

STUDI PERENCANAAN DINDING PENAHAN TANAH DENGAN METODE PELAKSANAAN BOTTOM UP DAN TOP DOWN PADA BASEMENT RUMAH SAKIT PONOROGO

* Wahyu Kumbari¹, Himatul Farichah, S.T., M.Sc.², Ir. Isnaniati, MT³

¹Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mumammadiyah Surabaya, Surabaya

²Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Surabaya

Email : isnaniati@ft.um-surabaya.ac.id

Abstract

Multi-storey buildings with basements have several methods of implementation, that is bottom up and top down. The bottom up method of structural work is carried out after the excavation work is completed, while the top down method of structural work can be carried out simultaneously with the excavation work. This will affect the stability of the retaining wall at the time the stage is carried out. This final project aims to compare the design of retaining wall secant pile (bottom up construction excavation stage) with diaphragm wall (top down construction excavation stage) in the basement of Ponorogo hospital. Soil analysis uses empirical correlation of N-SPT values to obtain the required soil parameters, the total length of retaining wall is calculated using the concept of equilibrium ($\Sigma M=0$) then controlled for hydraulic phenomena. The excavation stages are modeled with the PLAXIS program to analyze the deflection, SF, and internal forces that occur in each retaining wall according to the construction excavation stage. Furthermore, the reinforcement design is calculated according to SNI 2847:2013 and also uses the PCAColumn program, and calculates the material cost of each retaining wall. The results of the retaining wall design with the excavation basement elevation of - 8 m obtained a total length of 18 m from the ground. For Secant pile (Bottom up) SF 1,8 and a maximum deflection of 3.1 cm is obtained with a Secant pile diameter of 0.8 m of the main reinforcement for D19 of 20, the cost of secant pile material is IDR 2,829,418,450. Whereas in Diaphragm wall (Top down) SF 4,3 and a maximum deflection of 0.95 cm is obtained with a thickness of 0.5 m of the main reinforcement D22-250 mm, material cost Diaphragm wall is IDR 2,269,552,123. Of the two methods, the material cost of Diaphragm wall (Top down) is cheaper than the cost of Secant pile (Bottom up), but in terms construction excavation, Diaphragm wall (Top down) is more difficult than Secant pile (Bottom up).

keywords: Basement, Secant pile, Diaphragm wall, Bottom up, Top down

Abstrak

Bangunan bertingkat dengan basement terdapat beberapa metode pelaksanaan yaitu bottom up dan top down. Metode bottom up pekerjaan struktur dilakukan setelah pekerjaan galian selesai, sedangkan metode top down pekerjaan struktur dapat dilakukan bersamaan dengan pekerjaan galian. Hal tersebut akan mempengaruhi stabilitas dinding penahan tanah (DPT) pada saat tahapan galian dilaksanakan. Tugas akhir ini bertujuan membandingkan perencanaan dinding penahan tanah secant pile (tahap galian konstruksi bottom up) dengan diaphragm wall (tahap galian konstruksi top down) pada basement rumah sakit ponorogo. Analisis data tanah menggunakan korelasi empiris nilai N-SPT untuk mendapatkan parameter tanah yang dibutuhkan, panjang total DPT dihitung menggunakan konsep kesetimbangan ($\Sigma M=0$) kemudian dikontrol terhadap gejala hidrolis. Tahapan galian di modelkan dengan program PLAXIS untuk menganalisis defleksi, SF, dan gaya gaya dalam yang terjadi pada masing-masing DPT sesuai tahapan galian konstruksi. Selanjutnya perencanaan tulangan dihitung sesuai SNI 2847:2013 dan juga menggunakan program PCAColumn, serta menghitung biaya material dari masing masing DPT. Hasil perencanaan DPT dengan galian basement elevasi -8 m diperoleh panjang total 18 m dari muka tanah. Untuk Secant pile (Bottom up) diperoleh nilai SF 1,8 dengan defleksi maksimal 3,1 cm, menggunakan diameter Secant pile 0,8 m tulangan utama D19 jumlah 20, biaya material Secant pile Rp2.829.418.450. Sedangkan pada Diaphragm wall (Top down) diperoleh nilai SF 4,3 dengan defleksi maksimal 0,95 cm, ketebalan Diaphragm wall 0,5 m tulangan utama D22-250 mm, biaya material Diaphragm wall Rp2.269.552.123. Dari kedua metoda tersebut, biaya material Diaphragm wall (Top down) lebih murah dari pada biaya material Secant pile (Bottom up), namun dari segi pelaksanaan galian konstruksi, Diaphragm wall (Top down) lebih sulit dari pada Secant pile (Bottom up)

Kata kunci: Basement, Secant pile, Diaphragm wall, Bottom up, Top down

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Pembangunan Rumah sakit darmayu II di ponorogo memiliki area Tanah seluas $\pm 1214,74$ m² terletak ditengah kota yang cukup padat penduduk dengan area yang cukup sempit. Gambaran kondisi di sekitar proyek yaitu sisi Utara berdekatan dengan Jl.setapak lingkungan sedangkan sisi barat diapit bangunan pemukiman penduduk, sisi selatan dan timur berdekatan dengan Jl.dr sutomo dan Jl.dr sutomo gang II. Karna keterbatasan area sangat tidak memungkinkan untuk pembangunan secara horizontal meskipun dengan biaya yang cukup mahal, pemilihan pembangunan secara

vertikal menjadi satu-satunya alternative dalam memecahkan masalah tersebut. Rumah sakit ini direncanakan memiliki elevasi + 36 m dari muka tanah dengan lantai utama yang berjumlah 10 lantai beserta atap, mengingat keterbasan lahan yang tidak memungkinkan juga harus memperhatikan area parkir yang memadai oleh karena itu dibutuhkan lantai basement untuk menampung kendaraan baik dari pegawai rumah sakit maupun dari pasien yang datang. Basement pada perencanaan ini memiliki elevasi – 8m dengan jumlah lantai basement 2 lantai.

Pada konstruksi gedung bertingkat dengan basement terdapat beberapa metode pelaksanaan konstruksi yaitu bottom up dan top down. Metode bottom up atau metode konvensional dimana pembangunan gedung

dilaksanakan dari bawah keatas pekerjaan struktur dilaksanakan setelah pekerjaan galian *basement* seluruhnya selesai, sedangkan metode pelaksanaan *top down* pekerjaan struktur *basement* dilaksanakan bersamaan dengan pekerjaan galian *basement* dengan urutan penyelesaian balok dan pelat lantainya dimulai dari atas kebawah selama proses pelaksanaannya, struktur plat dan balok tersebut didukung oleh tiang baja yang disebut *king post*, sedangkan dinding *basement* di cor lebih dahulu sekaligus berfungsi sebagai *cut of dewatering* (Asiyanto, 2012). Sistem *top down* akan memberikan pengaruh terhadap stabilitas dinding penahan tanah dimana plat lantai pada *basementnya* juga berfungsi sebagai penyokong dinding penahan tanah.

Permasalahan yang sering muncul dalam pembangunan *basement* yaitu terjadinya keruntuhan tanah dan kelongsoran pada area galian *basement*, dengan mengetahui sifat fisis dan mekanis tanah dan data teknis galian *basement* dapat di analisis stabilitas dan direncanakan DPT nya, kemudian metode pelaksanaan kontruksi dan tahapan yang digunakan juga akan mempengaruhi stabilitas galian *basement*, berdasarkan beberapa permasalahan tersebut penulis memberikan alternatif dan membandingkan perencanaan dinding penahan tanah akibat pengaruh tahapan galian sesuai metode pelaksanaan baik sistem *bottom up* maupun sistem *top down*. Dalam tugas akhir ini penulis bandingkan 2 jenis dinding penahan tanah dengan tahapan galian berdasarkan metode kontruksi yang digunakan pada *basement*, yaitu dinding penahan tanah *secant pile* dengan tahapan galian metode kontruksi *bottom up* dan *diaphragm wall* dengan tahapan galian metode kontruksi *top down*. Tahapan galian dimodelkan menggunakan progam bantu PLAXIS pemodelan analisis tahapan galian bertujuan untuk mengetahui deformasi dan *SF* dari tanah yang di tahan oleh dinding aman atau mengalami keruntuhan, *output* dari keluaran progam PLAXIS juga mendapatkan gaya-gaya dalam yang terjadi pada dinding untuk menghitung penulangan, Setelah mendapatkan desain dinding yang cukup aman penulis juga membandingkan anggaran biaya material dari masing-masing dinding penahan tanah.

METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan dari bulan januari sampai dengan maret 2020, lokasi tugas akhir ini berada di Jl.Dr.sutomo, Bangunsari, Kec.Ponorogo, Kabupaten Ponorogo, Jawa Timur. Untuk lebih jelasnya liat Gambar berikut



Gambar 1 Peta Lokasi penelitian. Sumber : Google map (15 maret 2020)

Pengumpulan Data

- Data Tanah
- Gambar struktur
- Peraturan yang dijadikan pedoman dalam perencanaan perhitungan

Analisis Data

Data teknis yang dijadikan sebagai perencanaan sebagai berikut

Lebar basement	= 20 m
Panjang basement	= 47 m
Jumlah basement	= 2 lantai
Kedalaman galian basement	= 8 m
Beban surchage	= 10 kN/m

- Data tanah

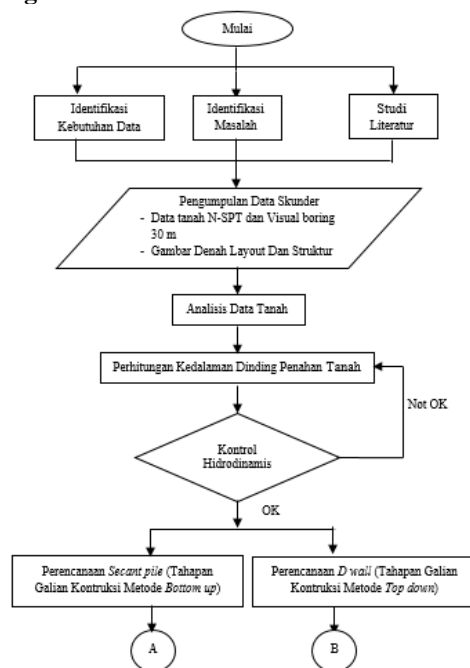
Data tanah yang di analisis yaitu nilai N-spt sampai pada kedalaman boring 30 m sebagai berikut

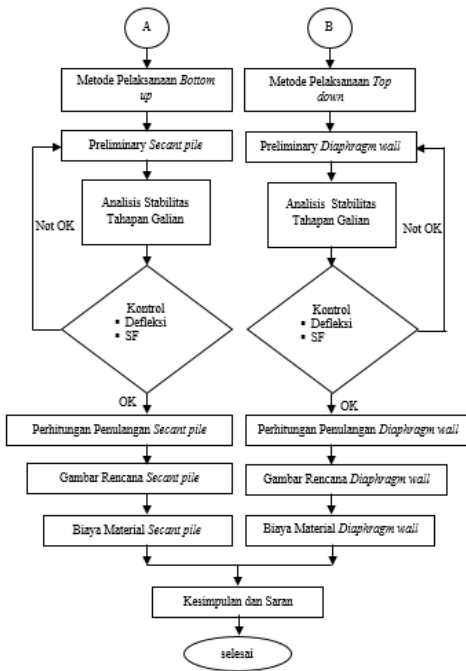
Tabel 1 Data tanah

Bore hole (DB-1)	Kedalaman (m)	N spt Rata - rata	Deskripsi visual hasil pengeboran tanah
Lapisan 1	0-4,5	16,33	Silt and clay, dark brown, trace to some sand, soft to stiff
Lapisan 2	4,5-8	33,75	Silt and clay, brown some sand, very stiff to hard
Lapisan 3	8-13	30	Sand and silt, brown, medium to dense
Lapisan 4	13-14,5	19,5	Silt and clay, brown, some sand, stiff
Lapisan 5	14,5-20	39,2	Sand, grey, little silt, dense to very dense
Lapisan 6	20-22,5	24,3	Silt and clay, grey to dark grey, trace to some sand, stiff
Lapisan 7	22,5-25	16,7	Sand, grey some silt, medium
Lapisan 8	25-30	15	Silt and clay, dark grey trace to some sand, stiff to very stiff

Sumber : laporan penyelidikan tanah ponorogo,2017

Diagram Aliran





HASIL DAN PEMBAHASAN Korelasi Data Tanah

Apabila data yang didapatkan dari hasil tes laboratorium kurang mencukupi untuk perencanaan maka perlu dilakukan pendekatan-pendekatan untuk mendapatkan parameter yang dibutuhkan, pemilihan parameter data tanah didapatkan dengan mengkorelasi nilai N-SPT kedalam tabel empiris parameter tanah yang dibuat para ahli. nilai γ , E, v menggunakan korelasi Bowles, 1984 untuk nilai γ sat menggunakan korelasi whilliam T, 1962, sedangkan nilai c, ϕ , k_x dan k_y menggunakan korelasi Look, 2007, hasil korelasi data tanah dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 2 Parameter property tanah

Bore hole (DB-1)	H (m)	Tipe tanah	γ (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	C (kN/m ²)	Φ
Lapisan 1	0-4,5	Silt and clay	18	19	20	25
Lapisan 2	4,5-8	Silt and clay	19	20	50	30
Lapisan 3	8-13	Sand and silt	19	20	1	35
Lapisan 4	13-14,5	Silt and clay	18	19	20	25
Lapisan 5	14,5-20	sand	19	20	1	40
Lapisan 6	20-22,5	Silt and clay	18	19	30	27
Lapisan 7	22,5-25	sand	18	20	1	35
Lapisan 8	25-30	Silt and clay	18	19	35	30

Sumber : Hasil korelasi data tanah

Tabel 3 Parameter property tanah

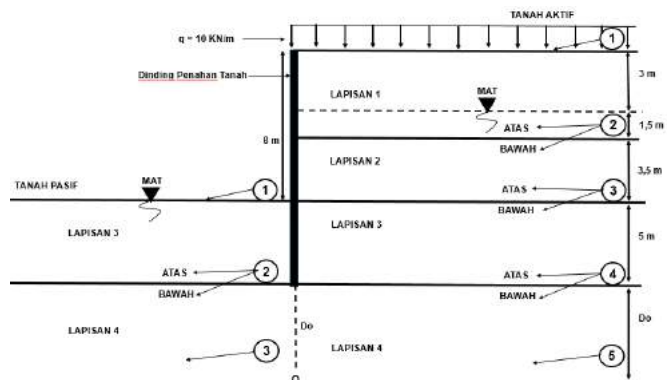
Bore hole (DB-1)	H (m)	Tipe tanah	γ_w (kN/m ³)	v	Kx dan Ky (m/hari)	E (kN/m ²)
Lapisan 1	0-4,5	Silt and clay	10	0,35	0,0002	20000
Lapisan 2	4,5-8	Silt and clay	10	0,35	0,0002	50000
Lapisan 3	8-13	Sand and silt	10	0,35	20	50000
Lapisan 4	13-14,5	Silt and clay	10	0,35	0,0002	20000
Lapisan 5	14,5-20	sand	10	0,4	20	50000

Lapisan 6	20-22,5	Silt and clay	10	0,35	0,0002	50000
Lapisan 7	22,5-25	sand	10	0,25	20	25000
Lapisan 8	25-30	Silt and clay	10	0,35	0,0002	25000

Sumber : Hasil korelasi data tanah

Perhitungan Panjang Kedalaman DPT

Area yang diidentifikasi sebagai perencanaan perhitungan tahanan tanah aktif dan pasif sampai pada lapisan tanah 4 dapat dilihat pada gambar berikut



Gambar 2 Identifikasi lapisan tanah dan galian basment

- Tekanan tanah aktif dan pasif

$$\text{Koefisien tanah aktif } K_a = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi'}{2} \right)$$

$$\text{Koefisien tanah pasif } K_p = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi'}{2} \right)$$

Tabel 4 Koefisien tekanan tanah

Lapisan tanah	Ka1			
Lapisan tanah 1	0,41	-	-	
	vka1	0,64	-	-
Lapisan tanah 2	0,33	-	-	
	vka2	0,58	-	-
Lapisan tanah 3	0,27	Kp3	3,69	
	vka3	0,52	vkp3	1,92
Lapisan tanah 4	0,41	Kp4	2,46	
	vka4	0,64	vkp4	1,57

Sumber : Hasil perhitungan koefisien tanah aktif dan pasif

Perhitungan tekanan tanah aktif

$$\text{Tegangan horizontal } \sigma'_{ha} = \sigma'_v K_a + \sigma'_{vs} K_a - 2c'\sqrt{K_a}$$

$$\text{Tegangan air pori } u = \gamma_w \times H$$

$$\text{tegang total } = \sigma'_{ha} + u$$

Titik 1 Tanah aktif

$$\text{Tegangan vertikal } (\sigma'_{va})$$

$$\text{Overburden } (\sigma'_{va1}) = 0 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Akibat beban } q \text{ } (\sigma'_{vs1}) = 10 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Tegangan horizontal } (\sigma'_{ha})$$

$$\text{Overburden } = \sigma'_{va1} \times K_a1 = 0 \times 0,41 = 0 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Akibat beban } q = \sigma'_{vs1} \times K_a1 = 10 \times 0,41 = 4,06 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Akibat kohesi } = 2c'\sqrt{K_a1} = 2 \times 20 \times 0,64 = 25,48 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma'_{ha} = \sigma'_v K_a + \sigma'_{vs} K_a - 2c'\sqrt{K_a}$$

$$\sigma'_{ha} = 0 + 4,06 - 25,48 = -21,42 \text{ kN/m}^2$$

karna di titik 1 pada tanah aktif tidak ada tekanan air pori maka $u = 0$

$$\text{tegang total } = \sigma'_{ha} + u = 5,97 + 0 = -21,42 \text{ kN/m}^2$$

Titik 2 Tanah aktif

- Atas

Tegangan vertikal ($\sigma'va$)
Overburden ($\sigma'va2$) = $(\gamma_{unsat}xH) + (\gamma_{sat} - \gamma_w)xH$
= $(18x3x) + ((19-10)x1,5) = 67,5 \text{ kN/m}^2$
Akibat beban q ($\sigma'vs2$) = 10 kN/m^2
Tegangan horizontal ($\sigma'ha$)
Overburden = $\sigma'va2 \times Ka1 = 67,5 \times 0,41 = 27,40 \text{ kN/m}^2$
Akibat beban q = $\sigma'vs2 \times Ka1 = 10 \times 0,41 = 4,06 \text{ kN/m}^2$
Akibat kohesi $2c1'\sqrt{Ka1} = 2 \times 20 \times 0,64 = 25,48 \text{ kN/m}^2$
 $\sigma'ha = \sigma'v Ka + \sigma'vs Ka - 2c'\sqrt{Ka}$
 $\sigma'ha = 27,40 + 4,06 - 25,48 = 5,97 \text{ kN/m}^2$
tekanan air pori titik 2 atas
 $u = \gamma_w \times H = 10 \times 1,5 = 15 \text{ kN/m}^2$
tegangan total = $\sigma'ha + u = 5,97 + 15 = 20,97 \text{ kN/m}^2$

- Bawah
Tegangan vertikal ($\sigma'va$)
Overburden ($\sigma'va2$) = $(\gamma_{unsat}xH) + (\gamma_{sat} - \gamma_w)xH$
= $(18x3x) + ((19-10)x1,5) = 67,5 \text{ kN/m}^2$
Akibat beban q = $\sigma'vs2 = 10 \text{ kN/m}^2$
Tegangan horizontal ($\sigma'ha$)
Overburden = $\sigma'va2 \times Ka2 = 67,5 \times 0,33 = 22,50 \text{ kN/m}^2$
Akibat beban q = $\sigma'vs2 \times Ka2 = 10 \times 0,33 = 3,33 \text{ kN/m}^2$
Akibat kohesi = $2c2'\sqrt{Ka2} = 2 \times 50 \times 0,58 = 57,74 \text{ kN/m}^2$
 $\sigma'ha = \sigma'v Ka + \sigma'vs Ka - 2c'\sqrt{Ka}$
 $\sigma'ha = 22,50 + 3,33 - 57,74 = -31,90 \text{ kN/m}^2$
tekanan air pori titik 2 bawah
 $u = \gamma_w \times H = 10 \times 1,5 = 15 \text{ kN/m}^2$
tegangan total = $\sigma'ha + u = -31,90 + 15 = -16,90 \text{ kN/m}^2$
untuk hasil keseluruhan tiap lapisan tanah dan titik yang ditinjau dapat dilihat pada Tabel 5 tekanan tanah aktif.

perhitungan tekanan tanah pasif
Tegangan horizontal $\sigma'hp = \sigma'v Kp + 2c'\sqrt{Kp}$
Tekanan air pori $u = \gamma_w \times H$
tegangan total = $\sigma'hp + u$
Titik 1 Tanah pasif
Tegangan vertikal ($\sigma'vp$)
Overburden ($\sigma'vp1$) = 0 kN/m^2
Tegangan horizontal ($\sigma'hp$)
Overburden = $\sigma'vp1 \times Kp3 = 0 \times 3,69 = 0 \text{ kN/m}^2$
Akibat kohesi = $2c3'\sqrt{Kp3} = 2 \times 1 \times 1,92 = 3,84 \text{ kN/m}^2$
 $\sigma'hp = \sigma'v Kp + 2c'\sqrt{Kp}$
 $\sigma'hp = 0 + 3,84 = 3,84 \text{ kN/m}^2$
karna di titik 1 tanah pasif tidak ada tekanan air pori maka $u = 0$
tegangan total = $\sigma'ha + u = 3,84 + 0 = 3,84 \text{ kN/m}^2$

Titik 2 Tanah pasif
- Atas
Tegangan vertikal ($\sigma'vp$)
Overburden $\sigma'vp2 = (\gamma_{sat} - \gamma_w)xH = (20 - 10) \times 5 = 50 \text{ kN/m}^2$
Tegangan horizontal ($\sigma'hp$)
Overburden $\sigma'vp2 \times Kp3 = 50 \times 3,69 = 184,51 \text{ kN/m}^2$
Akibat kohesi $2c3'\sqrt{Kp3} = 2 \times 1 \times 1,92 = 3,84 \text{ kN/m}^2$
 $\sigma'hp = \sigma'v Kp + 2c'\sqrt{Kp}$
 $\sigma'hp = 184,51 + 3,84 = 188,35 \text{ kN/m}^2$
tekanan air pori titik 2 atas
 $u = \gamma_w \times H = 10 \times 5 = 50 \text{ kN/m}^2$
tegangan total = $\sigma'ha + u = 188,35 + 50 = 238,35 \text{ kN/m}^2$

- Bawah
Tegangan vertikal ($\sigma'vp$)
Overburden $\sigma'vp1 = (\gamma_{sat} - \gamma_w)xH = (20 - 10) \times 5 = 50 \text{ kN/m}^2$
Tegangan horizontal ($\sigma'hp$)
Overburden $\sigma'vp1 \times Kp4 = 50 \times 2,46 = 123,20 \text{ kN/m}^2$
Akibat kohesi $2c4'\sqrt{Kp4} = 2 \times 20 \times 1,57 = 62,79 \text{ kN/m}^2$
 $\sigma'hp = \sigma'v Kp + 2c'\sqrt{Kp}$
 $\sigma'hp = 123,20 + 62,79 = 185,98 \text{ kN/m}^2$
tekanan air pori titik 2 bawah
 $u = \gamma_w \times H = 10 \times 5 = 50 \text{ kN/m}^2$
tegangan total = $\sigma'ha + u = 185,98 + 50 = 235,98 \text{ kN/m}^2$
untuk hasil keseluruhan tiap lapisan tanah dan titik yang ditinjau dapat dilihat pada Tabel 6 tekanan tanah pasif, hasil keseluruhan tegangan total tiap lapisan dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5 Tekanan tanah aktif

Titik	H	Bagian	Tegangan Horizontal aktif ($\sigma'ha$) kN/m ²	Tekanan air pori(u) (-3m) kN/m ²	Total ($\sigma'ha$) kN/m ²
1	0	-	-21,42	0	-21,42
2	-4,5	Atas	5,97	15	20,97
	-4,5	Bawah	-31,90	15	-16,90
3	-8	Atas	-20,24	50	29,76
	-8	Bawah	29,45	50	79,45
4	-13	Atas	42,99	100	142,99
	-13	Bawah	40,47	100	140,47
5	-Do	-	62,525+3,69Do-21,423	100+10Do	141,102+13,69Do

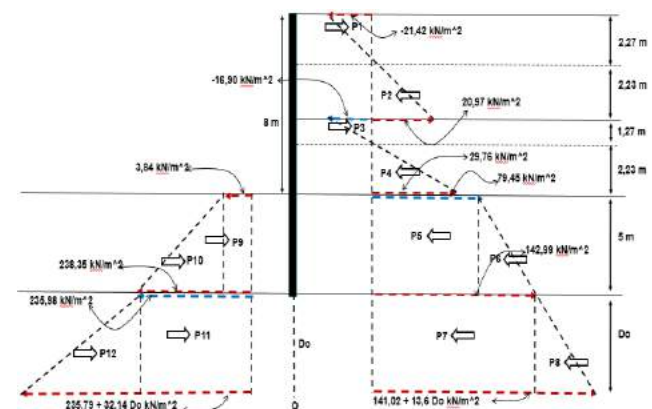
Sumber :Hasil perhitungan tekanan tanah aktif

Tabel 6 tekanan tanah pasif

Titik	H	Bagian	Tegangan horizontal pasif ($\sigma'hp$) kN/m ²	Tekanan air pori(u) (-8m) kN/m ²	Total ($\sigma'hp$) kN/m ²
1	-8	-	3,84	0	3,84
2	-	Atas	188,35	50	238,35
	13	-	185,98	50	235,98
	13	Bawah	185,98	50	235,98
3	Do	-	123+22,14Do+62,79	50+10Do	235,79+32,14Do

Sumber :Hasil perhitungan tekanan tanah pasif

setelah didapatkan tegangan total tanah aktif dan pasif selanjutnya digambarkan diagram tegangannya seperti pada gambar berikut.



Gambar 3 Diagram tegangan tanah aktif dan pasif

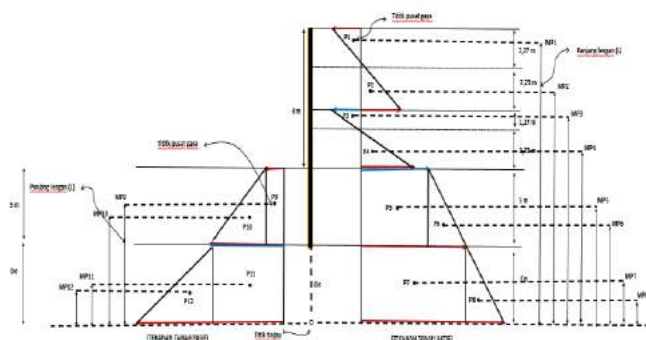
- Perhitungan gaya horizontal
Luasan untuk bentuk segitiga = $1/2 (\sigma_h) \times \text{tebal lapisan}$
Luasan untuk bentuk persegi = $(\sigma_h) \times \text{tebal lapisan}$

Gaya Tanah aktif

$$\begin{aligned}
 P1 &= 1/2 \times (-21,42 \times 2,27) = -24,32 \text{ kN} \\
 P2 &= 1/2 \times (20,97 \times 2,23) = 23,38 \text{ kN} \\
 P3 &= 1/2 \times (-16,90 \times 1,27) = -10,73 \text{ kN} \\
 P4 &= 1/2 \times (29,76 \times 2,23) = 33,19 \text{ kN} \\
 P5 &= 79,45 \times 5 = 397,23 \text{ kN} \\
 P6 &= 1/2 \times ((142,99-79,45) \times 5) = 158,87 \\
 P7 &= 141,02 \times Do = 141,02Do \text{ kN} \\
 P8 &= 1/2 \times (13,6Do \times Do) = 6,845 Do^2 \text{ kN} \\
 \text{Gaya Tanah pasif} \\
 P9 &= 3,84 \times 5 = 19,210 \text{ kN} \\
 P10 &= 1/2 \times ((238,35-3,84) \times 5) = 586,27 \text{ kN} \\
 P11 &= 235,79 \times Do = 235,79Do \text{ kN} \\
 P12 &= 1/2 \times (32,14Do \times Do) = 16,07Do^2 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- Perhitungan Momen

Momen yang terjadi yaitu hasil kali Gaya horizontal (P) dengan panjang lengan yang di tinjau dari titik O ke titik pusat bidang luasan gaya seperti pada gambar berikut



Gambar 4 Identifikasi perhitungan momen

Momen tanah aktif

$$\begin{aligned}
 Mp1 &= ((2/3 \times 2,27) + 2,23 + 1,27 + 2,23 + 5 + Do) \times -24,32 = -297,63 - 24,32Do \\
 Mp2 &= ((1/3 \times 2,23) + 1,27 + 2,23 + 5 + Do) \times 23,38 = 216,05 + 23,38Do \\
 Mp3 &= ((2/3 \times 1,27) + 2,23 + 5 + Do) \times -10,73 = -86,61 - 10,73Do \\
 Mp4 &= ((1/3 \times 2,23) + 5 + Do) \times 33,19 = 190,49 + 33,19Do \\
 Mp5 &= ((1/2 \times 5) + Do) \times 397,23 = 993,06 + 397,23Do \\
 Mp6 &= ((1/3 \times 5) + Do) \times 158,87 = 263,73 + 158,87Do \\
 Mp7 &= (1/2 \times Do) \times 141,02Do = 70,551Do^2 \\
 Mp8 &= (1/3 \times Do) \times 6,845Do^2 = 2,281Do^3
 \end{aligned}$$

Momen tanah pasif

$$\begin{aligned}
 Mp9 &= ((1/2 \times 5) + Do) \times 19,210 = 48,025 + 19,210Do \\
 Mp10 &= ((1/3 \times 5) + Do) \times 586,27 = 938,034 + 586,272Do \\
 Mp11 &= (1/2 \times Do) \times 235,79Do = 117,89Do^2 \\
 Mp12 &= (1/3 \times Do) \times 16,07Do^2 = 5,357Do^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sum MP \text{ aktif} - \sum MP \text{ pasif} &= 0 \\
 (Mp1 + Mp2 + Mp3 + Mp4 + Mp5 + Mp6 + Mp7 + Mp8) - \\
 (Mp9 + Mp10 + Mp11 + Mp12) &= 0
 \end{aligned}$$

$-3,075Do^3 - 47,344Do^2 - 27,86Do + 293,048 = 0$
Dengan menggunakan fungsi *goal seek* pada Ms.excel didapat harga Do sebesar 3m

Setelah mendapatkan nilai Do = 3, nilai tersebut adalah tambahan penetrasi kedalaman dinding yang dibutuhkan untuk mendapatkan kesetimbangan gaya dimana

$\sum M = 0$, kedalaman penetrasi sebelumnya yaitu sampai pada lapisan 3 sedalam 5 m jadi total kedalaman penetrasi menjadi 8 m kemudian dikali dengan faktor keamanan sebesar SF = 1,2 menjadi $9,6 \approx 10$ m, selanjutnya panjang total kedalaman dinding penahan tanah yaitu kedalaman galian *basement* 8 m ditambah kedalaman penetrasi 10 m yaitu 18 m.

Kontrol hidrodinamis

$$I \times SF < iw$$

$$\Delta h/D \times 1,2 < \gamma'/\gamma_w$$

Dimana

Δh = selisih antara dasar galian dengan kedalaman muka air tanah (m)

D = penetrasi kedalaman DPT

$$\Delta h = 8 - 3 = 5 \text{ m}$$

$$\gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w = 20 - 10 = 10 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma'/\gamma_w = 10/10 = 1 \text{ kN/m}^3$$

Sehingga,

$$10 \text{ m} > (\Delta h \times SF / iw)$$

$$10 \text{ m} > (5 \times 1,2 / 1)$$

$$10 \text{ m} > 6 \text{ memenuhi}$$

Perencanaan *Secant pile* (Tahapan Galian Kontruksi Metode *Bottom up*)

- Metode pelaksanaan *bottom up*

Metode ini juga disebut dengan metode konvensional dimana pembangunan gedung dilaksanakan dari bawah keatas pada pekerjaan *basement*. Pekerjaan struktur dilakukan setelah pekerjaan galian selesai mencapai elevasi yang direncanakan, pelat *basement* paling bawah dicor terlebih dahulu sehingga menjadi *Raft Foundation*, kemudian *basement* di selesaikan dari bawah ke atas, dengan menggunakan *scaffolding*. Kolom, balok, dan plat dicor ditempat (Asiyanto, 2012)

Urutan pekerjaan yang di lakukan pada pelaksanaan kontruksi *basement* dengan metode *bottom up* yaitu sebagai berikut :

1. Pekerjaan persiapan
2. Mobilisasi akses peralatan dan bahan
3. Pembuatan dinding penahanan tanah
4. Penggalian tanah
5. *Dewatering*
6. Pembuatan pondasi
7. Pembuatan kolom balok, dan pelat lantai sampai bertahap keatas

- Preliminary *secant pile*

Setelah mendapatkan total panjang dinding penahan tanah sedalam 18 m kemudian dilakukan preliminary desain dinding penahan tanah *secant pile* yaitu sebagai berikut

Diameter *primary pile* (tanpa tulangan) : 0,8 m

Diameter *secondary pile* (dengan tulangan) : 0,8 m

Spacing *secondary pile* : 1,2 m

Mutu beton (fc) : 40 mpa

Mutu baja (fy) : 400 mpa

Pada input pemodelan PLAXIS membutuhkan parameter kekakaun EI dan EA serta W, Karna pada

pemodelan menggunakan model *plane strain* maka nilai kekakuan secant pile berbentuk lingkaran akan di konversikan ke bentuk *plane strain*

A circle = $1/4 \pi d^2 = 0,5024 \text{ m}^2$ untuk d diameter
secant pile

I circle = $1/64 \pi d^4 = 0,020096 \text{ m}^4$

E circle = $4700\sqrt{f'_c} = 29725410 \text{ kN/m}^2$

konversi ke bentuk *Square*

S square = $\sqrt{A \text{ circle}} = 0,708802 \text{ m}$

I square = $1/12 \times S^4 = 0,021034 \text{ m}^4$

E square = $(E \text{ circle} \times I \text{ circle}) / I \text{ square} = 28400073 \text{ kN/m}^2$

EA = $(E \text{ plane strain} \times A \text{ plane strain}) / \text{spacing} = 11879354,76 \text{ kN/m}$

EI = $(E \text{ plane strain} \times I \text{ plane strain}) / \text{spacing} = 497801,53 \text{ kN/m}^2/\text{m}$

W = $(A \text{ circle} \times \gamma \text{ beton}) / \text{spacing} = 10,057 \text{ kN/m}$ dengan $\gamma \text{ beton} = 24 \text{ kN/m}$

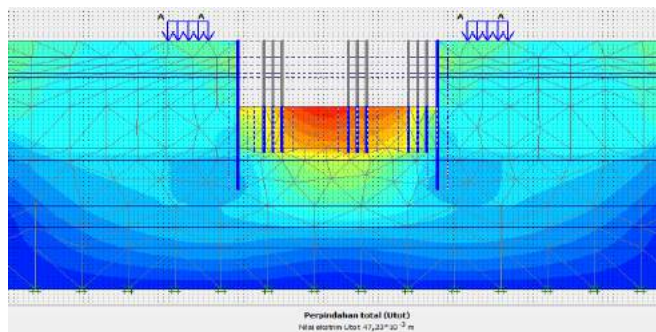
- Pemodelan analisis tahapan galian

Analisis stabilitas galian dimodelkan dengan program plaxis berturut turut dari galian elevasi -2m, -4m, -6m, -8m(dasar galian) untuk mengetahui defleksi *secant pile* dan nilai SF pada saat galian dilaksanakan, untuk hasil analisis stabilitas dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 7 Nilai defleksi dan SF

Tahapan galian	Defleksi secant pile	Defleksi ijin	SF	SF ijin	OK/ Tdk OK
galian elevasi - 2 m	0,35 cm	<4 cm	8,8	>1,5	OK
galian elevasi - 4 m	0,68 cm	<4 cm	4,5	>1,5	OK
galian elevasi - 6 m	1,5 cm	<4 cm	2,8	>1,5	OK
galian elevasi - 8 m	3,1 cm	<4 cm	1,8	>1,5	OK

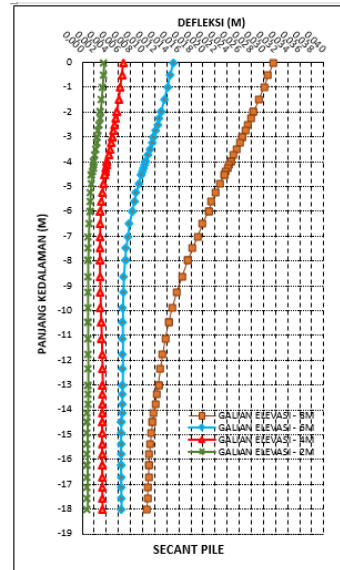
Sumber :Hasil Output plaxis



Gambar 5 pemodelan galian elevasi -8m
Sumber : Output Plaxis

Pemodelan Plaxis V.8.2 seperti pada gambar diatas pada saat galian -8 m (dasar basement) didapatkan nilai SF sebesar 1,87 > 1,5 serta defleksi maksimum yang terjadi yaitu sebesar 3,1 cm, syarat defleksi maksimum sesuai SNI 8460:2017 pasal 10.3.8.2 yaitu 0,5% dari H (kedalaman galian) di peroleh nilai defleksi ijin maksimum sebesar 4 cm. defleksi 3,1 cm < 4 cm maka syarat defleksi ijin terpenuhi. Analisis akibat basal heave pada dasar basement (elevasi -8m) diperoleh deformasi tanah ke atas 4 cm dan pada area luar area galian penurunan tanah di peroleh deformasi 2 cm nilai tersebut kecil sehingga tidak mempengaruhi stabilitas dasar galian dan penurunan yang terjadi tidak mempengaruhi area sekitar proyek.

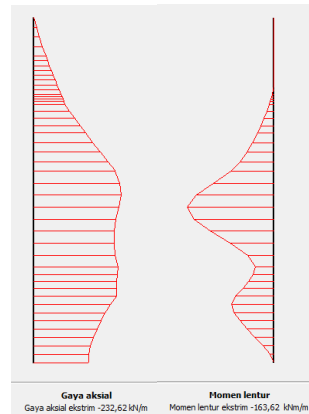
Kurva defleksi disepanjang *secant pile* berdasarkan tahapan galian dapat dilihat pada gambar berikut



Gambar 6 Kurva defleksi secant pile
Sumber : Hasil kurva (excel)

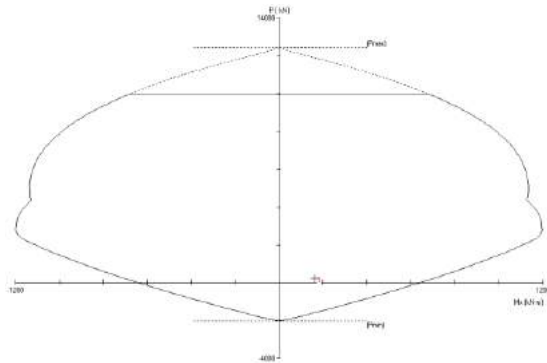
- Perhitungan tulangan secant pile

perhitungan tulangan utama digunakan program bantu PCA Colloumn, nilai input pada program PCA Colloum ini ada dua yaitu nilai aksial dan nilai momen,nilai tersebut dapat dicari dengan menggunakan program bantu PLAXIS V.8.2 nilai aksial maksimum dan momen maksimum pada pemodelan *secant pile* dapat dilihat pada Gambar berikut



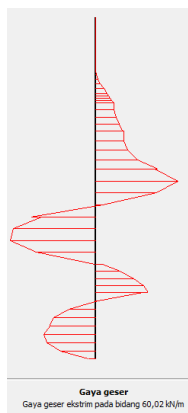
Gambar 7 Gaya aksial dan momen
Sumber : Output Plaxis

Hasil output PCA Colloumn di peroleh diameter 800 mm dengan dimensi tulangan utama D19 mm jumlah 20 memberikan rasio tulangan 1,13 % dimana syarat rasio tulangan yang di izinkan berdasarkan SNI 2847-2013 berkisar antara 1% - 8%, dan gaya gaya yang terjadi masih berada didalam diagram interaksi menandakan kapasitas *secant pile* cukup aman, diagram interaksi dapat dilihat pada gambar berikut



Gambar 8 Diagram interaksi secant pile
Sumber : PCA Column

Untuk tulangan geser diambil V_u dari hasil pemodelan plaxis yaitu sebagai berikut



Gambar 9 Gaya geser secant pile
Sumber : Output Plaxis

Perhitungan tulangan geser dimana $V_u = 60 \text{ kN}$

$$\begin{aligned} \phi V_c &= \phi 0,17 \lambda \sqrt{f'_c} \times 1/4 \pi D^2 \text{ dengan nilai } \lambda = 1 \\ &= 0,75 \times 0,17 \times 1 \sqrt{40} \times (1/4 \pi 800^2) \\ &= 405494,3 \text{ N} = 405,49 \text{ kN} \end{aligned}$$

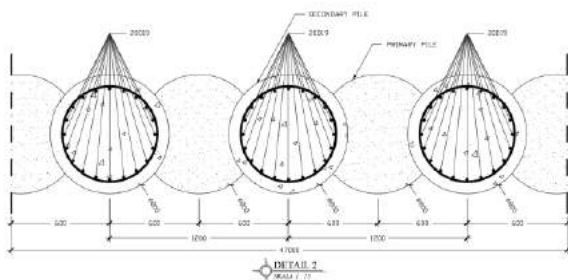
$\phi V_c > V_u$ (tidak perlu tulangan geser), untuk keamanan perencanaan dan sebagai pengikat antar tulangan utama maka di butuhkan tuangan geser, dipakai diameter 12mm dengan jarak yang di pakai diambil dari nilai terkecil antara.

$$48 \times \text{diameter sengkang} = 48(12) = 576 \text{ mm}$$

$$16 \times \text{diameter tulangan memanjang} = 16(19) = 304 \text{ mm}$$

Sehingga tulangan geser dipakai 12 – 300 mm

Hasil perencanaan secant pile dapat dilihat pada Gambar detail berikut :



Gambar 10 hasil perencanaan secant pile

- Anggaran biaya material secant pile

Biaya material primary pile (tanpa tulangan)

Menggunakan beton ready mix mutu beton K 300

$$\begin{aligned} \text{Biaya material beton} &= \text{volume beton m}^3 \times \text{haga satuan} \\ &= 1012,8384 \times \text{Rp } 725.000 = \text{Rp } 734.307.840 \end{aligned}$$

Biaya material secondary pile (dengan tulangan)

Menggunakan beton ready mix mutu beton K 500

$$\begin{aligned} \text{Biaya material beton} &= \text{volume beton m}^3 \times \text{haga satuan} \\ &= 999,7427 \times \text{Rp } 1.200.000 = \text{Rp } 1.199.691.183 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya material tulangan utama} &= \text{berat besi kg} \times \text{harga satuan} \\ &= 89752,32 \times \text{Rp } 8.702 = \text{Rp } 781.024,689 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya material tulangan sengkang} &= \text{berat besi kg} \times \text{harga satuan} \\ &= 13145,79 \times \text{Rp } 8.702 = \text{Rp } 114.394.738 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya maaterial secondary pile} &= \text{biaya beton} + \text{biaya tulangan utama} + \text{biaya tulangan sengkang} \\ &= \text{Rp } 2.095.110.610 \end{aligned}$$

Untuk biaya material total hasil rekapitulasinya dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 8 Biaya material secant pile

Total biaya material secant pile		
No	Item	Biaya material
1.	Primary pile	Rp 734.307.840
2.	Secondary pile	Rp 2.095.110.610
Total		Rp 2.829.418.450

Sumber :Hasil perhitungan

Perencanaan Diaphragm Wall (Tahapan Galian Kontruksi Metode Top down)

Pada metode kontruksi top-down, pelaksanaan pekerjaan struktur atas dilakukan bersamaan dengan pekerjaan basement yang dimulai dari atas kebawah dan dilanjutkan lapis demi lapis sampai kedalaman basement yang diinginkan, selama proses pelaksanaan, struktur pelat dan balok tersebut didukung oleh tiang baja yang di sebut king post.

1. Penggalian dan pengecoran dinding penahan tanah
2. Pengecoran bored pile dan pemasangan king post
3. Lantai basement 1, dicor diatas tanah dengan lantai kerja
4. Galian basement 1, dilaksanakan setelah lantai basement 1 sudah cukup kekuatannya menggunakan excavator kecil. Disediakan lubang lantai dan ramp sementara untuk pembuangan tanah galian.
5. Lantai basement 2, dicor diatas tanah dengan lantai kerja
6. Galian basement 2, dilaksanakan seperti galian basement 1,
7. Pengecoran raft foundation
8. King post dicor, sebagai kolom struktur
9. Bila memungkinkan, dapat dilakuakan pekerjaan struktur atas bersamaan dengan pekerjaan galian basement (system up & down)

- Preliminary diaphragm wall

Desain dinding penahan tanah diaphragm wall yaitu sebagai berikut

$$\text{Tebal diaphragm wall (h)} : 0,5 \text{ m}$$

$$\text{Lebar (b)} : 1 \text{ m}$$

$$\text{Mutu beton (f}_c\text{)} : 40 \text{ mpa}$$

$$\text{Mutu baja (f}_y\text{)} : 400 \text{ mpa}$$

Pada input pemodelan DPT, Program Plaxis membutuhkan parameter kekakuan EI dan EA serta W, Karna pada pemodelan menggunakan model *plane strain* maka nilai parameter kekakuan *diaphragm wall* yaitu
 Luas penampang (A) = $h \times b = 0,5 \text{ m}^2$
 Inersia penampang (I) = $h^3 \times b / 12 = 0,010417 \text{ m}^4$
 $E = 4700 \sqrt{f'_c} = 29725410 \text{ kN/m}^2$
 $EA = E \times A = 14862705 \text{ kN/m}$
 $EI = E \times I = 309639,7 \text{ kN/m}^2/\text{m}$
 $W = h \times \gamma \text{ beton} = 12 \text{ kN/m}$ dengan $\gamma \text{ beton} = 24 \text{ kN/m}^3$

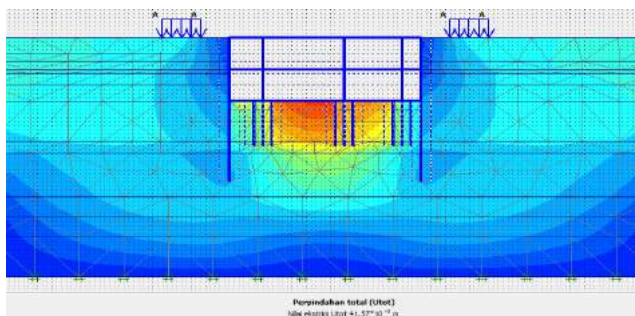
- Pemodelan analisis tahapan galian

Analisis stabilitas galian dimodelkan dengan program plaxis berturut turut dari galian elevasi -2m, -4m, -6m, -8m(dasar galian) untuk mengetahui defleksi *diaphragm wall* pada saat galian dilaksanakan, untuk hasil analisis stabilitas dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 9 Nilai defleksi dan SF

Tahapan galian	Defleksi diaphragm wall	Defleksi ijin	SF	SF ijin	OK/ Tdk OK
galian elevasi - 2 m	0,19 cm	<4 cm	14,7	>1,5	OK
galian elevasi - 4 m	0,36 cm	<4 cm	7,9	>1,5	OK
galian elevasi - 6 m	0,62 cm	<4 cm	7,1	>1,5	OK
galian elevasi - 8 m	0,95 cm	<4 cm	4,3	>1,5	OK

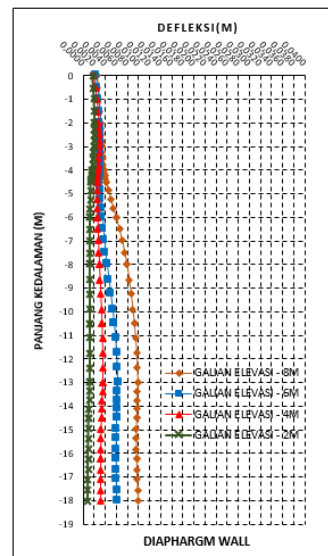
Sumber : Output plaxis



Gambar 11 pemodelan galian elevasi -8m
Sumber : Output Plaxis

Pemodelan PLAXIS V.8.2 pada gambar diatas galian – 8 m (dasar basement) mendapatkan nilai SF sebesar 4,3 > 1,5 serta defleksi maksimum yang terjadi yaitu sebesar 3,1 cm, syarat defleksi maksimum sesuai SNI 8460:2017 pasal 10.3.8.2 yaitu 0,5% dari H (kedalaman galian) di peroleh nilai defleksi ijin maksimum sebesar 4 cm. defleksi 0,95 cm < 4 cm maka syarat defleksi ijin terpenuhi. Analisis akibat basal heave pada dasar basement (elevasi – 8m) diperoleh deformasi tanah ke atas 3,7 cm dan pada area luar area galian penurunan tanah di peroleh deformasi 1,7 cm nilai tersebut kecil sehingga tidak mempengaruhi stabilitas dasar galian dan penurunan yang terjadi tidak mempengaruhi area sekitar proyek.

Kurva defleksi disepanjang *diaphragm wall* berdasarkan tahapan galian sebagai berikut



Gambar 12 Kurva defleksi *diaphragm wall*
Sumber : Hasil kurva (excel)

- Perhitungan tulangan *diaphragm wall*

Dari pemodelan PLAXIS *diaphragm wall* di rencanakan setebal 0,5 m mendapatkan Mmax negatif = 200 kNm seperti pada Gambar , untuk momen positif dapat pada output Tabel PLAXIS didapatkan Mmax positif 100 kNm.



Gambar 13 Momen *Diaphragm Wall*
Sumber : Output Plaxis

Data perencanaan *Diaphragm Wall* sebagai berikut

- Tebal (h) = 500 mm
- Lebar (b) = 1000 mm
- Tebal selimut = 75 mm
- Diameter tulangan utama = 22 mm
- Diameter tulangan horizontal = 16 mm
- Mutu beton (f'_c) = 40 Mpa
- Mutu baja (f_y) = 400 Mpa
- d = tebal – selimut beton – D tulangan horizontal – 0,5 D tulangan utama
- d = $500 - 75 - 16 - 0,5(22) = 398 \text{ mm}$

- Perhitungan tulangan lentur momen negatif

- Mu max negatif = 200 kNm
- β_1 untuk $28 \text{ Mpa} < f'_c < 56 \text{ Mpa}$
- $\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{f'_c - 28}{7} = 0,85 - 0,05 \frac{40 - 28}{7} = 0,764$

$$\rho \text{ balance} = 0,85\beta_1 \frac{f'c}{f_y} \left(\frac{600}{600+f_y} \right) =$$

$$0,85\beta_1 \frac{40}{400} \left(\frac{600}{600+400} \right) = 0,038$$

$$\rho \text{ max} = 0,625 \rho \text{ balance} = 0,024$$

$$\rho \text{ min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{200000000}{0,9 \times 1000 \times 398^2} = 1,402$$

$$\rho \text{ perlu} = \frac{0,85 f'c}{f_y} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2R_n}{0,85 f'c}} \right] = \frac{0,85 \times 40}{400} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,402}{0,85 \times 40}} \right]$$

$$= 0,00358$$

$\rho \text{ min} < \rho \text{ perlu} < \rho \text{ max}$ maka gunakan $\rho \text{ perlu}$

$$A_s = \rho b d = 0,00358 \times 1000 \times 398 = 1425,919 \text{ mm}^2$$

As / luas tulangan utama (D22) = 1425,919 / 379,94 = 3,75 ~ 4 buah / m

Maka digunakan D22 – 250 mm (As = 1519,7)

Kontrol ϕM_n dengan Mu ($\phi M_n > M_u$)

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f'c b} = \frac{1519 \times 400}{0,85 \times 40 \times 1000} = 17,87 \text{ mm}$$

$$\phi M_n = \phi A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 0,9 \times 1519 \times 400 \left(398 - \frac{17,87}{2} \right) = 212860145,9 \text{ Nmm}$$

$\phi M_n = 212860145,9 \text{ Nmm} > M_u = 200000000 \text{ Nmm} \dots \text{OK}$

- Perhitungan tulangan lentur momen positif

Mu max negatif = 100 kNm

β_1 untuk 28 Mpa < F'c < 56 Mpa

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{f'c - 28}{7} = 0,85 - 0,05 \frac{40 - 28}{7} = 0,764$$

$$\rho \text{ balance} = 0,85\beta_1 \frac{f'c}{f_y} \left(\frac{600}{600+f_y} \right) =$$

$$0,85\beta_1 \frac{40}{400} \left(\frac{600}{600+400} \right) = 0,038$$

$$\rho \text{ max} = 0,625 \rho \text{ balance} = 0,024$$

$$\rho \text{ min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{100000000}{0,9 \times 1000 \times 398^2} = 0,70144$$

$$\rho \text{ perlu} = \frac{0,85 f'c}{f_y} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2R_n}{0,85 f'c}} \right] = \frac{0,85 \times 40}{400} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,70144}{0,85 \times 40}} \right]$$

$$= 0,0017$$

$\rho \text{ min} < \rho \text{ perlu} < \rho \text{ max}$, $\rho \text{ perlu}$ tidak memenuhi persyaratan maka gunakan $\rho \text{ min}$

$$A_s = \rho b d = 0,0035 \times 1000 \times 398 = 1393 \text{ mm}^2$$

As / luas tulangan utama (D22) = 1393 / 379,94 = 3,66 ~ 4 buah / m

Maka digunakan D22 – 250 mm (As = 1519,7)

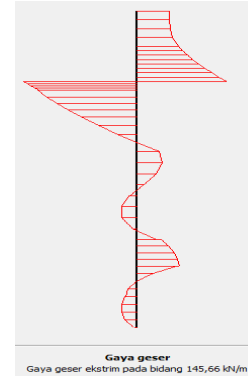
Kontrol ϕM_n dengan Mu ($\phi M_n > M_u$)

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f'c b} = \frac{1519 \times 400}{0,85 \times 40 \times 1000} = 17,87 \text{ mm}$$

$$\phi M_n = \phi A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = 0,9 \times 1519 \times 400 \left(398 - \frac{17,87}{2} \right) = 212860145,9 \text{ Nmm}$$

$\phi M_n = 212860145,9 \text{ Nmm} > M_u = 100000000 \text{ Nmm} \dots \text{OK}$

- Tulangan memanjang arah horizontal diberikan berdasarkan kebutuhan rasio minimum tulangan sebesar 0,0020 (SNI 2847:2013 pasal 14.3.3) sehingga $A_s = 0,0020 \times 500 \times 1000 = 1000 \text{ mm}^2$
As/luas tulangan horizontal (D16) = 1000/200,96 = 4,97 ~ 5 buah/m
Maka digunakan D16 – 200 mm (As = 1004,8) di kedua sisi dinding
- Tulangan geser didapat dari output PLAXIS pada dinding didapat gaya geser 145,66 kN



Gambar 14 Gaya geser diaphragm wall
Sumber : Output Plaxis

$V_u = 145,66 \text{ kN}$

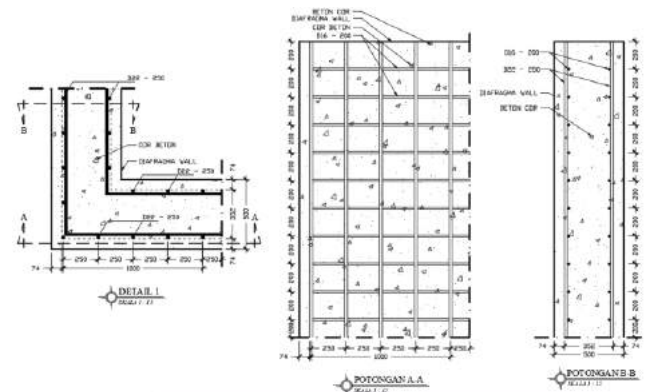
Kapasitas geser beton :

$$\phi V_c = \phi (0,17 \lambda \sqrt{f'c} b_w d)$$

$$\phi V_c = 0,75 (0,17 \times 1 \times \sqrt{40} \times 1000 \times 398) = 320939,55 \text{ N} = 320,939 \text{ kN}$$

$\phi V_c > V_u$ (tidak perlu tulangan geser)

Hasil perencanaan diaphragm wall dapat dilihat pada gambar detail dan potongan berikut :



Gambar 15 hasil perencanaan diaphragm wall

- Anggaran biaya material diaphragm wall
Menggunakan beton ready mix mutu beton K 500
Biaya material beton = volume beton m³ x harga satuan = 1193,821 x Rp 1.200.000 = Rp 1.432.585.827
Biaya material tulangan utama = berat besi kg x harga satuan = 58601,952 kg x Rp 8.702 = Rp 509.954.186
Biaya material tulangan horizontal = berat besi kg x harga satuan = 37578,96 kg x Rp 8.702 = Rp 327.012.110
Untuk biaya material total hasil rekapitulasinya dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 10 Biaya material *diaphragm wall*

Total biaya material <i>Diaphragm wall</i>		
No	item	Biaya material
1.	Beton <i>Diaphragm wall</i>	Rp 1.432.585.827
2.	Tul utama D 22	Rp 509.954.186
3.	Tul horizontal D 16	Rp 327.012.110
	total	Rp 2.269.552.123

KESIMPULAN DAN SARAN

kesimpulan

Panjang kedalaman dinding penahan tanah dengan konsep kesetimbangan momen ($\Sigma M=0$) diperoleh panjang kedalaman total 18 m dan di kontrol terhadap gejala hidrodinamis, maka digunakan sebagai perencanaan.

Untuk DPT secant pile tahapan galian metode bottom up dengan pemodelan plaxis didapatkan nilai defleksi secent pile maksimal pada tahapan galian dasar basement nilai SF sebesar $1,8 > 1,5$, besarnya defleksi yang terjadi 3,1 cm dimana syarat defleksi maksimum 4 cm, analisis akibat basal heave pada dasar basement (elevasi – 8m) diperoleh deformasi tanah ke atas 4 cm dan pada area luar galian penurunan tanah di peroleh deformasi 2 cm, perencanaan tulangan *secant pile* untuk tulangan utama didapat dari hasil output PCA Colloumn di peroleh diameter 0,8 m dimensi tulangan utama D19 mm jumlah 20 dengan biaya material diperoleh Rp 2.829.418.450.

Sedangkan untuk DPT *diaphragm wall* tahapan galian metode Top down dengan pemodelan plaxis didapatkan nilai defleksi maksimal pada tahapan galian dasar basement nilai SF sebesar $4,3 > 1,5$, besarnya defleksi *diaphragm wall* yang terjadi 0,95 cm dimana syarat defleksi maksimum 4 cm, analisis akibat basal heave pada dasar basement (elevasi – 8m) diperoleh deformasi tanah ke atas 3,7 cm dan pada area luar area galian penurunan tanah di peroleh deformasi 1,7 cm, perencanaan *diaphragm wall* ketebalan 0,5 m diperoleh tulangan utama momen positif D22 – 250 mm dan momen negatif D22 – 250 mm sedangkan tulangan horizontal diperoleh D16 – 200 mm dikedua sisi dinding, biaya material diperoleh Rp 2.269.552.123.

Dalam perbandingan metode pelaksanaan untuk metode bottom up meskipun prosesnya bertahap namun lebih mudah dilakukan, sedangkan untuk metode *top down* lebih sulit dan dibutuhkan ketelitian serta pengalaman yang memadai.

saran

1. Data tanah yang digunakan perlu data pengujian di lab untuk mendapatkan seluruh parameter yang di butuhkan, sehingga hasilnya lebih akurat dan perencanaan diharapkan dapat mendekati kondisi sesungguhnya di lapangan
2. Metode pelaksanaan *Top down* dapat dilaksanakan, namun membutuhkan keahlian dan pengalaman dalam pengerjaanya
3. Untuk penulangan perlu juga meninjau terhadap sambungan antar struktur pada *basement*

4. Disarankan untuk lebih banyak pengalaman dalam menggunakan software sehingga tidak ditemukan kesalahan dalam mengoperasikannya

DAFTAR PUSTAKA

- Asiyanto. 2012. *Metode Konstruksi Gedung Bertingkat*. Jakarta: Universitas Indonesia (UI-Press).
- Bowles, J.E. 1983. *Analisa dan desain pondasi jilid II*. Jakarta: Erlangga.
- Brinkgreve, R.B.j. 2002. *PLAXIS reference manual V8.2*. Belanda: PLAXIS b.v, AN DELFT.
- Das, B. M. 1995. *Mekanika Tanah (Prinsip Prinsip Rekayasa Geoteknis Jilid II)*. Terjemahan Noor Endah, & Indrasurya B. Mochtar. Jakarta: Erlangga.
- Hardiyatmo, H. C. 2002. *Mekanika Tanah II*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Kurniawan, D.A. 2017. *Perencanaan Dinding Penahan Tanah pada Basement Midtown Point and Ibis Styles Hotel Jakarta*. Skripsi. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.
- Lafiza, A. 2017. *Analisis Perbandingan Metode Top down dan Bottom up pada Proyek Fave Hotel Ketintang ditinjau dari Segi Biaya dan Waktu*. Skripsi. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.
- Mistra. 2012. *Struktur dan Kontruksi Bangunan Tinggi Sistem Top and Down*. Jakarta: Griya kreasi.
- Nugroho, A.D. 2011. *Analisis Pemakaian Diaphragm Walls pada Galian Basement dengan Progam PLAXIS (Studi Kasus: Proyek Hotel Santika Medan)*. Tugas akhir. Medan: Universitas Sumatra Utara
- Ou Chang-yu. 2006. *Deep Excavation Theory and Practice* London: Taylor & Francis Group.
- Setiawan, A. 2016. *Perancangan Struktur Beton Bertulang (Berdasarkan SNI 2847:2013)*. Jakarta: Erlangga.
- SNI: 8460-2017. *Persyaratan Perancangan Geoteknik*. BSN: ICS 91.010.01.