

## PROSES ANALISA DINDING GALIAN BASEMENT 7 LANTAI DENGAN METODE ELEMEN HINGGA

Novia Sabina<sup>1</sup> dan Chaidir Anwar Makarim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta  
*novia.325160049@stu.untar.ac.id*

<sup>2</sup>Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta  
*chaidir259@gmail.com*

*Masuk: 15-01-2020, revisi: 11-02-2020, diterima untuk diterbitkan: 14-02-2020*

### ABSTRACT

*Limited area for construction can be overcome by build a multi-story building with basement. Basement is quite common in Jakarta, the things that attracted is basement with 7 stories. This basement construction uses a diaphragm wall with 1 meter thickness for the retaining wall and installation strut every 4 meter. Deformation for diaphragm wall is calculated by finite element method application and mohr-coloumb soil modeling. This calculation based on soil type from each drill point and water table when it high or common. From the calculation, maximum deformation diaphragm wall for BH-5 when water table high is 235,86 mm and when water table at -3 m is 209,6 mm. Maximum deformation diaphragm wall for BH-7 when water table high is 213,9 mm and when water table at -3 m is 197,18 mm. There are several things that need to concern when constructed basement and deep excavation, in case to avoid failure.*

*Keywords: basement; diaphragm wall; lateral wall movement; finite element method*

### ABSTRAK

Keterbatasan lahan untuk pembangunan dapat diatasi dengan pembangunan gedung bertingkat yang dilengkapi dengan basement. Pembangunan basement cukup umum di Jakarta ini, salah satu hal yang menarik perhatian adalah pembangunan basement sebanyak 7 lantai. Pembangunan basement ini menggunakan dinding penahan tanah berupa dinding diafragma dengan ketebalan 1 meter dan pemasangan strut setiap 4 meter. Perhitungan deformasi pada dinding penahan tanah ini dilakukan dengan menggunakan aplikasi metode elemen hingga dan permodelan tanah mohr-coloumb Permodelan dilakukan berdasarkan keadaan tanah pada tiap titik bor dan keadaan muka air saat banjir atau kemarau. Dari perhitungan, didapatkan deformasi maksimum dinding diafragma pada titik bor BH-5 pada muka air banjir adalah 235,86 mm dan pada muka air kemarau adalah 209,6 mm. Untuk deformasi maksimum dinding diafragma pada titik bor BH-7 pada muka air banjir adalah 213,9 mm dan pada muka air kemarau adalah 197,18 mm. Pada saat konstruksi basement dan galian dalam, diperlukan beberapa hal yang perlu diperhatikan agar tidak terjadi kegagalan pada saat pembangunan dan penggunaan basement.

Kata kunci: basement; dinding diafragma; pergerakan lateral dinding; metode elemen hingga

### 1. PENDAHULUAN

Bertambahnya jumlah penduduk mempengaruhi kegiatan pembangunan infrastruktur menjadi berkembang lebih pesat. Masalah utama dari pembangunan infrastruktur ini adalah keterbatasan lahan. Pembangunan kantor, *shopping mall*, hotel, dan apartemen yang bertujuan menampung orang yang banyak, sehingga memerlukan lahan yang besar dan ruang yang cukup. Solusi dari kebutuhan ruang yang besar ini adalah dengan membangun gedung bertingkat atau membangun bangunan secara vertikal. Pembangunan gedung bertingkat ini tidak hanya vertikal kearah atas, tetapi juga dapat dibangun secara vertikal kearah bawah. Di Jakarta, ruang bawah tanah (*basement*) ini biasa dibangun untuk tempat parkir bawah tanah bagi kendaraan bermotor dan juga gudang barang. Untuk membangun *basement*, diperlukan pembangunan *retaining wall* atau dinding penahan tanah untuk menahan tanah di sekitar *basement* agar tidak terjadi longsor. Posisi tanah yang tertahan atau miring bisa memberikan gaya dorong pada struktur dinding, sehingga struktur cenderung akan bergeser atau terguling. Dinding penahan tanah ini berfungsi untuk menahan gaya lateral aktif dari tanah maupun air. Salah satu metode untuk memodelkan bentuk dan geometri tanah yang bervariasi adalah dengan metode elemen hingga (*Finite Element Method*).

Teknologi pada saat ini telah berkembang dengan pesat, terutama dalam bidang teknologi komputer. Salah satunya adalah dengan menghasilkan *software* dalam mengaplikasikan metode elemen hingga untuk perhitungan dan analisa permasalahan. Dengan digunakan pemrograman ini, tanah dapat dimodelkan sesuai dengan karakteristik dan parameter yang berbeda-beda. Sehingga dalam pengoperasian pemrograman ini, diperlukan parameter tanah di lapangan yang sesungguhnya agar dapat mendapatkan hasil yang mendekati dari kondisi yang sebenarnya.

Dalam melakukan analisa deformasi pada dinding penahan tanah ini, lokasi yang digunakan sebagai parameter tanah berada di daerah Pulau Jawa dan memiliki sifat berupa tanah lunak. Permodelan tanah yang dilakukan adalah dengan mohr-coulumb. Analisa yang dilakukan ini dilakukan pada pembangunan basement 7 lantai dan menggunakan dinding penahan tanah berupa *diaphragm wall* yang memiliki kedalaman 39 meter dengan ketebalan 1 meter. Analisa dinding penahan tanah ini dilakukan menggunakan program dengan metode elemen hingga.

Tujuan dilakukan analisa deformasi *diaphragm wall* adalah untuk mengetahui tahapan mendapatkan nilai deformasi *diaphragm wall*, lalu dapat menganalisa hasil dengan membandingkan dengan ketentuan yang sudah ada. Selain itu, berfungsi untuk mengetahui hal-hal yang diperlukan dalam melakukan galian dalam dan konstruksi *basement*.

### **Diaphragm wall**

Dinding diafragma adalah dinding beton struktural yang dibangun untuk konstruksi galian yang dalam yang dapat menahan gaya lateral tanah, baik dibuat di tempat (*cast in situ*) atau menggunakan beton pracetak (*precast concrete*). *Diaphragm wall* termasuk dalam tipe metode *zoned excavation* karena membagi galian menjadi beberapa bagian (zonasi). Pekerjaan dinding diafragma menghasilkan sedikit getaran dan kebisingan, sehingga dapat dipasang di daerah yang padat penduduk serta sifat jenis dinding penahan tanah ini kaku dan deformasi dari dinding penahan kecil.

Ketebalan dinding diafragma umumnya antara 0.5 m sampai 1.5 m, sehingga sambungan pelat lantai dan bekisting dapat dimasukkan ke dinding. Dinding ini dapat dipasang pada konstruksi yang tingginya melebihi 50 m. Dinding diafragma biasa digunakan untuk dinding penahan tanah, dinding *basement* atau struktur bawah tanah, pemisah stuktur di bawah tanah, dan dapat bersifat sebagai fondasi (*barette pile* atau *rectangular pile*).

Keuntungan dari dinding diafragma adalah pengerjaan lebih cepat dibandingkan dinding penahan konvensional serta dapat digunakan untuk melaksanakan struktur bangunan yang menggunakan metode *top-down*. Kekurangan dari dinding diafragma adalah biaya yang dibutuhkan lebih besar, tidak ratanya dinding sisi dalam sehingga perlu dilakukan *finishing*, dan dapat terjadi kebocoran pada sambungan.

### **Deformasi dinding penahan tanah**

Deformasi adalah perubahan bentuk, posisi, dan dimensi dari suatu objek dapat berupa dinding penahan tanah. Deformasi dinding penahan tanah ini dapat disebabkan karena tekanan yang diberikan oleh tanah maupun tekanan yang diberikan oleh air, sehingga menyebabkan terjadinya perpindahan atau lendutan pada dinding penahan tanah.

Tekanan yang disebabkan oleh tanah dapat disebabkan oleh tekanan lateral tanah *at rest*, aktif, dan pasif. Tekanan lateral tanah ini yang menyebabkan timbulnya gaya horizontal pada dinding penahan tanah, sehingga dapat menyebabkan terjadinya deformasi pada dinding penahan tanah. Tekanan lateral tanah adalah besarnya gaya yang timbul akibat dorongan dari belakang struktur penahan tanah. Tekanan tanah lateral ini disebabkan oleh letak dari dinding penahan tanah dan jenis tanah sekitar dinding penahan tanah.

Tekanan tanah *at rest* adalah tekanan yang terjadi saat dinding penahan tanah tidak bisa bergerak di dalam tanah. Tekanan tanah aktif adalah tekanan yang terjadi saat dinding penahan tanah menahan longsornya tanah atau pada saat dinding penahan tanah bergerak menjauhi tanah. Tekanan tanah pasif adalah tekanan yang terjadi saat tanah harus menahan gerakannya dinding penahan tanah atau pada saat tanah bergerak mendekati tanah. Besarnya tekanan air bergantung pada tingginya air saat di depan maupun di belakang dinding penahan tanah.

### **Permodelan tanah**

Dalam menentukan permodelan tanah, perlu diperhatikan sifat mekanik dari tanah yang sesuai dengan permodelan tanah. Hal ini dilakukan karena setiap permodelan tanah memiliki kekurangan dan kelebihan masing-masing. Beberapa jenis permodelan dari tanah adalah *linear elastic model* (LE), *mohr-coulomb model* (MC), *hardening soil model* (HSS), *hardening soil model with small-strain stiffness* (HSsmall), *soft soil model* (SS), *soft soil creep mode* (SSC), *jointed rock model* (JR), dan berbagai macam lainnya.

Permodelan dengan menggunakan *mohr-coulomb* merupakan permodelan yang cukup sederhana. Pada permodelan ini, diperlukan beberapa parameter tanah seperti kohesi (C), sudut geser ( $\phi$ ), *modulus young* (E), *poisson ratio* ( $\nu$ ), dan sudut dilatasi ( $\psi$ ). Model mohr-coulumb adalah model yang memiliki sifat yang elastis dan elastoplastik. Lapisan tanah dengan permodelan ini memiliki sifat kekakuan yang konstan atau linear terhadap kedalaman lapisan

tanah. Sifat kekakuan yang konstan ini membuat penyelesaian permasalahan tanah selesai lebih cepat, tetapi ini merupakan kelemahan jika digunakan untuk menganalisis galian dalam

**Nilai N-SPT**

*Standard Penetration Test* adalah salah satu test pada tanah untuk menentukan daya dukung tanah yang sering dilakukan selain test sondir (CPT). *Standard Penetration Test* dilakukan dengan menjatuhkan palu ke tanah dan menghitung jumlah pukulan hingga kedalaman tertentu. Banyaknya pukulan hingga kedalaman tertentu menentukan sifat tanah tersebut berupa lunak hingga keras.

Nilai N-SPT yang dimiliki dapat digunakan dengan menggunakan korelasi untuk mendapatkan sifat statis dan dinamis dari tanah yaitu berupa kohesi atau *cohesion* (c), sudut geser atau *angle friction* (Ø), *relative density* (Dr), kecepatan gelombang geser tanah (Vs), dan *undrained shear strength* (Su).

**Nilai kohesi**

Kohesi adalah gaya tarik menarik antara partikel pada tanah. Kohesi merupakan kuat geser tanah yang dapat menentukan ketahanan pada tanah terhadap deformasi yang terjadi pada tanah akibat tegangan lateral tanah. Deformasi ini dapat terjadi akibat kombinasi keadaan kritis karena tidak sesuainya tegangan normal dan tegangan geser terhadap *safety factor* yang direncanakan. Nilai c (kohesi) dapat ditentukan dengan rumus (menurut Terzaghi):

$$c = \frac{20}{3} \times N - SPT \tag{1}$$

dengan c = nilai kohesi dan N-SPT = nilai N-SPT.

**Nilai sudut geser dalam (Ø)**

Sudut geser dalam adalah sudut yang terbentuk dari hubungan tegangan normal dan tegangan geser pada material dalam tanah. Sudut ini terbentuk jika suatu material tanah dikenai tegangan atau gaya yang melebihi tegangan gesernya sendiri. Semakin besar sudut geser dalam suatu material, semakin tahan tanah tersebut terhadap tegangan dari luar. Sudut geser dalam ditentukan akibat tegangan yang bekerja yaitu tekanan lateral tanah. Untuk menentukan nilai sudut geser dalam berdasarkan data N-SPT digunakan rumus berdasarkan Oosaki:

$$\varnothing = 15 + (20N)^{0.5} \tag{2}$$

dengan Ø = sudut geser dalam dan N-SPT = nilai N-SPT.

**Nilai poisson ratio (v)**

*Poisson ratio* adalah konstanta elastis yang dimiliki oleh tanah yang berupa perbandingan dari perubahan arah aksial dengan perubahan arah transversal. Hasil dari *poisson ratio* menggambarkan karakter dan sifat dari tanah. Nilai dari *poisson ratio* ditentukan sebagai rasio dari kompresi poros terhadap regangan pemuai lateral. Dalam menentukan angka dari *poisson ratio* dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Hubungan antara jenis tanah dan *poisson ratio* (v)

Jenis Tanah	Poisson Ratio (v)
Lempung jenuh	0,4 - 0,5
Lempung tak jenuh	0,1 - 0,3
Lempung berpasir	0,2 - 0,3
Lanau	0,3 - 0,35
Pasir	0,1 - 1,0
Batuan	0,1 - 0,4
Umum dipakai untuk tanah	0,3 - 0,4

(Sumber: Das, 2011)

Tabel 2. Hubungan antara jenis tanah dan *poisson ratio* ( $\nu$ )

Type of Soil	Poisson's Ratio ( $\nu$ )
Clay, saturated	0,4 - 0,5
Clay, unsaturated	0,1 - 0,3
Sand clay	0,2 - 0,3
Silt	0,3 - 0,35
Sand, gravelly sand	0,1 - 1
Commonly used	0,3 - 0,4
Rock (depends somewhat on type of rock)	0,1 - 0,4
Loess	0,1 - 0,3
Ice	0,36
Concrete	0,15
Steel	0,33

(Sumber: Bowles, 1997)

### Nilai sudut dilatasi ( $\psi$ )

Sudut dilatasi ditentukan berdasarkan perbandingan hubungan antara perubahan ketebalan sampel tanah dan pergeseran tegangan lateral maksimum. Sudut dilatasi ini berdasar pada sifat kuat geser tanah dan sifat tegangan-regangan tanah. Pada tanah lempung, sudut dilatasi menunjukkan angka nol atau tidak menunjukkan dilatasi sama sekali. Pada tanah pasir, sudut dilatasi tergantung dari sudut gesernya. Tetapi dalam kebanyakan kasus, sudut dilatasi menunjukkan angka 0.

### Nilai modulus young ( $E_s$ )

Nilai *modulus young* merupakan besarnya nilai elastisitas tanah yang berupa perbandingan antara tegangan dan regangan. Nilai *modulus young* ini biasanya didapat dari test triaksial. Modulus elastisitas menggambarkan kekakuan dari suatu material, yang berarti jika material memiliki angka modulus elastisitas yang besar, maka akan semakin kecil perubahan bentuk yang terjadi jika diberikan tegangan. Untuk menentukan hasil dari *modulus young*, digunakan pendekatan seperti Tabel 3 dan Rumus 3. Rumus *modulus young* untuk tanah lempung diperhitungkan berdasarkan Randolph (1978):

$$E_s = (100 - 200) \times S_u \tag{3}$$

Tabel 3. Hubungan jenis tanah dan *modulus young* ( $E_s$ )

Jenis Tanah	$E_s$ (Kn/m <sup>2</sup> )
	500 (N+15)
Sand (Normally Consolidated)	7000 N 0,5
	6000 N
	(15000-22000) ln N
Sand (Saturated)	250 (N+15)
Sand, all (Normally Consolidated)	(2600-2900) N
Sand (overconsolidated)	4000 + 1050 N
	1200 (N+6)
Gravelly Sand	600 (N+6), N<15
Clayey Sand	320 (N+15)
Silt, Sandy Silt or Clayey Silt	300 (N+6)

(Sumber: Bowles, 1997)

### Nilai berat jenis tanah

Berat jenis tanah adalah perbandingan antara massa total tanah dengan total volume yang hanya termasuk terhadap berat air dan udara. Berat jenis pada suatu tanah menunjukkan kerapatan dari partikel tanah secara keseluruhan. Berat jenis saturasi adalah berat pada tanah ketika pori pada tanah penuh terisi oleh air dan bukan udara. Untuk menentukan berat jenis saturasi ( $\gamma_{sat}$ ) dapat ditentukan dengan rumus:

$$\gamma_{sat} = \frac{(G_s + e) \times \gamma_w}{1 + e} \tag{4}$$

dengan  $\gamma_{sat}$  = berat jenis *saturated*,  $G_s$  = *specific gravity*,  $e$  = *void ratio*, dan  $\gamma_w$  = berat jenis air.

Untuk menentukan berat jenis unsaturasi ( $\gamma_{unsat}$ ) dapat digunakan rumus:

$$\gamma_{unsat} = \frac{(G_s \times \gamma_w)}{1+e} \quad (5)$$

dengan  $\gamma_{unsat}$  = berat jenis *unsaturated*,  $G_s$  = *specific gravity*,  $e$  = *void ratio*, dan  $\gamma_w$  = berat jenis air.

### Nilai permeabilitas tanah

Permeabilitas tanah adalah kemampuan air untuk menebus atau melewati tanah dan diukur dalam waktu tertentu biasa ditetapkan dengan satuan cm/jam, mm/s, dan m/day. Menurut Hillel (1971), faktor yang mempengaruhi permeabilitas tanah adalah tekstur tanah, porositas distribusi ukuran pori, stabilitas agregat, stabilitas struktur tanah, dan kadar bahan organik. Tekstur yang kasar dapat melalui pori tanah lebih baik dibandingkan dengan tekstur tanah yang halus. Jenis tanah seperti *sand* memiliki tekstur yang kasar, sehingga permeabilitasnya lebih besar. Jenis tanah seperti *clay*, mempunyai pori yang lebih kecil, sehingga sulit dilewati oleh air dan permabilitasnya kecil. Permeabilitas tanah diukur berdasarkan Hukum Darcy untuk satu dimensi yaitu aliran secara vertikal. Pada Tabel 4 ditunjukkan nilai permeabilitas tanah berdasarkan jenis tanah berdasarkan Hukum Darcy. Pada tanah lempung, air di dalam tanah tidak bergerak secara vertikal, tetapi kearah horizontal, yang disebut rembesan lateral. Tabel 5 adalah hubungan nilai permeabilitas tanah dan jenis tanah.

Tabel 4. Hubungan nilai permeabilitas tanah dan jenis tanah

No	Type of Soil	Permeability (cm/s)
1	Clean gravels	1.0-10
2	Coarse and medium sand	$10^{-3}$ -1.0
3	Fine sand and loose silt	$10^{-5}$ - $10^{-3}$
4	Dense silt and clayey silt	$10^{-6}$ - $10^{-5}$
5	Silty clay and clay	$10^{-9}$ - $10^{-6}$

(Sumber: Hukum Darcy)

Tabel 5. Hubungan nilai permeabilitas tanah dan jenis tanah

Materials	Range of K (m/day)
Clay soils (surface)	0.2
Deep clays beds	$10^{-4}$ - $10^{-2}$
Loam soils (surface)	0.1-1
Fine sand	1-5
Medium sand	5-20
Coarse sand	20-100
Gravel	100-1000
Sand and gravel mixes	5-100
Clay, sand and gravel mixes (till)	0.001-0.1

(Sumber: Bouwer, 1978)

### Nilai faktor reduksi

Dalam menganalisa suatu tanah, diperlukan faktor reduksi baik antara jenis tanah dengan beton, baja, dan *geogrid*. Hal ini perlu diperhitungkan agar menghindari keadaan kritis yang dapat terjadi di lapangan. Angka faktor reduksi terhadap jenis tanah dan bahan disekitarnya ditampilkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Faktor reduksi terhadap jenis tanah dan beton, baja, geogrid

<i>Interaction</i>	$R_{inter}$
<i>Interaction sand/steel</i>	0.6-0.7
<i>Interaction clay/steel</i>	0.5
<i>Interaction sand/concrete</i>	1.0-0.8
<i>Interaction clay/concrete</i>	1.0-0.7
<i>Interaction soil/geogrid (grouted body)</i>	1.0

(Sumber: Brinkgreve dan Shen, 2011)

## 2. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian yang dilakukan ini, terdapat beberapa tahapan yaitu:

- Tahapan pertama, melakukan pengumpulan data-data dan parameter tanah, *diaphragm wall*, dan *slab* untuk proyek basement 7 lantai.
- Tahapan kedua, melakukan pengumpulan informasi yang berkaitan dengan penelitian yang berasal dari jurnal dan buku yang sudah ada.
- Tahapan ketiga, melakukan korelasi dan pendekatan dengan data-data atau parameter yang sudah ada dan dibutuhkan oleh program metode elemen hingga.
- Tahapan keempat, melakukan analisis untuk perhitungan deformasi dinding penahan tanah dengan parameter yang telah ditentukan dan menggunakan permodelan tanah mohr-coulumb.
- Tahapan kelima, menjabarkan mengenai hasil analisis yang didapatkan dan membandingkan dengan hasil yang telah ditetapkan dari SNI 8460:2017.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa yang dilakukan berdasarkan penelitian dengan menggunakan 2 titik bor yang berbeda yaitu BH-5 dan BH-7 serta dilakukan analisa saat muka air tanah banjir dengan MAT 0 dan saat muka air kemarau atau normal dengan MAT -3m. Sehingga data tanah yang dihasilkan untuk titik bor 5 dan 7 adalah sebagai berikut:

Tabel 7. Data tanah BH-5

Kedalaman	N-SPT	Jenis Tanah	C (kPa)	$\phi$ (°)	$\nu$	$\psi$	Es (kPa)	$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{unsat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	K (m/day)	$R_{inter}$
0-7,5	2	<i>Silty Clay</i>	12	21	0.45	0	2400	21	18	0.01	0.85
7,5-10,5	11	<i>Clayey Silt</i>	66	29	0.3	0	6875	16	10	0.1	0.85
10,5-13,5	49	<i>Clayey Silt</i>	294	46	0.3	0	30625	16	10	0.1	0.85
13,5-15	45	<i>Silty Sand</i>	270	45	0.35	0	15000	20	16	1	0.9
15-19,5	25	<i>Clayey Silt</i>	150	37	0.3	0	15625	16	10	0.1	0.85
19,5-21	24	<i>Sand</i>	144	36	0.35	0	9750	21	17	1	0.9
21-24	17	<i>Clayey Silt</i>	102	33	0.3	0	10625	16	10	0.1	0.85
24-37,5	19	<i>Silty Clay</i>	114	34	0.45	0	7500	21	18	0.01	0.85
37,5-42	40	<i>Clayey Silt</i>	240	43	0.3	0	25000	16	10	0.1	0.85
42-43,5	42	<i>Silty Sand</i>	252	43	0.35	0	14250	20	16	1	0.9
43,5-45	28	<i>Clayey Silt</i>	168	38	0.3	0	17500	16	10	0.1	0.85
45-48	25	<i>Silty Clay</i>	150	37	0.45	0	9300	21	18	0.01	0.85
48-51	22	<i>Clayey Silt</i>	132	35	0.3	0	13750	16	10	0.1	0.85
51-58,5	26	<i>Clayey Silt</i>	156	37	0.3	0	16250	16	10	0.1	0.85
58,5-70,5	35	<i>Clayey Silt</i>	210	41	0.3	0	21875	16	10	0.1	0.85

Tabel 8. Data tanah BH-7

Kedalaman	N-SPT	Jenis Tanah	C (kPa)	$\phi$ (°)	$\nu$	$\psi$	Es (kPa)	$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{unsat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	K (m/day)	R <sub>inter</sub>
0-4,5	4	Clayey Silt	24	23	0.3	0	3000	16	10	0.1	0.85
4,5-6	7	Silty Clay	42	26	0.45	0	4375	21	18	0.01	0.85
6-9	7	Clayey Silt	42	26	0.3	0	3900	16	10	0.1	0.85
9-14	47	Clayey Silt	282	45	0.3	0	15900	16	10	0.1	0.85
14-21	20	Clayey Silt	120	35	0.3	0	7800	16	10	0.1	0.85
21-28,5	19	Silty Clay	114	34	0.45	0	11875	21	18	0.01	0.85
28,5-36	18	Clayey Silt	108	33	0.3	0	7200	16	10	0.1	0.85
36-40,5	33	Clayey Silt	198	40	0.3	0	11700	16	10	0.1	0.85
40,5-42	39	Sandy Silt	234	42	0.3	0	13500	19	15	0.1	0.85
42-45	38	Silty Sand	228	42	0.35	0	13250	20	16	1	0.9
45-49,5	25	Clayey Silt	150	37	0.3	0	9300	16	10	0.1	0.85
49,5-58,5	26	Silty Clay	156	37	0.45	0	16250	21	18	0.01	0.85
58,5-70,5	37	Silty Clay	222	42	0.45	0	23125	21	18	0.01	0.85

Semua data parameter tanah dimasukkan ke program metode elemen hingga untuk mendapatkan deformasi dinding penahan tanah. Dilakukan sebanyak 4 kali untuk memasukan data kedalam program yaitu BH-5 dengan MAT 0, BH-5 dengan MAT -3m, BH-7 dengan MAT 0, dan BH-7 dengan MAT -3m.

Parameter dinding diafragma yang dilakukan untuk analisis ini dengan ketebalan 1 meter dan kuat beton 40 mpa, sedangkan parameter slab atau strut yang digunakan dengan kuat beton 35 mpa. Dibutukan data EA, EI, dan W agar dapat dimasukkan dalam program yang digunakan.

Tahapan yang dilakukan pada program metode elemen hingga adalah tahap *input* data, tahap kondisi awal, tahap kalkulasi, dan tahap *output*. Saat tahap *input* data, dilakukan dengan memasukan parameter tanah sesuai kedalaman masing-masing tanah dan memasukan parameter *diaphragm wall* serta *slab*. Saat tahap kondisi awal, dilakukan dengan memasukan muka air tanah yaitu sebesar rata diatas permukaan tanah dan 3 m dibawah permukaan tanah.

Saat tahap kalkulasi, dilakukan secara bertahap yaitu:

- Pemasangan *diaphragm wall*
- Melakukan *excavation* pada galian ke-1 sedalam 4 meter.
- Memasang *slab* pada lantai ke-1.
- Melakukan *excavation* pada galian ke-2 sedalam 4 meter dari galian ke-1.
- Memasang *slab* pada lantai ke-2.
- Melakukan *excavation* pada galian ke-3 sedalam 4 meter dari galian ke-2.
- Memasang *slab* pada lantai ke-3.
- Melakukan *excavation* pada galian ke-4 sedalam 4 meter dari galian ke-3.
- Memasang *slab* pada lantai ke-4.
- Melakukan *excavation* pada galian ke-5 sedalam 4 meter dari galian ke-4.
- Memasang *slab* pada lantai ke-5.
- Melakukan *excavation* pada galian ke-6 sedalam 4 meter dari galian ke-5.
- Memasang *slab* pada lantai ke-6.
- Melakukan *excavation* pada galian ke-7 sedalam 4 meter dari galian ke-6.
- Memasang *slab* pada lantai ke-7.

Saat tahap *output*, didapatkan hasil deformasi dinding penahan tanah berdasarkan perbedaan desain yang telah ditetapkan. Batas defleksi minimum dinding yang telah ditetapkan berdasarkan SNI 8460-2017 yaitu sebesar 0,5% H. Ketinggian *diaphragm wall* sebesar 39 m, sehingga defleksi batas yang didapatkan sebesar 195m.

Tabel 9. Deformasi *diaphragm wall* dengan MAT 0 (Banjir)

Jenis Bor	Deformasi (mm)
BH-5	235,86
BH-7	213,9

Tabel 10. Deformasi *diaphragm wall* dengan MAT -3m (Kemarau)

Jenis Bor	Deformasi (mm)
BH-5	209,60
BH-7	197,18

Faktor yang perlu diperhatikan dalam merancang galian dalam adalah stabilitas lokal dan global, stabilitas struktur perkuatan, stabilitas struktur (tegangan) dari konstruksi penahan sendiri, stabilitas terhadap pengangkatan tanah dasar / *basal heave failure*, stabilitas terhadap perubahan tekanan air tanah / *hydraulic failure*, gangguan gerakan tanah akibat galian (*ground movement*), gangguan akibat penurunan muka air tanah (*dewatering*), jarak pembebanan, dan kondisi eksisting dari lokasi yang akan dilakukan galian dalam. Faktor yang perlu diperhatikan pada konstruksi dinding penahan tanah adalah diperlukan analisa tekanan lateral, analisa tekanan uplift, dinding penahan tanah dapat berfungsi sebagai *cut-off wall*, dan analisa tekanan tanah statik dan dinamik.

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

##### Kesimpulan

Dari hasil analisis penelitian dengan penggunaan program metode elemen hingga untuk menghitung deformasi dinding penahan tanah didapatkan kesimpulan berupa:

1. Analisa defleksi dinding dipengaruhi oleh jenis tanah sekitar tempat konstruksi dinding penahan tanah dan muka air tanah lokasi lokasi sekitar.
2. Dinding penahan tanah yang digunakan berupa *diaphragm wall* yang biasa dipakai untuk konstruksi basement dengan kuat tekan beton 40 Mpa dan ketebalan 1 meter. *Strut* yang digunakan untuk pemasangan *slab* atau pelat lantai beton dengan kuat tekan beton 35 Mpa dan ketebalan 1 meter.
3. Defleksi pada dinding yang telah dianalisa pada jenis tanah dengan titik bor BH-5 mempunyai nilai yang lebih besar dibandingkan pada titik bor BH-7 karena sifat dan jenis tanahnya. Untuk MAT 0 pada titik bor BH-5 sebesar 235,86 mm dan titik bor BH-7 sebesar 213,9 mm. Untuk MAT -3m pada titik bor BH-5 sebesar 209,6 mm dan titik bor BH-7 sebesar 197,18 mm.
4. Nilai defleksi dinding dengan muka air tanah yang lebih tinggi (MAT 0) mempunyai nilai yang lebih besar dibandingkan dengan muka air yang lebih rendah (MAT -3 m), hal ini disebabkan karena adanya pengaruh tekanan air terhadap defleksi dinding. Untuk titik bor BH-5 pada MAT 0 sebesar 235,86 mm dan pada MAT -3m sebesar 209,6 mm. Untuk titik bor BH-7 pada MAT 0 sebesar 209,6 mm dan pada MAT -3m sebesar 197,18 mm.
5. Hasil analisa deformasi yang telah dilakukan melebihi batas dari defleksi ijin dinding yang telah diperhitungkan sebesar 195 mm. Hal ini dapat dikarenakan kurang tepatnya data yang dianalisis.
6. Dalam merencanakan galian dalam dan *basement*, perlu diperhatikan hal-hal yang harus dilakukan dan ketepatan dalam perhitungan agar tidak terjadi hal-hal yang tidak diinginkan, sehingga dapat merugikan perencanaan, owner, dan orang lain.

##### Saran

Berikut adalah saran yang diperlukan agar dapat melakukan analisa yang lebih baik dan lebih akurat yaitu untuk analisa dan perhitungan selanjutnya, diharapkan memiliki data laboratorium yang cukup dan pendekatan-pendekatan atau korelasi yang tepat, agar hasil yang didapatkan lebih akurat serta dapat dilakukannya analisa deformasi dinding penahan tanah dengan metode permodelan tanah lainnya yaitu seperti *hardening soil* yang memiliki ketepatan yang lebih akurat. Untuk melakukan permodelan *hardening soil* diperlukan lebih banyak data-data tanah untuk melakukan analisis dengan baik.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Badan Standardisasi Nasional. *SNI Geoteknik 8460:2017-Persyaratan Perancangan Geoteknik*, Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2017.
- Bouwer, Herman. *Groundwater Hydrology*. e-book, McGraw-Hill, 1978.
- Bowles, Joseph E. *Foundation Analysis and Design*. 5th ed, e-book, McGraw-Hill, 1997.
- Brinkgreve, Ronald B.J, et.al. *Numerical Methods in Geotechnical Engineering*. 1st ed, e-book, CRC Press, 2014.
- Das, Braja. *Principles of Foundation Engineering*. 7th ed, e-book, Global Engineering, 2011.
- Hillel, D. *Soil and Water, Physical Principles and Processes*. Academic Press, 1971.
- Wan, J.W., et.al. "Reassessing Darcy's Law on Water in Porous Media". *Journal of China University of Geoscience*, vol. 36, no. 6, 2013, doi: 10.3799/dqkx.2013.130.

