

Analisis Stabilitas Dinding *Ground Water Tank* Dengan Metode Elemen Hingga Pada Proyek Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum Semarang

Ammar Fathur Roziqin¹, Aryo Bimo Saputro², Abdul Rochim³

^{1,2,3} Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung

Email: aryobimosaputro70@gmail.com

Article Info

Article history:

Received April 15, 2026

Revised April 23, 2026

Accepted Mei 10, 2026

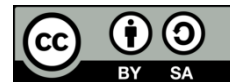
Keywords:

Stabilitas, Dinding, *Ground Water Tank*

ABSTRACT

Rumah susun merupakan bangunan bertingkat yang dibangun dalam suatu kawasan tertentu dan terdiri atas unit-unit yang ditata secara fungsional baik secara horizontal maupun vertikal. Salah satu elemen penting dalam rumah susun ini adalah *ground water tank*, yang merupakan struktur bawah tanah yang berperan sebagai tempat penyimpanan air. Penelitian ini bertujuan untuk menghitung pembebanan struktur atas, menganalisis kondisi tanah, serta menentukan nilai *safety factor*, momen, dan gaya geser pada dinding. Lokasi penelitian ini berada di Muktiharjo Kidul, Kota Semarang. Metode penelitian menggunakan *software* struktur guna mendapatkan hasil pembebanan struktur atas dan korelasi nilai N-SPT untuk mendapatkan parameter data tanah yang akan dimodelkan pada *software* geoteknik untuk analisis stabilitas, serta menghitung kebutuhan tulangan pada dinding. Pada hasil analisis *software* geoteknik dinding *ground water tank* didapatkan nilai *Safety Factor* (SF) untuk keseluruhan konstruksi sebesar $1,984 > 1,5$. Untuk *Momen Ultimate* (M_u) pada dinding = 349,1 kN.m dan *Shear Force* pada dinding (V_u) = 639,7 kN/m. Perancangan penulangan dinding *ground water tank* dengan tebal dinding 0,5 m diperoleh tulangan vertikal D22-150 mm, tulangan horizontal D16-200 mm serta tulangan geser dengan ukuran (D16).

This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.



Article Info

Article history:

Received April 15, 2026

Revised April 23, 2026

Accepted Mei 10, 2026

Keywords:

Stability, Wall, *Ground Water Tank*

ABSTRACT

An apartment building is a multi-story structure constructed within a specific area and consists of units arranged functionally, both horizontally and vertically. One of the important elements in this apartment building is the ground water tank, which is an underground structure that functions as a water storage facility. This study aims to calculate the superstructure loading, analyze the soil conditions, and determine the safety factor, bending moment, and shear force on the wall. The research location is in Muktiharjo Kidul, Semarang City. The research method utilizes structural analysis software to obtain structural loading results and correlates N-SPT values to determine soil parameter data, which are then modeled in geotechnical software for stability analysis, as well as to calculate the required wall reinforcement. Based on the results of the geotechnical software analysis, the ground water tank wall obtained a Safety Factor (SF) value of $1.984 > 1.5$ for the overall structure. The Ultimate Moment (M_u) in the wall is $349.1 \text{ kN}\cdot\text{m}$ and the Shear Force (V_u) in the wall is 639.7 kN/m . The reinforcement design for the 0.5 m thick ground water tank wall consists of vertical reinforcement D22-150 mm, horizontal reinforcement D16-200 mm, and shear reinforcement of D16.

This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.



Corresponding Author:

Aryo Bimo Saputro
Universitas Islam Sultan Agung
Email: aryobimosaputro70@gmail.com

PENDAHULUAN

Tulis Rumah susun merupakan bangunan bertingkat yang dibangun dalam suatu kawasan tertentu dan terdiri atas unit-unit yang ditata secara fungsional baik secara horizontal maupun vertikal. Setiap unit berfungsi sebagai satu kesatuan yang dapat dimiliki dan dimanfaatkan secara mandiri, terutama sebagai tempat tinggal, serta dilengkapi dengan bagian bersama, benda bersama, dan tanah bersama sebagai elemen pendukungnya (Sihombing, 2021). Politeknik Pekerjaan Umum (PU) Semarang, sebagai institusi pendidikan tinggi yang fokus pada bidang konstruksi dan infrastruktur, memiliki rumah susun yang dirancang untuk mendukung kegiatan akademik dan hunian mahasiswa. Salah satu elemen penting dalam rumah susun ini adalah *ground water tank*, *ground water tank* merupakan struktur di bawah tanah yang berperan sebagai tempat penyimpanan air sementara serta pengatur keseimbangan antara laju produksi air dan laju penggunaan air sebelum didistribusikan ke *roof tank* dan konsumen (Prasetya et al., 2025).

Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum memiliki struktur bangunan dengan 9 lantai di atas permukaan tanah serta *ground water tank* dengan elevasi -4,00 meter yang difungsikan sebagai tempat penyimpanan air bersih. Kondisi tanah di lokasi proyek merupakan tanah lunak sampai dengan kedalaman 20 meter.

Ground water tank termasuk dalam kategori struktur bawah tanah yang bekerja seperti *rigid tank structure*, sehingga desainnya memerlukan perhatian khusus terhadap berbagai kondisi kritis seperti tekanan lateral tanah, *uplift pressure*, dan gaya-gaya internal pada dinding serta pelat dasar, analisis stabilitas ini menjadi prioritas untuk memastikan keamanan struktur bangunan.

Kegagalan struktur *ground water tank* dapat menyebabkan kebocoran, retak pada dinding, hingga keruntuhan lokal yang berpotensi mengganggu operasional bangunan secara keseluruhan. Oleh karena itu, Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method*) adalah pendekatan numerik yang efektif untuk menganalisis struktur kompleks seperti *ground water tank*. FEM dapat menganalisis pemodelan detail terhadap interaksi antara elemen struktur dengan memecah model menjadi elemen-elemen kecil

METODE PENELITIAN

Tujuan pada tugas akhir ini adalah menganalisis stabilitas pada dinding *ground water tank* pada proyek Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum Semarang. Analisis pemodelan dinding *ground water tank* berjenis *diaphragm wall* dengan menentukan *safety factor*,

momen dan geser menggunakan metode elemen hingga serta menghitung kebutuhan tulangan yang diperlukan.

Lokasi penelitian berada di Muktiharjo Kidul, Kota Semarang, Provinsi Jawa Tengah pada proyek Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum Semarang. Ilustrasi mengenai letak area penelitian disajikan pada gambar berikut.

HASIL PEMBAHASAN

1.1. Perhitungan Pembebanan Struktur Atas

Perhitungan beban pada struktur atas (*superstructure*) dilakukan dengan menggunakan *software* struktur untuk memperoleh beban maksimum yang akan diteruskan ke dinding penahan tanah dan sistem pondasi yang direncanakan. Perencanaan struktur bangunan gedung mengacu pada ketentuan SNI 1726:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung, sedangkan pembebanan gempa mengacu pada SNI 1726:2019 mengenai Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung. Adapun penentuan beban mati didasarkan pada ketentuan yang tercantum dalam PPIUG 1987.

1.1.1 Dimensi Penampang Struktur

Dimensi penampang struktur bangunan direncanakan dengan menggunakan acuan SNI 2847:2019 mengenai Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan SNI 1726:2019 mengenai Tata Cara Perencanaan Tahan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung.

1. Dimensi Balok

Tabel 4.1 Dimensi Balok

No.	Nama Balok	Lebar (mm)	Tinggi (mm)
1.	B23A	250	300
2.	B24	200	400
3.	B24A	300	400
4.	B25	200	500
5.	B25A	250	500
6.	B26A	250	600
7.	B33	300	300
8.	B35	300	500
9.	B35X	300	500
10.	B36	300	600
11.	B44	400	400
12.	B45	400	500
13.	B45X	400	500
14.	B46	400	600
15.	B47	400	700
16.	B56	500	600
17.	BK.33	300	300
18.	BK.35X	300	500
19.	BK.56	500	600

2. Dimensi Penampang Kolom

Tabel 4.2 Dimensi Kolom

No.	Nama Kolom	Lebar (mm)	Panjang (mm)
1.	K55A	500	500
2.	K55B	500	500
3.	K55C	500	500
4.	K33	300	300
5.	K33A	300	300
6.	K44	400	400

3. Dimensi Pelat Lantai

Tabel 4.3 Dimensi Pelat

No.	Nama Pelat	Tebal Plat (mm)
1.	S1	500
2.	S2	500

1.1.2 Mutu Material Bangunan

Mutu material yang digunakan untuk menganalisis pembebanan struktur atas sebagai berikut:

1. Mutu Material Beton

Mutu material beton yang digunakan adalah $f'c = 35$ Mpa

2. Mutu Material Baja Tulangan

Mutu material baja yang digunakan sebagai berikut:

Tabel 4.4 Mutu Baja Tulangan

No.	Tulangan	f_y (Mpa)	f_u (Mpa)	f_{ye} (Mpa)	f_{ue} (Mpa)
1.	Ulir ($D \geq 10mm$)	420	525	462	577,5
2.	Polos ($\emptyset \geq 10mm$)	280	350	308	385

1.1.3 Beban Mati Tambahan pada Pelat Lantai

Tabel 4.5 Beban Mati Tambahan Pelat Lantai

No.	Beban Mati	Berat Jenis (kN/m^3)	Berat Merata (kN/m^2)
1.	Spesi tebal 2 cm	21	0,42
2.	Keramik tebal 1 cm	24	0,24
3.	Plafond dan Penggantung		0,18
4.	Dinding Hebel		2,00
5.	Plumbing dan ME		0,3
Total			3,14

1.1.4 Beban Mati Tambahan Pada Atap

Tabel 4.6 Beban Mati Tambahan Pelat Atap

No.	Beban Mati	Berat Merata (kN/m ²)
1.	Plafond dan Penggantung	0,2
2.	Plumbing dan ME	0,3
Total		0,5

1.1.5 Beban Hidup

Beban hidup didefinisikan sebagai beban yang bersifat tidak tetap dan dapat berubah seiring waktu. Beban ini timbul akibat aktivitas serta keberadaan penghuni di dalam suatu bangunan. Besarnya beban hidup dipengaruhi oleh lokasi dan fungsi bangunan yang bersangkutan. Seluruh komponen bangunan yang tidak bersifat permanen atau tidak terikat secara struktural, sehingga memungkinkan untuk dipindahkan, diklasifikasikan sebagai beban hidup. Pada bangunan gedung dengan fungsi Rumah Susun atau apartemen, nilai beban hidup ditetapkan sebesar 1,92 kN/m² sesuai dengan ketentuan SNI 1727:2020 tentang Pembebanan.

1.1.6 Beban Gempa

Beban gempa rencana yang digunakan dalam analisis pada bangunan ini ditentukan menggunakan metode analisis respons spektrum. Mengacu pada ketentuan dalam SNI 1726:2019, terdapat beberapa parameter yang harus ditetapkan sebelum pelaksanaan analisis respons spektrum gempa.

1. Parameter Respon Spektra

Parameter yang harus ditetapkan sebelum pelaksanaan analisis respons spektrum gempa. Data parameter gempa diperoleh dari Program Desain Spektra Indonesia yang disediakan oleh Kementerian PUPR (rsa.ciptakarya.pu.go.id). Parameter tersebut meliputi nilai percepatan spektral pada periode pendek (S_s) dan percepatan spektral pada periode 1 detik (S_1). Nilai parameter respon spektra dapat dilihat pada tabel 4.7 di bawah ini.

Tabel 4.7 Data Parameter Respon Spektra

Variabel	Nilai
F_{PGA}	0,3351
S_s (g)	0,7666
S_1 (g)	0,3399
TL (detik)	20

2. Menentukan Kategori Risiko (I) dan Faktor Keutamaan (I_e)

Mengacu pada Pasal 4.1.2 SNI 1726:2019, bangunan gedung Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum Semarang diklasifikasikan ke dalam kategori risiko II dengan faktor keutamaan gempa (I_e) sebesar 1.

3. Menentukan Kelas Situs Tanah

Dalam menentukan desain seismik suatu bangunan, diperlukan penetapan kelas situs tanah sesuai dengan ketentuan Pasal 5.3 SNI 1726:2019. Penentuan kelas situs SC, SD, dan SE dilakukan berdasarkan perhitungan nilai rata-rata N-SPT tanah

hingga kedalaman 50 m di bawah permukaan tanah. Data tersebut diperoleh dari hasil pengujian SPT pada proyek Pembangunan Rumah Susun Politeknik PU Semarang yang dilaksanakan pada dua titik penyelidikan, yaitu DB-3.

Tabel 4.8 Menentukan Kelas Situs

No.	Kedalaman (m)	N-SPT	Tebal Lapisan (m)	Σdi (m)	$di/N-SPT$	$\Sigma(di/N - SPT)$	N'
1	0	0	0	50	0	14,42	3,47
2	1	2	1		0,50		
3	2	4	1		0,25		
4	4	10	2		0,20		
5	6	8	2		0,25		
6	8	1	2		2,00		
7	10	1	2		2,00		
8	12	1	2		2,00		
9	14	1	2		2,00		
10	16	1	2		2,00		
11	18	2	2		1,00		
12	20	4	2		0,50		
13	22	5	2		0,40		
14	24	10	2		0,20		
15	26	12	2		0,17		
16	28	16	2		0,13		
17	30	15	2		0,13		
18	32	20	2		0,10		
19	34	25	2		0,08		
20	36	31	2		0,06		
21	38	24	2		0,08		
22	40	27	2		0,07		
23	42	27	2		0,07		
24	44	34	2		0,06		
25	46	38	2		0,05		
26	48	42	2		0,05		
27	50	35	2		0,06		

Berdasarkan hasil perhitungan diatas didapatkan nilai tanah penetrasi standar lapangan rata-rata N-SPT rata-rata' = 3,47. Mengacu pada tabel pasal 5.3 SNI 1726:2019 klasifikasi situs, maka lokasi tanah tersebut dikategorikan sebagai tanah lunak (SE).

4. Menentukan koefisien situs Fa dan Fv

Dalam penentuan koefisien situs berdasarkan ketentuan Pasal 6.2 SNI 1726:2019, terdapat beberapa parameter yang harus ditetapkan, antara lain nilai percepatan spektral periode pendek (Ss) sebesar 0,7666 dan percepatan spektral periode 1 detik (S1) sebesar 0,3399, serta faktor amplifikasi getaran yang berkaitan dengan percepatan pada periode pendek (Fa) dan periode 1 detik (Fv). Nilai Fa dan Fv

diperoleh melalui metode interpolasi linier dengan mengacu pada tabel koefisien situs, menggunakan persamaan interpolasi sebagai berikut:

$$\frac{(x-x_1)}{(x_2-x_1)} = \frac{(y-y_1)}{(y_2-y_1)}$$

- Mencari nilai F_a

$$S_s = 0,7666$$

$$\frac{(0,7666-0,75)}{(1-0,75)} = \frac{(F_a-1,3)}{(1,1-1,3)}$$

$$F_a = 1,2867$$

- Mencari nilai F_v

$$S_1 = 0,3399$$

$$\frac{(0,3399-0,3)}{(0,4-0,3)} = \frac{(F_v-2,8)}{(2,4-2,8)}$$

$$F_v = 2,6404$$

$$S_{MS} = F_a \times S_s = 1,2867 \times 0,7666 = 0,9864$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 = 2,6404 \times 0,3399 = 0,8975$$

5. Menentukan percepatan spektral desain

Mengacu pada SNI 1726:2019 pasal 6.3 percepatan spektral desain terdiri dari S_{DS} dan S_{D1} yang dihitung dengan rumus berikut.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} = \frac{2}{3} 0,9864 = 0,6576$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} = \frac{2}{3} 0,8975 = 0,5983$$

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, di dapatkan bahwa bangunan struktur gedung Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum Semarang diklasifikasikan dalam kategori II yang mempunyai nilai $S_{DS} \geq 0,50$ dan nilai $S_{D1} \geq 0,20$ sehingga termasuk kategori desain seismik D sesuai dengan SNI 1726:2019 pasal 6.5 tentang kategori desain seismik.

6. Parameter R , Ω , C_d SRPMK

Dalam perencanaan sistem penahan gaya lateral gempa dan gaya vertikal dasar pada konstruksi bangunan, diterapkan sistem penahan gaya seismik berupa Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Berdasarkan ketentuan Standar Nasional Indonesia SNI 1726:2019, khususnya Tabel 12, diperoleh nilai koefisien modifikasi respons (R) = 7, (Ω_0) = 2,5, dan C_d = 5,5.

7. Menentukan periode desain

Periode getar alami fundamental struktur merupakan waktu yang diperlukan oleh suatu struktur untuk menyelesaikan satu siklus getaran penuh, yang besarnya dipengaruhi oleh karakteristik kekakuan dan massa struktur. Nilai periode getar ini selanjutnya digunakan sebagai parameter dasar dalam penentuan beban gempa rencana pada perencanaan struktur.

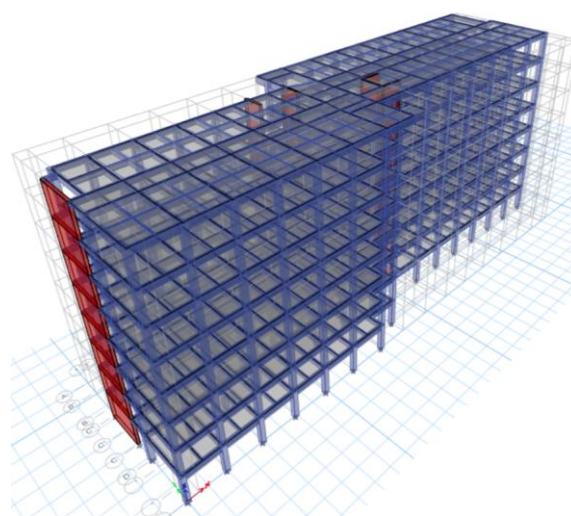
Tabel 4.9 Periode C_t dan x

Tipe Struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 % gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan		

komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik:		
• Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
• Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

1.1.7 Pemodelan Struktur Bangunan

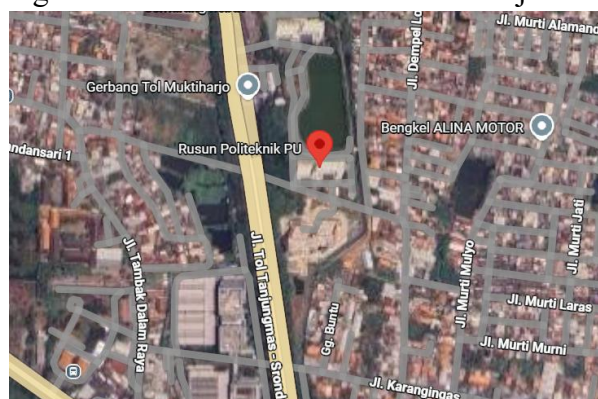
Pada pemodelan struktur atas bangunan Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum Semarang digunakan *software* struktur dengan model sebagai berikut:



Gambar 4.1 Pemodelan Stuktur Atas

1.2 Analisis Data Tanah

Data tanah yang digunakan dalam penelitian ini merupakan hasil penyelidikan tanah pada Lokasi proyek Pembangunan Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum Semarang.



Gambar 4.2 Lokasi Proyek

Berdasarkan hasil penyelidikan tanah pada Lokasi proyek nilai N-SPT dapat dilihat hasilnya pada Tabel 4.10

Tabel 4.10 Nilai N-SPT

No.	Kedalaman (m)	N-SPT	Jenis Tanah
1	0	0	-
2	1	2	<i>Very soft organic clay</i>
3	2	4	<i>Soft clay mix fine sand</i>
4	4	10	<i>Loose fine sand mix clamshell</i>
5	6	8	<i>Loose fine sand mix clamshell</i>
6	8	1	<i>Very soft clay mix clamshell</i>
7	10	1	<i>Very soft clay mix clamshell</i>
8	12	1	<i>Very soft clay mix clamshell</i>
9	14	1	<i>Very soft clay mix clamshell</i>
10	16	1	<i>Very soft clay mix clamshell</i>
11	18	2	<i>Very soft clay mix clamshell</i>
12	20	4	<i>Soft clay mix fine sand</i>
13	22	5	<i>Medium to stiff clay</i>
14	24	10	<i>Medium to stiff clay</i>
15	26	12	<i>Medium to stiff clay</i>
16	28	16	<i>Stiff to very stiff silty clay</i>
17	30	15	<i>Stiff to very stiff silty clay</i>
18	32	20	<i>Stiff to very stiff silty clay</i>
19	34	25	<i>Stiff to very stiff silty clay</i>
20	36	31	<i>Hard Clay</i>
21	38	24	<i>Very stiff clay</i>
22	40	27	<i>Very stiff silty clay</i>
23	42	27	<i>Very stiff silty clay</i>
24	44	34	<i>Very stiff silty clay</i>
25	46	38	<i>Very stiff silty clay</i>
26	48	42	<i>Dense clayey sand</i>
27	50	35	<i>Hard silty clay</i>

1.2.1 Koreksi Nilai N-SPT

Berdasarkan hasil penyelidikan tanah yang disajikan pada Tabel 4.10, dapat diketahui bahwa jenis tanah di Lokasi proyek umumnya didominasi oleh tanah lempung dan lanau. Untuk tanah berjenis lempung, lanau, dan pasir kasar dengan nilai N-SPT < 15 tidak diperlukan koreksi karena dianggap $N_1=N-SPT$. Jika N-SPT > 15 tidak dilakukan koreksi tambahan baik untuk tekanan *overburden* tanah maupun muka air tanah.. Kesimpulan dari hasil analisis tersebut selanjutnya dirangkum dan disajikan pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Koreksi Nilai N-SPT

Lapisan	Kedalaman	Nilai N-SPT Rata – Rata	Konsistensi
1	0-20	1,57	<i>Very Soft</i>
2	20-26	7,83	<i>Medium</i>
3	26-50	25,25	<i>Very Stiff</i>

1.2.2 Koreksi Data Parameter Tanah

Apabila data hasil pengujian laboratorium tidak mencukupi untuk keperluan perencanaan, maka digunakan pendekatan korelasi guna memperoleh parameter tanah yang dibutuhkan. Pendekatan ini dilakukan dengan mengkorelasikan data tanah yang tersedia terhadap tabel korelasi yang bersumber dari hasil perencanaan sebelumnya maupun penelitian para ahli. Hasil analisis parameter tanah tersebut disajikan dalam Tabel 4.17 sebagai dasar penentuan parameter tanah yang digunakan dalam perencanaan.

1.2.2.1 Menentukan Nilai γ_{sat} , γ_{dry} dan γ_{unsat} Tanah

Penentuan nilai γ_{sat} pada setiap lapisan tanah dilakukan dengan mengkorelasikan nilai N-SPT terhadap Tabel 4.11. Selanjutnya, nilai γ_{dry} ditentukan dengan menghubungkan nilai γ_{sat} yang telah diperoleh dengan Tabel 4.12. Adapun nilai γ_{unsat} ditetapkan sebagai nilai rata-rata antara γ_{sat} dan γ_{dry} .

Tabel 4.12 Korelasi Nilai N-SPT terhadap γ dan q_u

<i>Cohesionless Soil/Sol Pulvirulent</i>					
N (blows)	0 – 3	4 – 10	11 – 30	31 – 50	> 50
γ_{sat} (kN/m ³)	-	12 – 16	14 – 18	16 – 20	18 – 23
ϕ (°)	-	25 – 32	28 – 36	30 – 40	> 35
State	<i>Very Loose</i>	<i>Loose</i>	<i>Medium</i>	<i>Dense</i>	<i>Very Dense</i>
Dr (%)	0 – 15	15 – 35	35 – 65	65 – 85	85 – 100
<i>Cohesive Soil/Sol Cohirent</i>					
N (blows)	< 4	4 – 6	6 – 15	16 – 25	> 25
γ_{sat} (kN/m ³)	14 – 18	16 – 18	16 – 18	16 – 20	> 20
q_u (kPa)	< 25	20 – 50	30 – 60	40 – 200	> 100
Consistency	<i>Very Soft</i>	<i>Soft</i>	<i>Medium</i>	<i>Stiff</i>	<i>Hard</i>

(Sumber: Bowles J.E., 1984)

Tabel 4.13 Korelasi Antara γ_{sat} dan γ_{dry}

karakteristik tanah	γ_d		e	n	W _{sat}	γ_{sat}
	g/cm ³	lb.cb.ft				
	0,5	31,25	4,4	0,8	163	1,31
	0,6	37,50	3,5	0,78	129,6	1,38
	0,7	43,75	2,86	0,74	105,8	1,44
	0,8	50,00	2,38	0,7	88,0	1,5
	0,9	56,25	2	0,67	74,1	1,57
	1,0	62,50	1,7	0,63	63	1,63
	1,1	68,75	1,45	0,59	53,9	1,69
	1,2	75,00	1,25	0,56	46,3	1,76
	1,3	81,25	1,08	0,52	39,9	1,82
	1,4	87,50	0,93	0,48	34,4	1,88

(Sumber: Bowles J.E., 1984)

- Lapisan 1 (kedalaman 0 – 20 m)

Lapisan satu merupakan *cohesive soil* berjenis lempung dan memiliki N rata – rata = 1,57. Maka dengan menggunakan interpolasi didapatkan hasil sebagai berikut:

$$\gamma_{\text{sat}} = 14 + \frac{1,57}{4-0} (18 - 14) = 15,6 \text{ kN/m}^3 = 1,59 \text{ g/cm}^3$$

$$\gamma_{\text{dry}} = 0,9 + \frac{1,59 - 1,57}{1,63 - 1,57} \times (1,0 - 0,9) = 0,93 \text{ g/cm}^3 = 9,13 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_{\text{unsat}} = \frac{15,6 - 9,13}{2} = 12,4 \text{ kN/m}^3$$

- Lapisan 2 (kedalaman 20 – 26 m)

Lapisan dua merupakan *cohesive soil* berjenis lempung lanau dan memiliki N rata – rata = 7,83. Maka dengan menggunakan interpolasi didapatkan hasil sebagai berikut:

$$\gamma_{\text{sat}} = 16 + \frac{7,83 - 6}{15 - 6} (18 - 16) = 16,41 \text{ kN/m}^3 = 1,67 \text{ g/cm}^3$$

$$\gamma_{\text{dry}} = 1,0 + \frac{1,67 - 1,63}{1,69 - 1,63} \times (1,1 - 1,0) = 1,067 \text{ g/cm}^3 = 10,5 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_{\text{unsat}} = \frac{16,41 - 10,5}{2} = 13,45 \text{ kN/m}^3$$

- Lapisan 3 (kedalaman 26 – 50 m)

Lapisan tiga merupakan *cohesive soil* berjenis lempung lanau dan memiliki N rata – rata = 7,83. Maka dengan menggunakan interpolasi didapatkan hasil sebagai berikut:

$$\gamma_{\text{sat}} = 20 + \frac{25,25 - 25}{30 - 25} (22 - 20) = 20,10 \text{ kN/m}^3 = 2,05 \text{ g/cm}^3$$

$$\gamma_{\text{dry}} = \Delta\gamma_{\text{sat}} = 1,88 - 1,82 = 0,06$$

$$\Delta\gamma_{\text{dry}} = 1,4 - 1,3 = 0,1$$

Selisih dari γ_{sat} 2,05 g/cm³ nilai 1,88

$$2,05 - 1,88 = 0,17$$

$$\gamma_{\text{dry}} = 1,4 + \frac{0,17}{0,06} \times 0,1 = 1,68 \text{ g/cm}^3 = 16,51 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_{\text{unsat}} = \frac{20,10 - 16,51}{2} = 18,31 \text{ kN/m}^3$$

1.2.2.2 Menentukan Nilai C' dan Cu dari Korelasi Nilai N-SPT

Penentuan nilai *Undrained Shear Strength* (Cu) dan *Effective Shear Strength* (C') dilakukan berdasarkan korelasi antara nilai N-SPT dengan ketentuan yang tercantum pada Tabel 4.14.

Tabel 4.14 Korelasi Nilai N-SPT terhadap Kohesi (Cu)

Konsistensi Tanah	Taksiran harga kekuatan geser undrained, Cu		Taksiran harga SPT, harga N	Taksiran harga tahanan conus, qc (dari Sondir)	
	kPa	ton/m ²		kg/cm ²	kPa
Sangat lunak	0–12,5	0–1,25	0–2,5	0-10	0-1000
Lunak	12,5 – 25	1,25 – 2,5	2,5 – 5	10-20	1000-2000
Menengah	25 – 50	2,5 – 5	5 – 10	20-40	2000-4000
Kaku	50 – 100	5,0 – 10	10 – 20	40-75	4000-7500

Sangat kaku	100 – 200	10 – 20	20 – 40	75 – 150	7500-15000
Keras	>200	>20	> 40	> 150	> 15000

(Sumber: Mochtar, 2012)

- Lapisan 1 (kedalaman 0 – 20 m)

Lapisan satu berjenis lempung dengan konsistensi sangat lunak (*very soft*) dan memiliki N rata – rata = 1,57. Maka dengan menggunakan interpolasi didapatkan hasil sebagai berikut:

$$C_u = 0 + \frac{1,57 - 0}{2,5 - 0} (12,5 - 0) = 7,85 \text{ kN/m}^2$$

$$C' = \frac{2}{3} \times C_u = 5,23 \text{ kN/m}^2$$

- Lapisan 2 (kedalaman 20 – 26 m)

Lapisan dua berjenis lempung lanau dengan konsistensi menengah (*medium*) dan memiliki N rata – rata = 7,83. Maka dengan menggunakan interpolasi didapatkan hasil sebagai berikut:

$$C_u = 25 + \frac{7,83 - 5}{10 - 5} (50 - 25) = 39,15 \text{ kN/m}^2$$

$$C' = \frac{2}{3} \times C_u = 26,1 \text{ kN/m}^2$$

- Lapisan 3 (kedalaman 26 – 50 m)

Lapisan tiga berjenis lempung lanau dengan konsistensi sangat keras (*very stiff*) dan memiliki N rata – rata = 25,25. Maka dengan menggunakan interpolasi didapatkan hasil sebagai berikut:

$$C_u = 100 + \frac{25,25 - 20}{40 - 20} (200 - 100) = 126,25 \text{ kN/m}^2$$

$$C' = \frac{2}{3} \times C_u = 84,17 \text{ kN/m}^2$$

1.2.2.3 Menentukan Nilai Sudut Geser Dalam Dari Korelasi Nilai C'

Penentuan nilai Sudut Geser Dalam (ϕ) dilakukan berdasarkan korelasi antara nilai Effective Shear Strength (C') dengan ketentuan yang tercantum pada Tabel 4.15.

Tabel 4.15 Korelasi Nilai C' Terhadap Sudut Geser Dalam

Type	Soil Description	Effective Cohesion (kPa)	Friction Angle (degrees)
Cohesive	Soft – organic	5 – 10	10 – 20
	Soft – non organic	10 – 20	15 – 25
	Stiff	20 – 50	20 – 30
	Hard	50 – 100	25 – 30

(Sumber: Look, 2007)

- Lapisan 1 (kedalaman 0 – 20 m)

Lapisan satu berjenis lempung dengan konsistensi sangat lunak (*very soft*) dan memiliki nilai $C' = 5,23 \text{ kN/m}^2$. Maka dengan menggunakan interpolasi didapatkan hasil sebagai berikut:

$$\phi = 10 + \frac{5,23 - 5}{10 - 5} (20 - 10) = 10,46^\circ$$

- Lapisan 2 (kedalaman 20 – 26 m)

Lapisan dua berjenis lempung lanau dengan konsistensi menengah (*medium*) dan memiliki nilai $C' = 26,1 \text{ kN/m}^2$. Maka dengan menggunakan interpolasi didapatkan hasil sebagai berikut:

$$\phi = 20 + \frac{26,1 - 20}{50 - 20} (30 - 20) = 22,03^\circ$$

- Lapisan 3 (kedalaman 26 – 50 m)

Lapisan tiga berjenis lempung lanau dengan konsistensi sangat keras (*very stiff*) dan memiliki nilai $C' = 84,17 \text{ kN/m}^3$. Maka dengan menggunakan interpolasi didapatkan hasil sebagai berikut:

$$\phi = 25 + \frac{84,17 - 50}{100 - 50} (30 - 25) = 28,42^\circ$$

1.2.2.4 Menentukan Nilai Modulus Elastisitas dan *Poisson's Ratio*

Tabel 4.16 Korelasi Tipe Tanah terhadap Modulus Elastisitas dan *Poisson's Ratio*

<i>Modulus of elasticity, E_s</i>			
<i>Type of soil</i>	MN/m ²	lb/in ²	<i>Poisson's Ratio, μ_s</i>
<i>Loose sand</i>	10,5-24,0	1500-3500	0,20-0,40
<i>Medium dense sand</i>	17,25-27,60	2500-4000	0,25-0,40
<i>Dense sand</i>	34,50-55,20	5000-8000	0,30-0,45
<i>Silty sand</i>	10,35-17,25	1500-2500	0,20-0,40
<i>Sand and gravel</i>	69,00-172,50	10000-25000	0,15-0,35
<i>Soft clay</i>	4,1-20,7	600-3000	
<i>Medium clay</i>	20,7-41,4	3000-6000	0,20-0,50
<i>Stiff clay</i>	41,4-96,6	6000-14000	

(Sumber: *Braja M Das*)

- Lapisan 1 (kedalaman 0 – 20 m)

Lapisan satu berjenis lempung dengan konsistensi sangat lunak (*very soft*) dan memiliki nilai N rata – rata = 1,57 maka dapat diperoleh:

$$E_s = 14520 \text{ kN/m}^2.$$

$$\mu = 0,2$$

- Lapisan 2 (kedalaman 20 – 26 m)

Lapisan dua berjenis lempung lanau dengan konsistensi menengah (*medium*) dan memiliki nilai N rata – rata = 7,83 maka dapat diperoleh:

$$E_s = 32420 \text{ kN/m}^2.$$

$$\mu = 0,2$$

- Lapisan 3 (kedalaman 26 – 30 m)

Lapisan tiga berjenis lempung lanau dengan konsistensi sangat keras (*very stiff*) dan memiliki nilai N rata – rata = 25,25 maka dapat diperoleh:

$$E_s = 55930 \text{ kN/m}^2.$$

$$\mu = 0,2$$

Maka dari perhitungan koreksi parameter data tanah diatas dapat disimpulkan dalam Tabel 4.17. Parameter data tanah tersebut akan digunakan dalam pemodelan pada *software* geoteknik untuk menganalisis dinding *Ground Water Tank*.

Tabel 4.17 Kesimpulan Parameter Data Tanah

Lapisan	Tipe Tanah	Konsistensi	Kedalaman (m)	N-SPT Rata-Rata	γ_{sat} (kN/m ³)	γ_{unsat} (kN/m ³)	Cu (kN/m ²)	C' (kN/m ²)	ϕ (°)	Es (MN/m ²)	μ
1	Clay	Very Soft	0 – 20	1,57	15,6	12,4	7,85	5,23	10,46	14,52	0,2
2	Silty Clay	Medium	20 – 26	7,83	16,41	13,45	39,15	26,1	22,03	32,42	0,2
3	Silty Clay	Very Stiff	26 – 50	25,25	20,10	18,31	126,25	84,17	28,42	55,93	0,2

1.3 Analisis Stabilitas Dinding Pada Software Geoteknik

Analisis stabilitas dinding *ground water tank* dilakukan untuk menentukan apakah struktur dinding penahan tanah memenuhi persyaratan yang berlaku. Dalam perencanaan ini, program bantu *software* geoteknik digunakan untuk melakukan analisis stabilitas dinding.

1.3.1 Parameter Data Tanah

Tabel 4.17 merupakan data tanah yang digunakan untuk perencanaan analisis stabilitas dinding *ground water tank*.

1.3.2 Dinding *Ground Water Tank* (*Diaphragm Wall*)

Data parameter dinding *ground water tank* yang digunakan dalam perencanaan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Tebal dinding} &= 0,5 \text{ m} \\ \text{Mutu beton } (f'c) &= 35 \text{ MPa} \\ \text{Mutu baja } (f'y) &= 420 \text{ MPa} \\ \text{Moudulus Elastisitas Beton } (E) &= 4700\sqrt{f'c'} \\ &= 4700\sqrt{35} \\ &= 27805 \text{ MPa} \\ &= 27.805.574,98 \text{ kN/m}^2 \\ \text{Luas Penampang } (A) &= 0,5 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

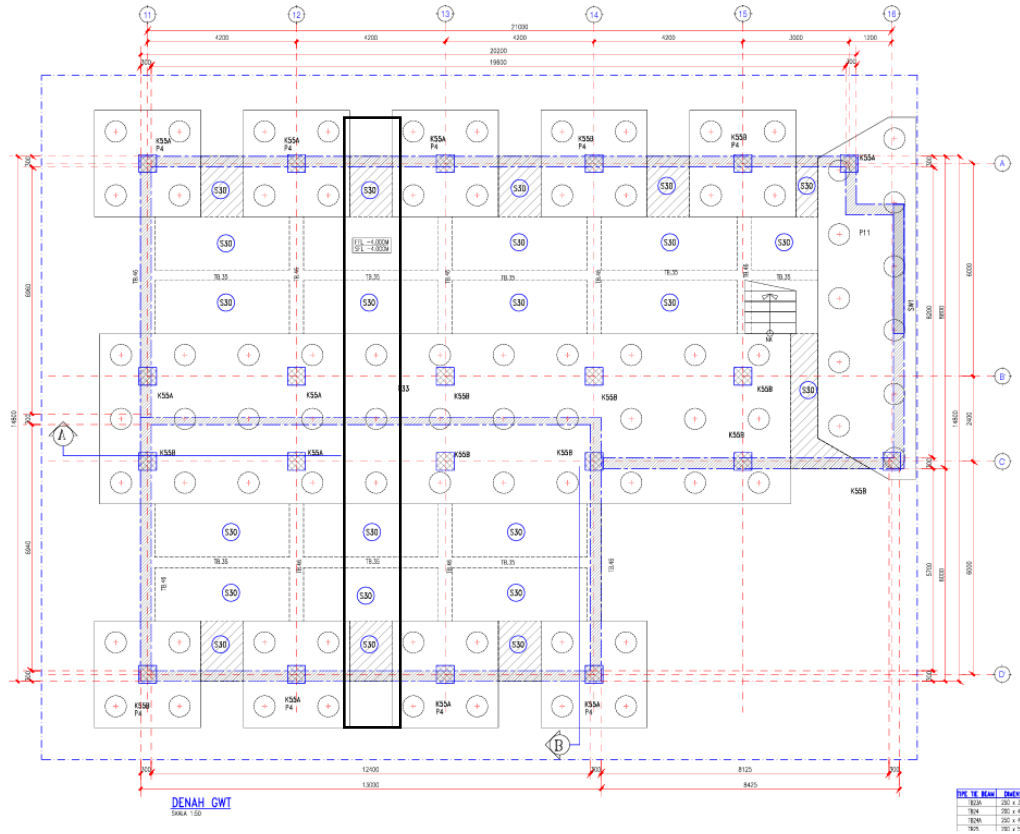
1.3.3 Pengaku

Pada perencanaan ini, pengaku yang dimaksud adalah pelat lantai dinding *ground water tank* dan *spun pile*.

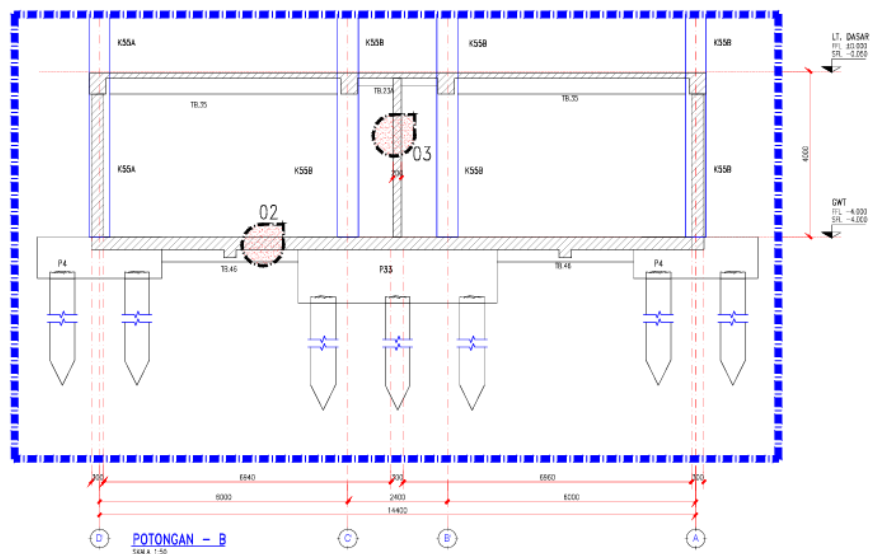
$$\begin{aligned} \text{Tebal pelat lantai} &= 0,5 \text{ m} \\ \text{Diameter } Spun \text{ Pile} &= 0,8 \text{ m} \\ \text{Mutu beton } (f'c) &= 35 \text{ MPa} \\ \text{Mutu baja } (f'y) &= 420 \text{ MPa} \\ \text{Moudulus Elastisitas Beton } (E) &= 4700\sqrt{f'c'} \\ &= 4700\sqrt{35} = 27805 \text{ MPa} \\ &= 27805000 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

1.3.4 Hasil Pembebanan Struktur Atas

Pada perencanaan ini digunakan beban kombinasi dari struktur atas Rumah Susun Politeknik Pekerjaan Umum.



Gambar 4.3 Denah *Ground Water Tank*



Gambar 4.4 Potongan B *Ground Water Tank*

Pada tabel 4.29 menunjukkan hasil output reaksi perletakan pondasi pada struktur *ground water tank* yang diperoleh dari hasil analisis kombinasi pembebanan. Parameter yang disajikan meliputi gaya reaksi pada masing-masing titik pondasi, yang selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam perencanaan.

Tabel 4.18 Output Joint Reactions

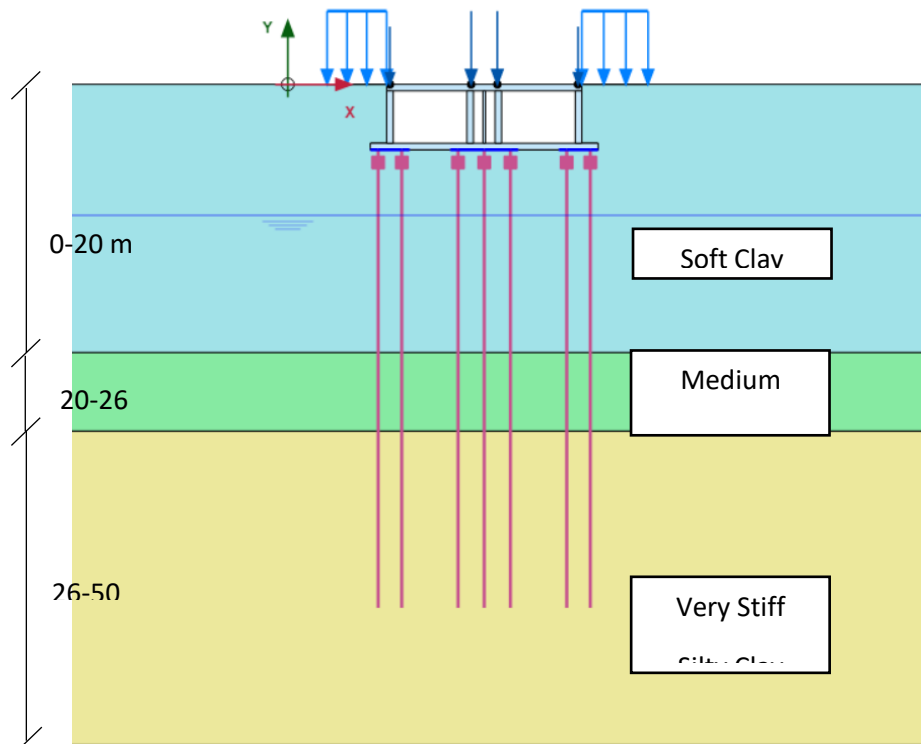
<i>Joint Reactions</i>								
Story	Label	Unique Name	Output Case	Case Type	Step Type	Fx (kN)	Fy (kN)	Fz (kN)

Base	94	119	Comb	Combination	Max	-1,70	-258,5	21192,68
Base	104	129	Comb	Combination	Max	-2,59	230,94	26847,26
Base	113	138	Comb	Combination	Max	-2,62	-230,1	26837,97
Base	122	147	Comb	Combination	Max	-3,37	259,42	21156,09

Untuk beban merata jalan menurut SNI 1725:2016 $q = 9 \text{ kN/m}$ direncanakan pada pemodelan sebesar 10 kN/m .

1.3.5 Pemodelan Dinding *Ground Water Tank* Pada *Software Geoteknik*

Berikut adalah pemodelan dari struktur dinding *ground water tank*, titik *spun pile*, parameter data tanah dan pembebanan struktur atas serta MAT berada pada elevasi -10 m .



Gambar 4.5 Pemodelan Dinding *Ground Water Tank* Pada *Software Geoteknik*

- Safety Factor**

Pada Gambar 4.5 terdapat nilai *safety factor* dari keseluruhan konstruksi sebesar 1,984. Hal ini dinyatakan aman karena angka keamanan melebihi yang disyaratkan (SNI 8460:2017) yaitu nilai SF minimum sebesar $SF > 1.5$.

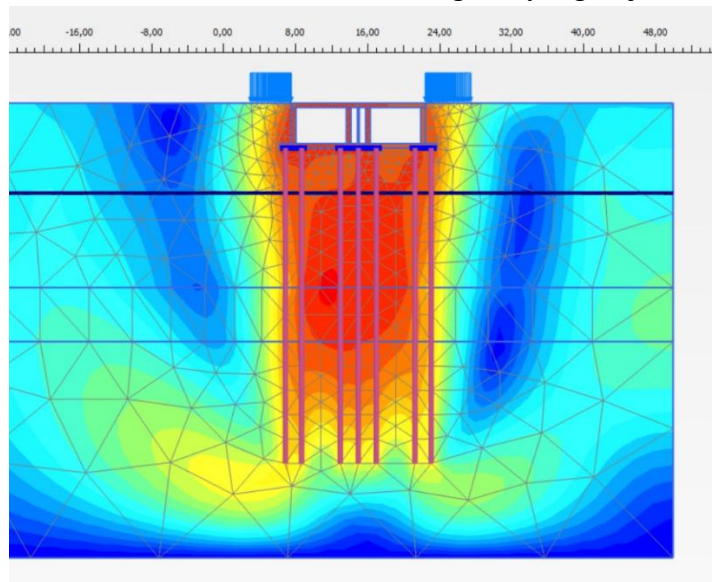
Reached values	
Reached total time	3,000 day
CSP - Relative stiffness	2,120E-3
ForceX - Reached total force	0,000 kN/m
ForceY - Reached total force	0,000 kN/m
Pmax - Reached max pp	332,0 kN/m ²
ΣM_{stage} - Reached phase p	0,000
ΣM_{weight} - Reached weight	1,000
ΣM_{sf} - Reached safety fact	1,984

Gambar 4.6 Output *Safety Factor*

- *Displacement*

- a. *Phase 1*

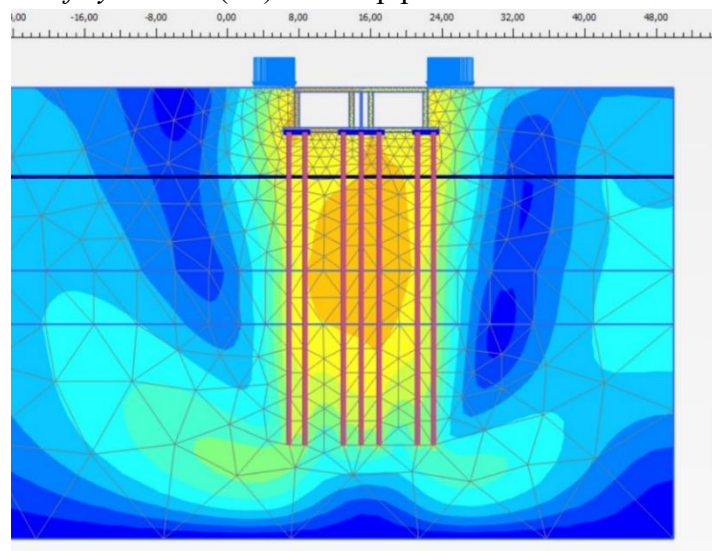
Tahap awal pembebanan struktur dimana beban dari struktur atas di *run* yang menghasilkan kontur deformasi dari momen dan geser yang terjadi.



Gambar 4.7 *Displacement Phase 1*

- b. *Phase 2*

Tahap analisis stabilitas menggunakan metode *Strength Reduction Method (SRM)* untuk memperoleh nilai *Safety Factor (SF)* terhadap potensi keruntuhan.



Gambar 4.8 *Displacement Phase 2*

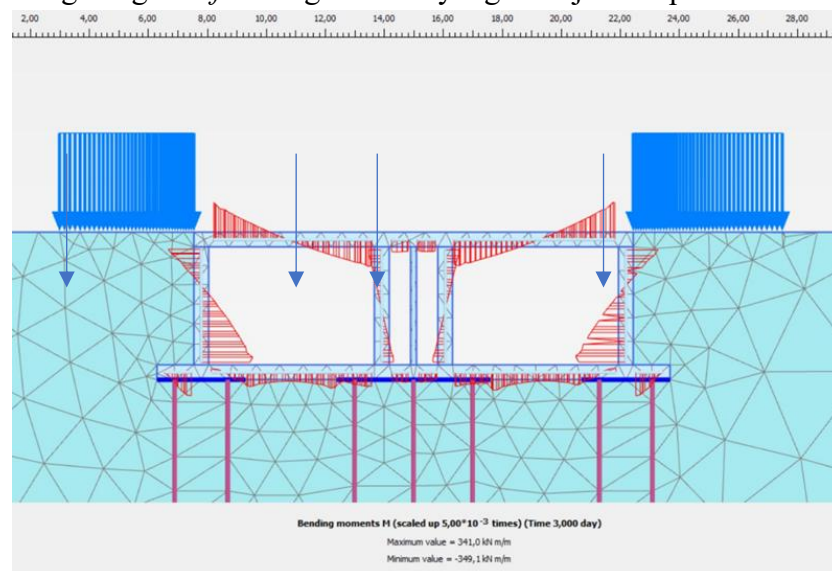
1.4 Penulangan Dinding *Ground Water Tank*

Perhitungan tulangan *diaphragm wall* menurut (Chang-Yu Ou, 2006) mengikuti metode LRFD, dengan komponen desain yang meliputi tulangan vertikal, tulangan horizontal, dan tulangan geser. Data parameter dinding *ground water tank* yang digunakan dalam perhitungan tulangan adalah sebagai berikut:

Tebal (h)	= 500 mm
Lebar (b)	= 1000 mm (diasumsikan)
Tebal selimut beton	= 50 mm
Diameter tulangan vertikal	= 22 mm
Diameter tulangan horizontal	= 16 mm
Diameter tulangan geser	= 16 mm
Mutu beton ($f'c$)	= 35 MPa
Mutu baja (f_y)	= 420 MPa
Tinggi efektif (d)	= 423 mm
Luas tulangan (D22)	= 380,13 mm ²
Luas Tulangan (D16)	= 201,06 mm ²

1.4.1 Perhitungan Tulangan Vertikal

Tulangan vertikal digunakan untuk menahan momen lentur.. Nilai M_u dinding *ground water tank* dihitung dengan *software* geoteknik yang ditunjukkan pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Momen Dinding *Ground Water Tank*

$$M_u = 349,1 \text{ kNm} \approx 349100000 \text{ Nmm}$$

- Untuk $\beta_1 f'c > 28 \text{ MPa}$ maka:

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \left(\frac{f'c - 28}{7} \right) = 0,85 - 0,05 \left(\frac{350 - 28}{7} \right) = 0,8$$

$$\rho_b = \frac{0,85 f'c}{f_y} \beta_1 \left(\frac{612}{612 + f_y} \right) = \frac{0,85 \times 35}{420} \times 0,8 \times \left(\frac{612}{612 + 420} \right) = 0,033$$

$$\rho_{max} = 0,75 \rho_b = 0,75 \times 0,033 = 0,025$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{420} = 0,0033$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{349100000}{0,9 \times 1000 \times 423^2} = 2,168$$

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85 f'c}{f_y} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 R_n}{0,85 f'c}} \right] = \frac{0,85 \times 35}{420} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 2,168}{0,85 \times 35}} \right] = 0,00536$$

- Karena $\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{max}$ maka digunakan ρ_{perlu}

$$A_s = \rho b d = 0,00536 \times 1000 \times 423 = 2269,25 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_s}{\text{luas tulangan (D22)}} = \frac{2269,25}{380,13} = 6 \text{ buah/m}$$

- Direncanakan D22 – 150 mm ($A_s = 2534,22 \text{ mm}^2$), maka

Kontrol ($\phi M_n > M_u$)

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_c b} = \frac{2534,22 \times 420}{0,85 \times 35 \times 1000} = 35,77 \text{ mm}$$

$$\phi M_n = \phi A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 0,9 \times 2534,22 \times 420 \left(423 - \frac{35,77}{2} \right)$$

$$= 388070160,6 \text{ Nmm} \approx 388,1 \text{ kNm}$$

Didapatkan $\phi M_n = 388,1 \text{ kNm} > M_u = 349,1 \text{ kNm}$ (OKE)

Digunakan tulangan D22 – 150 mm

1.4.2 Perhitungan Tulangan Horizontal

Karena efek susut beton oleh suhu, tulangan horizontal diperlukan. Jika mutu tulangan $f_y = 420 \text{ MPa}$, maka perhitungan sebagai berikut:

- Luas tulangan yang dibutuhkan (A_s)

$$A_s = 0,0018 A_g$$

$$A_g = h.b = 500 \times 1000 = 500000 \text{ mm}^2$$

$$A_s = 0,0018 \times 500000 = 900 \text{ mm}^2$$

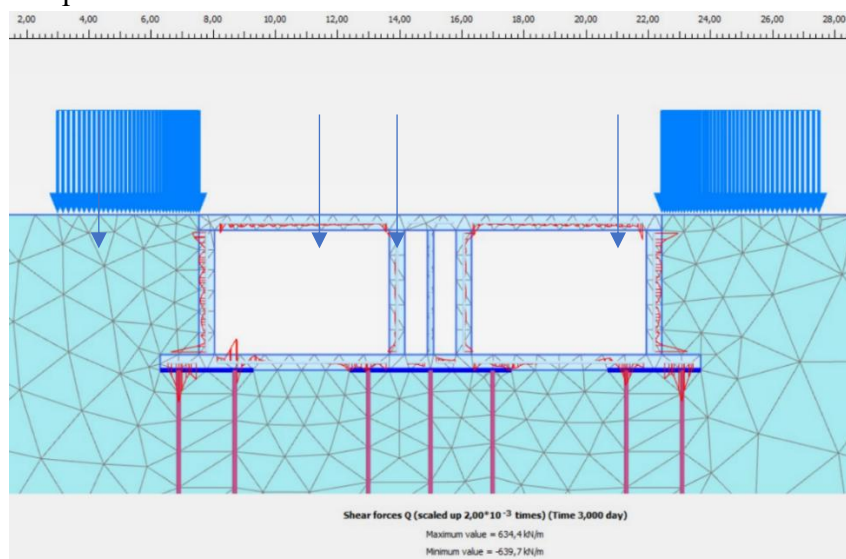
$$\frac{A_s}{\text{luas tulangan (D16)}} = \frac{900}{201,06} = 5 \text{ buah /m}$$

- Direncanakan D16– 200 mm ($A_s = 1005,31 \text{ mm}^2$)

Maka digunakan tulangan D16– 200 mm.

1.4.3 Perhitungan Tulangan Geser

Nilai maksimum gaya geser dinding diafragma diperlukan saat merancang tulangan geser. Nilai V_u dapat diperoleh dengan menggunakan program *software* geoteknik, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.10. berikut.



Gambar 4.10 Geser dinding *ground water tank*

$$V_u = 639,7 \text{ kN/m}$$

- Menghitung kuat nominal beton terhadap geser

Jika $V_u \leq V_c$ secara teori tidak memerlukan tulangan geser

$$V_c = 0,53 \sqrt{f'_c} bd = 0,53 \sqrt{350 \text{ kg/cm}^2} \times 100 \text{ cm} \times 42,3 \text{ cm}$$

$$= 41942,12 \text{ kg} \approx 419,42 \text{ kN}$$

Karena $V_u \geq V_c$ maka diperlukan tulangan geser

- Menghitung kuat geser nominal dinding penahan per satuan lebar

$$V_n = V_c + V_s$$

$$A_b = \frac{\pi \times 1,6^2}{4} = 2,01 \text{ cm}^2$$

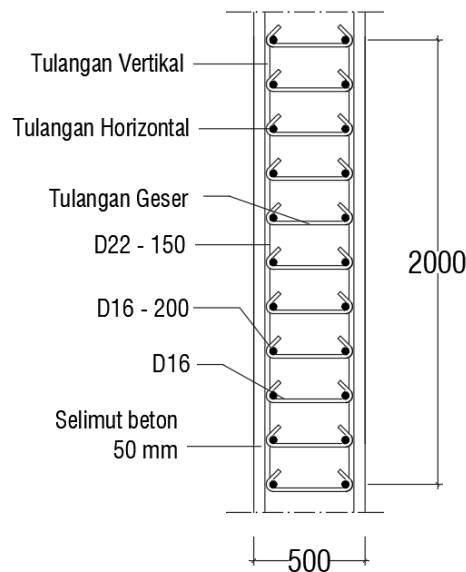
$$A_v = \frac{100 \times A_b}{s_h} = \frac{100 \times 2,01}{15} = 10,05 \text{ cm}^2$$

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s_v} = \frac{10,05 \times 4200 \times 42,3}{20} = 119068,87 \text{ kg} \approx 1190,69 \text{ kN}$$

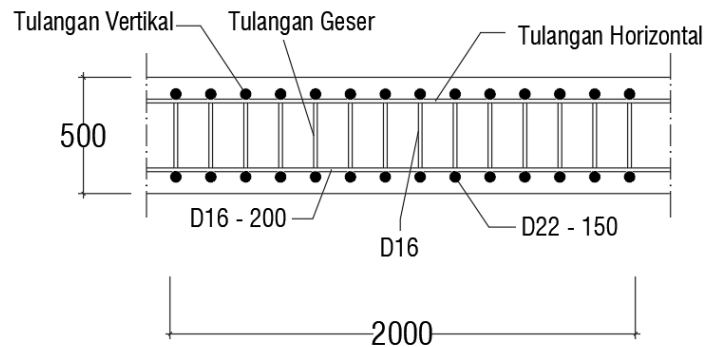
$$\text{Maka, } V_n = 419,42 + 1190,69 = 1610,11 \text{ kN/m}$$

Sehingga $V_n = 1610,11 \text{ kN/m} > V_u = 639,7 \text{ kN/m}$ digunakan tulangan geser (D16).

Pada Gambar 4.11 dan Gambar 4.12 merupakan detail penulangan dinding *ground water tank* yang meliputi konfigurasi tulangan vertikal, tulangan horizontal, dan tulangan geser serta dimensi dinding.



Gambar 4.11 Detail penulangan dinding *ground water tank*



Gambar 4.12 Detail penulangan dinding *ground water tank*

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Pembebanan struktur atas yang dianalisis menggunakan *software* struktur telah menghasilkan nilai beban rencana struktur atas.
2. Parameter data tanah didapatkan dari korelasi nilai N-SPT yang digunakan untuk analisis stabilitas dinding pada *software* geoteknik.
3. Pada pemodelan dalam *software* geoteknik dinding *ground water tank*, mendapatkan nilai *Safety Factor* (SF) untuk keseluruhan konstruksi sebesar 1,984 lebih besar dari 1,5. Untuk *Momen Ultimate* (M_u) pada dinding = 349,1 kN.m dan *Shear Force* (V_u) pada dinding = 639,7 kN/m.
4. Perancangan penulangan dinding *ground water tank* dengan ketebalan 0,5 m diperoleh tulangan vertikal D22-150 mm, tulangan horizontal D16-200 mm serta tulangan geser dengan ukuran (D16).

DAFTAR PUSTAKA

- Andriyani, Y. D., Alihudien, A., & Dewi, I. C. (2023). *Desain Proteksi Galian Dalam dengan Soldier Pile pada Konstruksi Basement Sport Center Deep Digging Protection Design with Soldier Pile on Basement Sport Center Construction*. In *Jurnal Smart Teknologi* (Vol. 4, Issue 5). <http://jurnal.unmuhjember.ac.id/index.php/JST>
- Badan Standarisasi Nasional, 2017. *SNI 8460:2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). *SNI 1726:2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2020). *SNI 1727:2020 Beban Desain Minimum dan Kriteria*

- Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional
- Bowles, J. E. (1996). *Foundation Analysis And Design*. Singapore: The McGraw- Hill Companies.
- Burt G. Look. 2007. *Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables*. Taylor & Francis/Balkema, Netherland.
- Dachlan, M. B., Darjanto, H., & Sutowijoyo, H. (2020). *Studi Literatur Galian Dalam Basement Dengan Muka Air Tanah Dangkal* (Vol. 5, Issue 2). <http://www.brasfond.com.br/fundacoes/ingles/>
- Das, Braja M. dan Khaled Sobhan. 2018. *Principles of Geotechnical Engineering* (Ninth Edition). Boston: Cengage Learning, Inc.
- Das. B. M. 1995. *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis)*. (N. Endah, & I.B. Mochtar, Trans). Surabaya: Erlangga
- Departemen Pekerjaan Umum. 1987. *Perencanaan Pembebanan Indonesia untuk Gedung (PPIUG 1987)*. Jakarta: Yayasan Badan Penerbit Pekerjaan Umum.
- Endayanti, M., & Marpaung, K. (n.d.). *Analisis Perkuatan Lereng Dengan Menggunakan Dinding Penahan Tanah Di Skyland Jayapura Selatan*.
- Evaliana, D., Sarasanty, D., & Asmorowati, E. T. (2019). *Analisa Kedalaman Sheet Pile Pada Lereng Sungai Parit Agung Di Desa Besuki, Kecamatan Besuki, Kabupaten Tulungagung Dengan Menggunakan Program PLAXIS* (Vol. 1, Issue 1).
- Hardiyatmo, H.C. 1996. *Teknik Fondasi*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press
- Hardiyatmo, H.C. 2003 *Mekanika Tanah II*. Yogyakarta : Gadjah Mada University Press
- Hardiyatmo, H.C. 2018. *Mekanika Tanah I*. Yogyakarta : Gadjah Mada University Press
- Hazel, T., Leman, S., & Iskandar, D. A. (2019). *Analisis Dinding Diafragma Dengan Penghilangan Ringslab Secara Efektif Pada Konstruksi Basement*. In *Jurnal Mitra Teknik Sipil* (Vol. 2, Issue 4).
- Kusuma, R. I., Mina, E., & Amala, W. R. (2019). *Analisis Deformasi Lateral Diaphragm Wall Dan Dewatering Pada Konstruksi Basement* (Studi kasus: Proyek The Ayoma Apartment, Serpong, Tangerang Selatan). In *Jurnal Fondasi* (Vol. 8).

- Mina, E., Kusuma, R. I., & Dwimanda, S. (2014). *Analisis Kelongsoran Galian Basement Menggunakan Dinding Penahan Soldier Pile Dengan Software Plaxis*.
- Mochtar (2012). Korelasi Nilai N-SPT Terhadap Nilai Cu
- Ou, Chang-Yu. 2006. *Deep Excavation Theory and Practice*. London : Taylor Francis Group.
- Prasetya, M. Y. D., Nurhayati, Buditjahjanto, I. G. P. A., & Rohman, M. (2025). *Rancang Bangun Sistem Monitoring dan Otomasi Ketinggian Air pada Ground Water Tank Rumah Sakit Berbasis Internet of Things (Studi Kasus : RSUD Sidoarjo Barat)*.
- Rumbyarso, Y. P. A., & Pribadi, G. (n.d.). *Penyuluhan Tentang Pentingnya Sebuah Kontruksi Bangunan Rumah Yang Baik Serta Tahan Gempa*.
- Sihombing, S. B. (2021). *Analisis Efektivitas Penghawaan Alami Pada Rumah Susun (Hunian) (Studi Kasus: Rumah Susun Kayu Putih)*. In *Jurnal Sains dan Teknologi ISTP* (Vol. 15, Issue 01).
- Wibowo, T. P., & Wulandari, T. E. (2023a). *Analisis Stabilitas Struktur Retaining Wall Basement Terhadap Tekanan Tanah Dengan Aplikasi Plaxis 8.6*. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Dan Arsitektur (JITAS)*, 2(1), 14–22. <https://doi.org/10.31289/jitas.v2i1.1942>
- Wibowo, T. P., & Wulandari, T. E. (2023b). *Analisis Stabilitas Struktur Retaining Wall Basement Terhadap Tekanan Tanah Dengan Aplikasi Plaxis 8.6*. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Dan Arsitektur (JITAS)*, 2(1), 14–22. <https://doi.org/10.31289/jitas.v2i1.1942>
- Yuliana, Ray, N., Wibowo, L. S. B., & Cahyono, M. S. D. (2018). *Perencanaan Dinding Penahan Tanah pada Basement Grand Dharmahusada Lagoon Surabaya Seminar Nasional IlmuTerapan (SNITER)*.