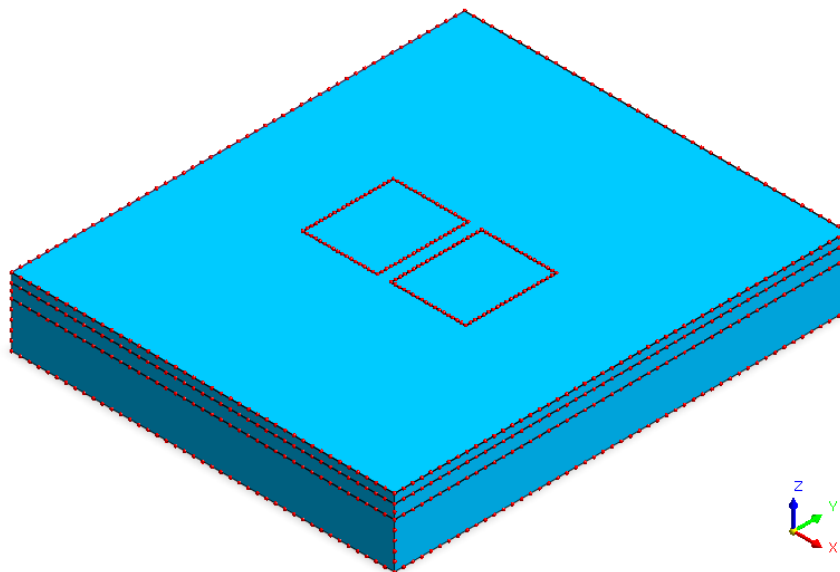
Element	Tipe Model	Elastic Modulus (E) (kPa)	γ (kN/m ³)	Ketebalan (m)
Dinding	Elastic	2350000	24	0.5
Pelat Lantai	Elastic	2350000	24	0.125

Tabel 5. Parameter dinding dan pelat lantai untuk analisis variasi vertikal

Element	Tipe Model	Elastic Modulus (E) (kPa)	γ (kN/m ³)	Ketebalan (m)
Dinding	Elastic	2350000	24	0.8
Pelat Lantai	Elastic	2350000	24	0.15

Meshing merupakan aksi memotong suatu elemen menjadi elemen-elemen kecil untuk kemudian dilakukan analisis yang kemudian disebut analisis elemen hingga. Ukuran dari elemen *mesh* bervariasi sesuai kebutuhan. Ukuran dari elemen *mesh* sangat mempengaruhi tingkat keakuratan dari hasil analisis elemen hingga. Namun, ukuran *mesh* yang terlalu kecil dapat memperlambat proses analisis, terutama dalam proses analisis secara nonlinear.

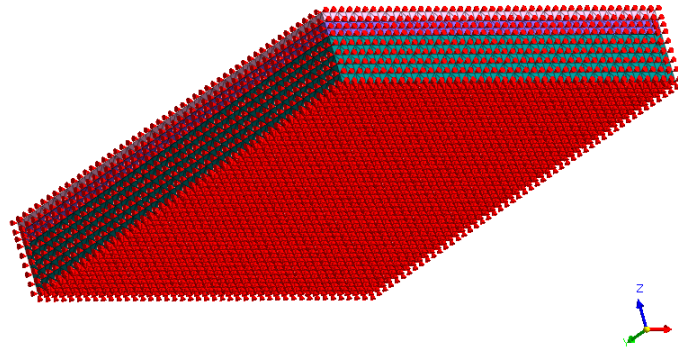
Ukuran *meshing* yang digunakan pada model dilakukan secara otomatis dengan mendefinisikan ukuran *mesh* yang menempel pada ujung-ujung elemen. Definisi ukuran *mesh* (*size control*) yang menempel pada ujung perimeter tanah (*boundary*) adalah 2 meter, dan ukuran *mesh* yang menempel pada dinding *basement* adalah 1 meter. *Size control* pada model diwakili dengan titik-titik merah pada ujung-ujung elemen. Gambar 3 memberikan ilustrasi ukuran *mesh* pada model.



Gambar 3. Definisi ukuran *mesh* (*size control*) pada model

Constraint atau perletakan dilakukan untuk menahan elemen pada *Degree of Freedom* yang berbeda-beda sesuai dengan jenis perletakan yang digunakan. Pada permodelan ini, pada *basement* dan dinding tidak diletakkan suatu *constraint*. Sehingga *basement* dapat bergerak sesuai dengan interaksinya dengan tanah dan struktur disekitarnya.

Constraint yang digunakan pada model ini diletakkan pada ujung-ujung elemen tanah dengan menahan translasi arah X, Y, dan Z tergantung pada lokasi *constraint*. *Constraint* ini diletakkan dengan tujuan menahan pergerakan pada sisi luar elemen tanah sehingga mewakili suatu batas tanah yang tidak terHINGGA. Gambar 4 memberikan ilustrasi perletakan pada permodelan.



Gambar 4. Perletakan (*constraint*) pada permodelan

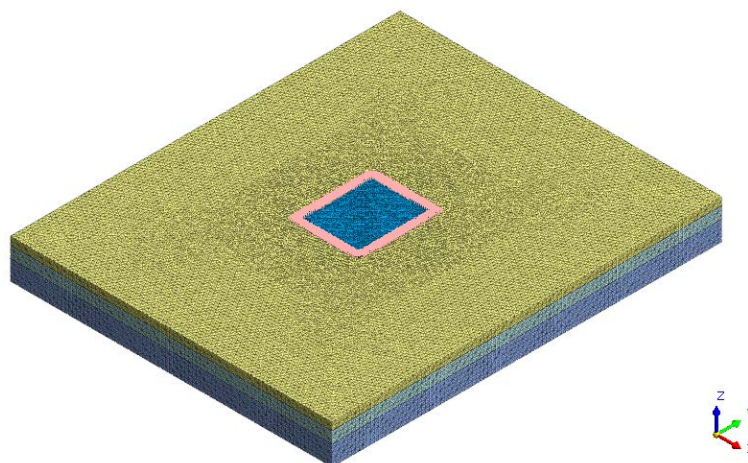
Pada analisis elemen hingga terdapat beberapa jenis analisis yang umumnya digunakan. Terdapat analisis linear, analisis nonlinear, dan analisis *construction stage*. Setiap analisis memiliki fungsi yang berbeda-beda dan memiliki keunggulan dan kelemahannya masing-masing.

Pada analisis ini, digunakan analisis linear untuk memeriksa kembali permodelan yang dibuat dan digunakan analisis nonlinear setelah model sudah memberikan hasil analisis linear yang masuk akal sesuai dengan *engineering judgement*.

Analisis nonlinear bekerja dengan membagi-bagi parameter beban sendiri tanah menjadi beberapa bagian kecil, sesuai dengan *input* pada kontrol analisis. Digunakan 20 *increment* pada analisis ini, yang berarti beban sendiri dari tanah dibagi menjadi 20 bagian kecil dan kemudian dianalisis tiap bagiannya. Hasil yang digunakan adalah hasil terakhir dari analisis, yang menangkap 100% dari beban sendiri tanah. Analisis nonlinear digunakan untuk menangkap pergerakan defleksi dari dinding secara akurat.

Analisis dilakukan dalam 3 tahap, yaitu analisis model 1, analisis variasi horizontal, dan analisis variasi vertikal. Analisis model 1 merupakan analisis kontrol dimana dimodelkan sebuah basement dan tanah disekitarnya. Kontrol dilakukan dengan membandingkan hasil nonlinear analisis pada model ini dengan perhitungan manual, secara spesifik hasil tegangan tanah yang diperoleh.

Kedalaman *basement* pada model 1 *basement* adalah -7.00 m dengan kedalaman pemasangan dinding *basement* adalah -10.00 m. Ketebalan dinding *basement* setebal 50 cm, dimodelkan sebagai *shell* elastis 2 dimensi dengan menggunakan properti material beton $f_c' 25 \text{ MPa}$. Gambar 5 memberikan ilustrasi model 1 *basement*.



Gambar 5. Model 1 *basement*

Analisis Variasi Horizontal merupakan analisis tahap pertama yang dilakukan dengan memodelkan 3 model *basement* dengan jarak antar *basement* yang berbeda-beda. Kedalaman dari masing-masing *basement* ditetapkan pada suatu kedalaman yang sama. Tabel 6 memberikan parameter geometri untuk *basement* variasi horizontal, dan Gambar 6, Gambar 7, dan Gambar 8 memberikan ilustrasi potongan model variasi horizontal.

Tabel 6. Parameter geometri *basement* variasi horizontal

Model	<i>Basement Eksisting</i>		<i>Basement Adjacent</i>		Jarak Antar <i>Basement</i> (m)
	Kedalaman Dinding Tertancap (m)	Kedalaman <i>Basement</i> (m)	Kedalaman Dinding Tertancap (m)	Kedalaman <i>Basement</i> (m)	
2 <i>Basement Part 1</i>	-3.00	-7.00	-3.00	-7.00	2.00
2 <i>Basement Part 2</i>	-3.00	-7.00	-3.00	-7.00	6.00
2 <i>Basement Part 3</i>	-3.00	-7.00	-3.00	-7.00	10.00



Gambar 6. Model 2 *basement part 2*



Gambar 7. Potongan model 2 *basement part 2*



Gambar 8. Potongan model 3 *basement part 3*

Analisis Variasi Vertikal merupakan analisis tahap kedua yang dilakukan dengan memodelkan 3 model *basement* dengan jarak antar *basement* yang sama yaitu 6.00 m. *Level basement* eksisting diatur pada kedalaman 2 *Level basement*, atau -8.00 m. Parameter-parameter yang digunakan pada model ini ditampilkan pada Tabel 7. Gambar 9, Gambar 10, dan Gambar 11 memberikan ilustrasi potongan model analisis vertikal.

Tabel 7. Parameter geometri *basement* variasi vertikal

Model	<i>Basement Eksisting</i>		<i>Basement Adjacent</i>		Jarak Antar <i>Basement</i> (m)
	Kedalaman Dinding Tertancap (m)	Kedalaman <i>Basement</i> (m)	Kedalaman Dinding Tertancap (m)	Kedalaman <i>Basement</i> (m)	
2 <i>Basement Beda +4.00 m</i>	-15.00	-8.00	-6.00	-4.00	6.00
2 <i>Basement Beda 0.00 m</i>	-15.00	-8.00	-15.00	-8.00	6.00
2 <i>Basement Beda -4.00 m</i>	-15.00	-8.00	-18.00	-12.00	6.00



Gambar 9. Potongan model 2 *basement* beda +4.00 m



Gambar 10. Potongan model 2 *basement* beda 0.00 m



Gambar 11. Potongan model 2 *basement* beda -4.00 m

Analisis dan permodelan dilakukan menggunakan bantuan perangkat lunak Midas GTS NX. Hasil dari permodelan disajikan pada bab berikutnya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Model 1, Hasil tegangan tanah analisis dan hasil tegangan tanah manual memiliki perbedaan dibawah 10% yang dapat penulis simpulkan sebagai cukup akurat dan model dapat digunakan. Tabel 8 memberikan hasil perbandingan pada model 1.

Tabel 8. Tegangan tanah model 1 *basement*.

Model	Tegangan Tanah Nonlinear Analisis (kN/m ²)	Tegangan Tanah Perhitungan Manual (kN/m ²)	Perbedaan (%)
1 <i>Basement</i>	-7.064	-7.605	-7.108
	-11.270	-10.972	2.713
	-15.342	-15.210	0.868
	-22.656	-22.815	-0.698
	-29.738	-30.420	-2.241
	-38.655	-38.025	1.657
	-46.622	-45.630	2.174
	-49.333	-53.235	-7.330
	-59.360	-60.840	-2.432
	-69.188	-69.045	0.207
	-79.574	-77.250	3.008
	-82.264	-85.455	-3.734
	-95.560	-93.660	2.029
	-95.560	-101.865	-6.189
	-105.899	-110.070	-3.789
	-121.655	-118.275	2.858
	-126.855	-126.480	0.296
	-135.933	-134.685	0.927
	-145.555	-142.890	1.865
	-151.823	-151.095	0.482
	-161.720	-159.300	1.519

Pada Analisis Variasi Horizontal, dapat dilihat suatu pola defleksi yang terjadi pada dinding yang menghadap *basement adjacent*. Pada dinding ini, jarak antar *basement* memiliki pengaruh terhadap besarnya defleksi yang terjadi. Berdasarkan hasil, semakin dekat jarak antar *basement*, dinding pada sisi yang menghadap *basement adjacent* akan mengalami defleksi yang semakin kecil. Defleksi yang semakin besar menunjukkan hubungannya terhadap volume tanah diantara dinding *basement*. Tabel 9 memberikan perbandingan hasil pada analisis variasi horisntal.

Tabel 9. Tabel perbandingan analisis variasi horizontal

Jarak antar <i>basement</i> (m)	Defleksi pada puncak dinding (mm)	Defleksi pada - 5.00 m (mm)
2.00	-1.013	0.047
6.00	-4.235	-1.074
10.00	-7.741	-3.556

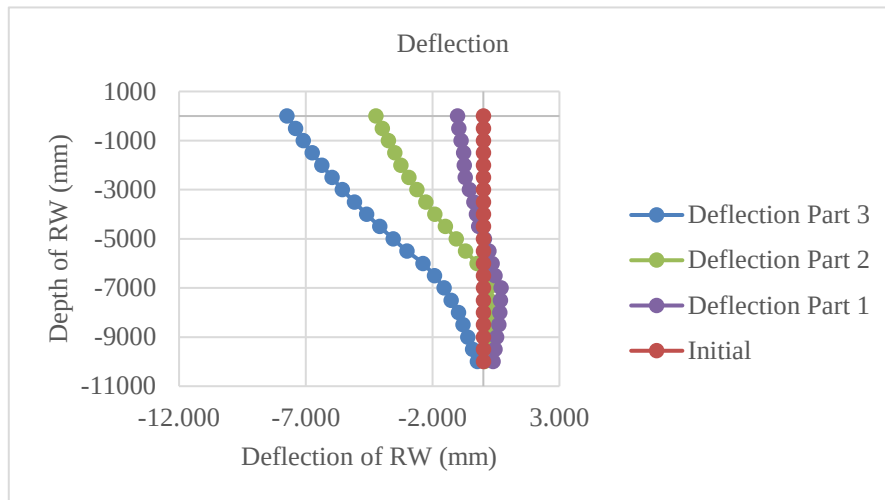
Pada Analisis Variasi Vertikal, terlihat suatu pola defleksi yang terjadi pada dinding yang menghadap *basement adjacent*. Pada dinding ini, jarak perbedaan elevasi *basement* memiliki pengaruh terhadap besar dan arah defleksi yang terjadi. Berdasarkan hasil, *basement* dengan elevasi *basement adjacent* berada diatas *eksisting* +4.00 m, dinding pada sisi yang menghadap *basement adjacent* akan mengalami defleksi yang besar ke arah menjauhi *basement adjacent*. Defleksi yang semakin besar menunjukkan akibat dari beban *basement adjacent* yang menekan ke arah dinding *basement eksisting* melalui tanah, sehingga defleksi yang terjadi lebih besar dari perbedaan elevasi 0.00 m.

Pada perbedaan elevasi -4.00m, terjadi perubahan arah defleksi. Dinding *basement eksisting* berdefleksi kearah *basement adjacent*. Defleksi pada dinding *basement adjacent* cukup besar, sehingga tanah bergerak kearah *basement adjacent*. Pergerakan tanah ini juga diikuti oleh pergerakan dinding *basement eksisting* kearah *basement adjacent*. Tabel 10 memberikan perbandingan hasil pada analisis variasi vertikal.

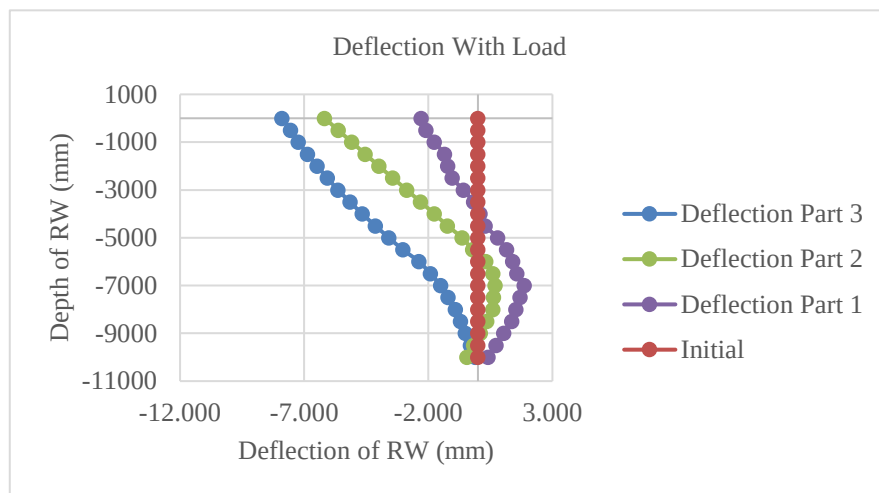
Tabel 10. Tabel perbandingan analisis variasi vertikal

Perbedaan elevasi <i>basement adjacent</i> terhadap <i>basement eksisting</i> (m)	Defleksi pada puncak dinding (mm)	Defleksi pada - 8.00 m (mm)
+4.00	-5.504	-1.472
0.00	-3.645	-0.180
-4.00	0.299	1.037

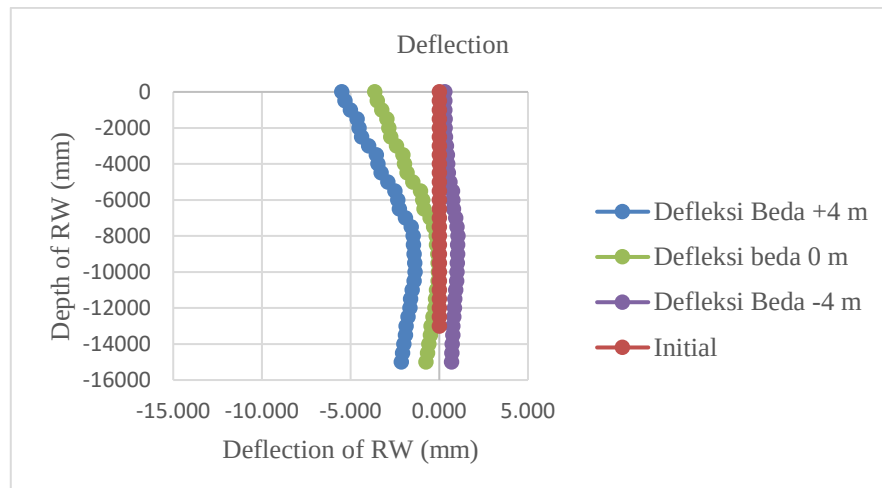
Sebagai perbandingan, dilakukan juga permodelan dengan menambahkan beban layan pada *basement* eksisting sebesar 5kN/m^2 per lantai *basement*. Sehingga pada kedua variasi ditambahkan 10kN/m^2 pada plat lantai dasar *basement* eksisting. Gambar 11 hingga Gambar 14 memberikan grafik perbandingan antara permodelan tanpa beban tambahan dan dengan beban tambahan untuk variasi horizontal.



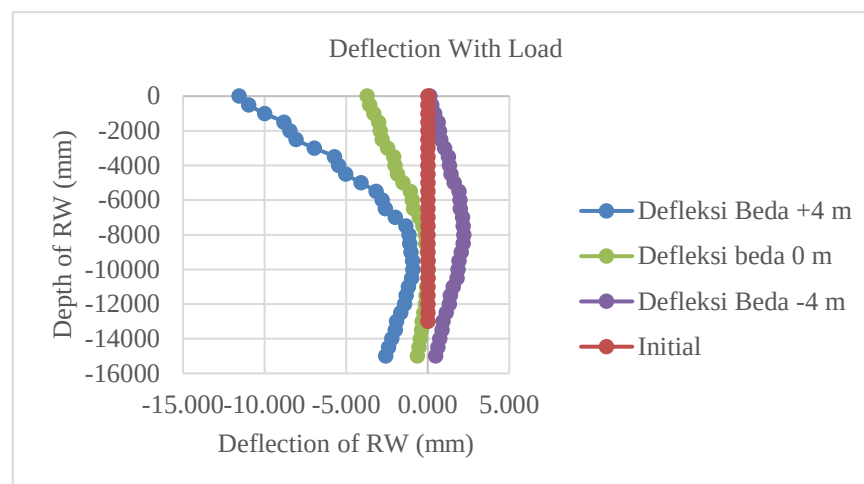
Gambar 12. Grafik Perbandingan Defleksi Variasi Horizontal



Gambar 13 Grafik Perbandingan Defleksi Variasi Horizontal dengan Beban.



Gambar 14. Grafik Perbandingan Defleksi Variasi Vertikal



Gambar 15. Grafik Perbandingan Defleksi Variasi Vertikal dengan Beban

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis nonlinear yang dilakukan menggunakan bantuan perangkat lunak Midas GTS NX, dapat ditarik beberapa poin kesimpulan. Perbedaan jarak horizontal antar *basement* yang *adjacent* memiliki pengaruh terhadap defleksi pada dinding *basement* eksisting. Semakin besar jarak antar *basement*, maka semakin besar defleksi yang terjadi. Perbesaran defleksi ini terjadi akibat besarnya volume tanah diantara *basement*. Volume tanah diantara *basement* mengakibatkan tekanan pada dinding semakin besar.

Perbedaan jarak vertikal antar *basement adjacent* juga berpengaruh pada defleksi di dinding *basement* eksisting. Jika *basement adjacent* berada diatas elevasi *basement* eksisting, maka dinding *basement* eksisting akan mengalami tambahan defleksi kearah menjauhi *basement adjacent*. Defleksi diakibatkan beban tambahan yang tersalurkan melalui tanah disamping dinding eksisting yang kemudian mendorong dinding menjauhi *basement adjacent*.

Jika *basement adjacent* berada pada elevasi dibawah *basement* eksisting, maka dinding *basement* eksisting akan mengalami defleksi kearah mendekati *basement adjacent*. Hal ini dikarenakan defleksi dari dinding *basement adjacent* akan menarik tanah menjauhi dinding *basement* eksisting. Sehingga tanah dibelakang dinding *basement* eksisting akan ikut menjauh dan dinding *basement* eksisting akan ikut terdefleksi.

Jika dibandingkan dengan adanya beban layan pada *basement* eksisting, maka dapat pola defleksi yang terjadi tetap sama, namun dengan penambahan nilai defleksi.

DAFTAR PUSTAKA

- Amelia, D., Sumarli, I., & Iskandar, A. (2021). Analisis Dampak Pembukaan Galian untuk Connecting Basement Terhadap Bangunan Eksisting Dengan Metode Finite Element. *Jurnal Muara Sains, Teknologi, Kedokteran Dan Ilmu Kesehatan*, 5(2), 401. <https://doi.org/10.24912/jmstkik.v5i2.10873>
- Das, B. M. (2014). *Principles of Foundation Engineering* (Eighth). Cengage Learning.
- Hamderi, M. (2021). Finite Element–Based Coefficient of Lateral Earth Pressure for Cohesionless Soil. *International Journal of Geomechanics*, 21(5). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)gm.1943-5622.0002000](https://doi.org/10.1061/(asce)gm.1943-5622.0002000)
- Jalla, R. (1999). Basement Wall Design: Geotechnical Aspects. *Journal of Architectural Engineering*, 5, 89–91.
- Jesica, A., Pudjisuryadi, P., & Rosidi, D. (2023). Application of Soil Structure Interaction on Building with Basement using Nonlinear Soil Springs. *Civil Engineering Dimension*, 25(1), 20–28. <https://doi.org/10.9744/ced.25.1.20-28>
- Lee, T. H., & Wesley, D. A. (1973). Influence of Through-Soil Coupling Between Adjacent Structures on Seismic Response of Nuclear Reactors. *Proceedings of the 2nd International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology*, 2–9.
- Lou, M., Wang, H., Chen, X., & Zhai, Y. (2011). Structure-Soil-Structure Interaction: Literature Review. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 31(12), 1724–1731. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2011.07.008>
- Madany, M., & Guo, P. (2021). Structure–Soil–Structure Interaction Analysis for Lateral Seismic Earth Pressure of Deeply Buried Structure in Layered Ground. *International Journal of Geomechanics*, 21(11). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)gm.1943-5622.0002189](https://doi.org/10.1061/(asce)gm.1943-5622.0002189)
- Pappin, J. (2007). Geotechnical Structures. In *Modeling Complex Engineering Structures* (pp. 103–135).
- Susanto, M., & Susilo, A. (2022). Perencanaan Sistem Penunjang untuk Mengatasi Penambahan Deformasi Dinding Diafragma Pada Proyek Galian Basemen. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 5, 751–766.
- Tan, Y. C., & Chow, C. M. (2008). *Design of Retaining Wall and Support Systems for Deep Construction-A Malaysian Experience*. www.gnpgeo.com.my

