

PERENCANAAN BASEMENT GEDUNG PARKIR APARTEMENT SKYLAND CITY EDUCATION PARK – BANDUNG

Suwarno¹

¹Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan,
Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya
Jl. Arief Rahman Hakim, Kampus ITS Keputih Surabaya 60111. Telp 031-5946094
Email: suwarno.surabaya@gmail.com

Abstrak

Terbatasnya lahan parkir dan semakin tingginya harga beli tanah di kota Bandung saat ini menjadikan permasalahan tersendiri bagi pengembang. Pembangunan struktur bawah tanah (basement) untuk lahan parkir saat ini menjadikan pilihan utama bagi pemecahan masalah tersebut. Konstruksi struktur bawah tanah memerlukan kriteria tersendiri dalam desain maupun dalam tahapan pelaksanaan konstruksi. Faktor yang mempengaruhi diantaranya adalah karakteristik tanah dan lingkungan di sekitar lokasi proyek. Semula proyek ini mengadopsi metoda bottom-up, yaitu dimulai dari pembuatan pondasi atau penggalian tanah dengan kedalaman yang direncanakan untuk kebutuhan pembuatan lantai basement gedung bertingkat. Permasalahan dalam proyek pembangunan gedung Apartement ini adalah pada saat penggalian terdapat banyak kebocoran air tanah pada bagian dinding penahan tanah sehingga diperlukan pengerjaan dinding penahan tanah tambahan yang kedap air. Proses dewatering mengakibatkan penurunan muka air tanah pada sekitar proyek. Proyek ini semula direncanakan menggunakan pondasi semi bored pile (diameter lebih kecil dari 76 cm), sehingga membutuhkan jumlah yang lebih banyak jika dibandingkan dengan bored pile karena pada umumnya diameter bored pile lebih besar dari 76 cm. Hal ini menyebabkan bertambahnya waktu dan biaya yang harus dikeluarkan serta berdampak negatif pada lingkungan sekitar khususnya kepada rumah penduduk. Dalam permasalahan tersebut penulis menyusun makalah untuk merencanakan metoda yang tepat dalam pembangunan basement ini, yaitu dengan menggunakan diaphragm wall dan metoda top-down. Metoda Top-down tidak dimulai dari lantai basement paling bawah (dasar galian). Tepatnya, titik awal pekerjaan dimulai dari pelat lantai satu (ground level atau muka tanah). Struktur yang direncanakan untuk basement adalah diaphragm wall untuk dinding penahan tanah, dan bored pile untuk pondasi utama; serta mengatasi kebocoran dinding penahan tanah sebelumnya dengan type diaphragm wall. Dari hasil kajian didapatkan kedalaman penanaman diaphragm wall adalah 6.0 m dengan tebal 50.0 cm, digunakan angkur dengan jarak antar angkur 2.0 m, kemiringan 25^o, panjang angkur 9.5 m dan diameter angkur 15 cm. Tebal pelat basement adalah 50.0 cm. Digunakan 2 (dua) type bored pile yaitu bell shaped diameter 1,4 m dan diameter 2.0 m. Kedalaman bored pile bervariasi 6.0-15.0 m. Metoda konstruksi direncanakan metoda top-down sehingga 1 pondasi bored pile digunakan untuk 1 kolom (one bored pile one column). Pemakaian diaphragm wall menggantikan dinding penahan tanah sebelumnya (konvensional).

Kata kunci : basement; bored pile; bottom up; diaphragm wall; top down

Pendahuluan

Terbatasnya lahan dan semakin tingginya harga beli tanah di Kota Bandung saat ini menjadikan permasalahan tersendiri bagi pengembang. Pembangunan secara vertikal untuk lahan parkir saat ini menjadikan pilihan utama bagi pemecahan masalah tersebut. Konstruksi struktur bawah tanah memerlukan kriteria tersendiri dalam desain maupun dalam tahapan pelaksanaan konstruksi. Faktor yang mempengaruhi dari kriteria tersebut diantaranya adalah karakteristik tanah dan lingkungan di sekitar lokasi proyek. Desain sebuah struktur bawah tanah di lingkungan yang sekitarnya telah ada bangunan permanen akan lebih sulit dibanding dengan lingkungan proyek yang belum ada bangunan permanen.

Penentuan system dinding penahan tanah dan tipe pondasi apa yang tepat untuk konstruksi tersebut serta metode konstruksi apa yang tepat agar lingkungan sekitar tidak terganggu dengan proyek pembangunan tersebut. Hal ini terjadi pada proyek pembangunan Gedung Parkir Apartement Skyland City Education Park Jatinarongor (Bandung). Gedung ini direncanakan 4 lantai dan 2 lantai basement sampai kedalaman 6 m di bawah muka tanah yang digunakan sebagai lahan parkir. Sekitar lokasi proyek merupakan daerah padat penduduk. Perencanaan awal

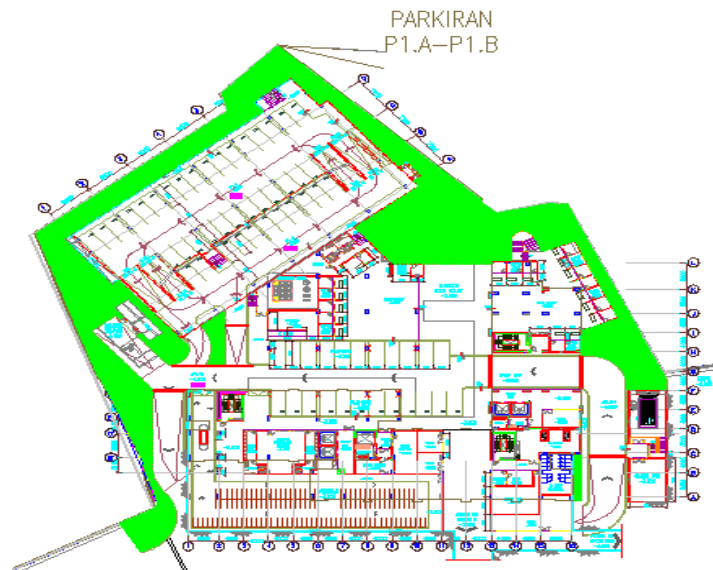
proyek ini mengadopsi metode *bottom-up*, yaitu dengan sistem *bottom-up* umumnya dimulai dari pembuatan pondasi atau penggalian tanah unruk basement. Tahapan dilanjutkan dengan pekerjaan pondasi semi *bored pile* yang diteruskan dengan pembuatan balok pondasi, pelat *basement*, dan kolom. Pekerjaan tipikal untuk kolom, balok, dan pelat akan menerus ke lantai, hingga pelat atap.

Permasalahan dalam proyek pembangunan gedung Apartement ini adalah pada saat penggalian terdapat banyak kebocoran air tanah pada bagian dinding penahan tanah sehingga diperlukan pengerjaan dinding penahan tanah tambahan yang kedap air. Proses dewatering mengakibatkan penurunan muka air tanah pada sekitar proyek. Proyek ini semula direncanakan menggunakan pondasi semi bored pile (diameter lebih kecil dari 76 cm), sehingga membutuhkan jumlah yang lebih banyak jika dibandingkan dengan bored pile karena pada umumnya diameter bored pile lebih besar dari 76 cm. Hal ini menyebabkan bertambahnya waktu dan biaya yang harus dikeluarkan serta berdampak negatif pada lingkungan sekitar khususnya kepada rumah penduduk.

Oleh sebab itu diperlukan metoda yang tepat dalam pembangunan basement ini, yaitu dengan menggunakan diaphragm wall dan metoda top-down. Metoda Top-down tidak dimulai dari lantai basement paling bawah (dasar galian). Tepatnya, titik awal pekerjaan dimulai dari pelat lantai satu (ground level atau muka tanah). Struktur yang direncanakan untuk basement adalah diaphragm wall untuk dinding penahan tanah, dan bored pile untuk pondasi utama; serta mengatasi kebocoran dinding penahan tanah sebelumnya dengan type diaphragm wall.

Pada perencanaan awal gedung parkir tersebut hanya dapat menampung 180 kendaraan. Pada hal ini pengembang ingin memanfaatkan lahan yang tersisa di sekitar lahan gedung parkir sehingga gedung parkir tersebut dapat menampung 300 kendaraan.

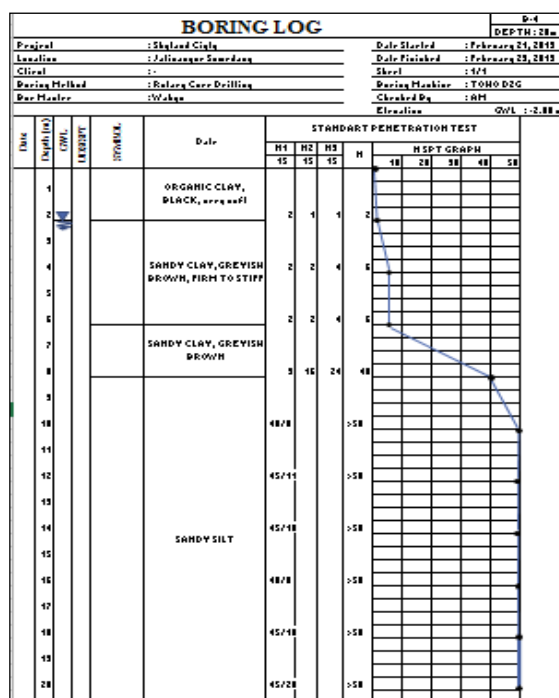
Dengan menggunakan metode *top-down* karena waktu pelaksanaan (*time schedule*) dapat dipersingkat 10–20 % dibanding sistem konvensional, biaya pelaksanaan pembangunan dapat diperkecil, lahan kerja/ luas tanah yang terbatas tidak menjadi halangan terlambatnya proses pekerjaan, pekerjaan awal dapat dimulai secara bersamaan tanpa saling menunggu sehingga tidak ada pekerjaan tunda. Artinya, saat proses galian berjalan, pekerjaan struktur atas juga dapat bergerak bersamaan. Struktur yang akan direncanakan untuk konstruksi *basement*, yaitu *diaphragm wall* untuk dinding penahan tanah, dan *bore pile* untuk pondasi utama. Denah Gedung Parkir Apartement Skyland City Education Park-Bandung ditunjukkan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Denah Gedung Parkir Apartement Skyland City Education Park-Bandung.

Tinjauan Pustaka

Data tanah ditunjukkan dalam bor log Gambar 2.



Gambar 2. Bor Log

Korelasi SPT digunakan karena data tanah yang didapat adalah hasil dari SPT untuk mendapatkan parameter tanah lainnya dengan pendekatan seperti yang

Tabel 1. Korelasi Nilai N pada tanah cohesionless

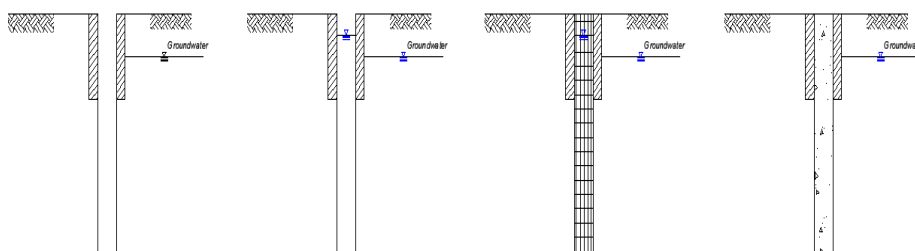
N	0-3	4-10	11-30	31-50	>50
γ (kN/m ³)	-	16-25	14-18	16-20	18-23
ϕ	0	25-32	28-36	30-40	>33
State	Very Loose	Loose	Medium	Dense	Very Dense
Dr (%)	0-15	15-35	35-65	65-85	85-100

Tabel 2. Korelasi Nilai N pada tanah cohesive

N	< 4	4-6	6-15	16-25	>25
γ (kN/m ³)	14-16	16-18	16-18	16-20	18-23
q_u (kPa)	< 25	20-50	30-60	40-200	>100
Consistency	Very soft	Soft	Medium	Stiff	Hard

Diaphragm Wall

Dinding diafragma adalah selaput beton bertulang yang relatif tipis (30 cm – 120 cm) yang dicor kedalam suatu lubang galian, dimana sisi-sisi galian tersebut sebelum dicor didukung oleh tekanan hidrostatis dari air yang dicampur dengan bentonit (lempung montmorilonite). Bila dicampur dengan air, bentonite dengan cepat akan menyebar untuk membentuk suspensi koloid yang memiliki sifat-sifat tiksotropik (membentuk gel jika tidak digerakan). Ketebalan dinding dapat diasumsikan sebesar 5% dari kedalaman galian di preliminary design. Proses konstruksi diaphragm wall ditunjukkan dalam Gambar 3.



Gambar 3 Konstruksi Diaphragm Wall

Bored Pile

Salah satu alternatif pemakaian pondasi dalam adalah tiang bor. Istilah tiang bor dikarenakan ketika pemasangan tiang tersebut, dibuat lubang pada tanah di kedalaman tertentu dengan cara dibor, kemudian dimasukkan rangkaian tulangan dan selanjutnya dimasukan adukan beton. Terkadang penulangan dipasang tidak sampai dasar tiang. Hal ini dilakukan untuk pertimbangan efisiensi.

• Perhitungan Dimensi Tiang Bor.

$$A = \frac{Q_w}{f'_c} = \frac{Q_w}{0,25 f'_c} \quad (1)$$

$$\frac{1}{4} \pi D_s^2 = \frac{Q_w}{0,25 f'_c} \rightarrow D_s = 2,257 \sqrt{\frac{Q_w}{f'_c}}$$

Dimana,

- A = luas penampang tiang bor
- Q_w = beban yang bekerja diatas tiang
- f'_c = jarak horizontal antar tulangan miring
- D_s = diameter tiang bor

• Perhitungan Daya Dukung Tiang Bor

Daya dukung tiang dihitung dengan rumus

$$Q_u = Q_e + Q_f \text{ dan } Q = \frac{Q_u}{SF} \quad (2)$$

Dimana,

- Q_u = daya dukung *ultimate*
- Q_d = daya dukung ijin
- Q_e = daya dukung di ujung tiang
- Q_f = daya dukung pada selimut tiang
- SF = angka keamanan

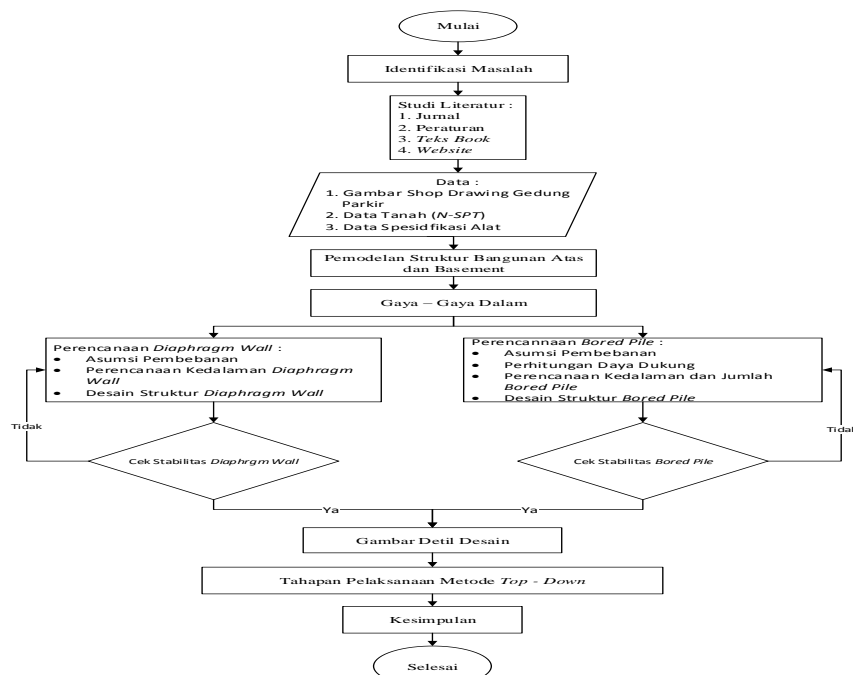
• Daya Dukung pada selimut tiang bor.

$$Q_f = \int_0^L p f dz \quad (3)$$

Dimana,

- L = panjang tiang
- p = keliling tiang
- f = hambatan pelekat
- dz = luas diagram tekanan tanah pada tiang

Diagram Alir Metode Perencanaan.



Gambar 4. Diagram Alir Metode Perencanaan

Perencanaan Basement

Rekapitulasi data tanah yang didapatkan dari pengujian di laboratorium serta hasil korelasi dirangkum dalam Tabel 3.

Tabel 3. Hasil korelasi N-SPT

KEDALAMAN	JENIS TANAH	N SPT	N1	γ'	γ_{sat}	C_u	$P_{o'}$	ϕ	Karakteristik
2	CLAY	2		-	1.4	1,2	0.7	0	Very Soft
4	SANDY CLAY	6		0.6	1.6	0	3.4	28	Loose
6	SANDY CLAY	6		0.6	1.6	0	5.6	28	Loose
8	SANDY CLAY	40	28	0.7	1.7	0	5.9	35	Medium
10	SANDY SILT	50	33	0.8	1.8	0	7.4	38	Dense
12	SANDY SILT	50	33	0.8	1.8	0	9	38	Dense
14	SANDY SILT	50	33	0.8	1.8	0	10.6	38	Dense
16	SANDY SILT	50	33	0.8	1.8	0	12.2	38	Dense
18	SANDY SILT	50	33	0.8	1.8	0	13.8	38	Dense
20	SANDY SILT	50	33	0.8	1.8	0	15.4	38	Dense
22	SANDY SILT	50	33	0.8	1.8	0	18.6	38	Dense
24	SANDY SILT	50	33	0.8	1.8	0	20.2	38	Dense
26	SANDY SILT	50	33	0.8	1.8	0	21.8	38	Dense
28	SANDY SILT	50	33	0.8	1.8	0	23.4	38	Dense
30	SANDY SILT	50	33	0.8	1.8	0	25	38	Dense

Analisa Beban pada Dinding Penahan Tanah.

Beban yang bekerja pada dinding penahan tanah terdapat 2 macam:

1. Beban luar : berupa beban dari luar selama proses konstruksi dinding diafragma
2. Beban dalam : berupa beban yang ditimbulkan dari tekanan tanah aktif, serta air tanah

Beban luar dianggap sebagai surcharge, yang letaknya berada pada bagian aktif dari dinding penahan tanah yang akan direncanakan. Surcharge yang bekerja pada turap dinding ini dianalisa dari :

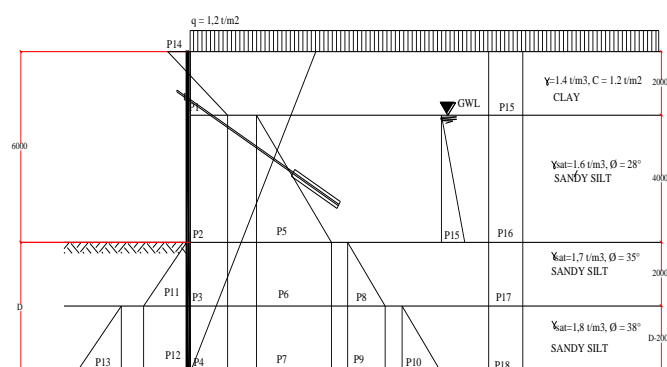
1. Gedung *apartement skyland city education park* yang sudah ada terletak sebelah tenggara lokasi proyek,
2. Rumah Warga 2 lantai yang terletak di sisi selatan lokasi proyek, dan
3. Alat berat (clamp shell, excavator, dump truck, bull dozer).

Perencanaan Dinding Diafragma

Perencanaan dinding diafragma diambil pada kedalaman galian maksimum dengan tinggi, $h = 6\text{m}$, dan pada kedalaman galian minimum dengan tinggi, $h = 4.5\text{m}$.

- Perencanaan perkuatan dinding diafragma untuk galian dengan tinggi, $h = 6\text{m}$ dengan angkur.

Kedalaman dinding dihitung berdasarkan tegangan tanah aktif, tegangan tanah pasif, dan tegangan tanah akibat air tanah. tekanan tanah lateral akibat beban yang bekerja pada tanah. Dalam hal ini beban terbagi merata yang digunakan adalah sebesar $1,2\text{ t/m}^2$. Diagram tekanan lateral tanah total yang bekerja pada struktur *diaphragm wall* dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram tekanan tanah total

Setelah itu mencari kedalaman jepit menggunakan persamaan $\sum M_T = 0$, dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 : Perhitungan Momen di titik T

Gaya	Besar Tekanan (t/m^2)	jarak terhadap T	M
Ea1	2.60	0.06	0.16
Ea2	4.00	3.5	14.00
Ea3	1.50	5.5	8.25
Ea4	$0.64D-1.2$	$0.5D+5.5$	$0.32D^2 + 2.92D - 6.6$
Ea5	1.72	2.67	4.59
Ea6	1.30	5.5	7.15
Ea7	$0.55D-1.1$	$0.5D+5.5$	$0.35D^2 + 2.8D + 8.4$
Ea8	0.38	5.17	1.96
Ea9	$0.32D-0.64$	$0.5D+5.5$	$0.35D^2 + 2.8D + 8.4$
Ea10	$0.22D^2 - 0.57D + 0.7$	$0.67D+4.33$	$0.19D^3 + 0.9D^2 - 5.78D + 6.56$
Ea11	2.40	1	2.40
Ea12	1.44	2	2.88
Ea13	0.66	5	3.30
Ea14	$0.28D-0.56$	$0.5D+5.5$	$0.18D^2 + 1.29D - 3.24$
Ep1	4.20	4.67	19.61
Ep2	$5.88D-11.76$	$0.5D+5.5$	$2.9D^2 + 38.22D + 8.4$
Ep3	$1.7D^2 - 6.7D + 6.7$	$0.67D+4.33$	$1.14D^3 + 2.8D^2 - 24.522D + 29.01$
Ep4	2.18	1.8	3.92
Ew	8.00	3.17	25.36

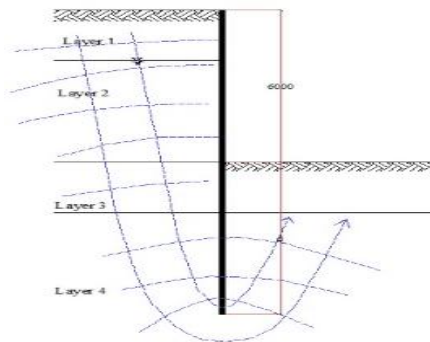
Dari persamaan $\sum M_T = 0$, didapatkan persamaan : $\sum M = -0,99d^3 - 4,35d^2 + 4,07d + 61,82$

Persamaan tersebut kemudian dicari dengan cara *trial & error*, sehingga didapatkan nilai $d = 3,2$ m maka kedalaman penanaman *diaphragm wall* = $3,2 \times SF (1,2) = 3,84$ m, dengan demikian panjang total kebutuhan *diaphragm wall* (H) adalah kedalaman galian + kedalaman penanaman: $6 + 3,84 \text{ m} = 9,84 \text{ m} \approx 10 \text{ m}$.

Perhitungan Kedalaman Dinding Berdasarkan *Hydrodynamic*.

Kedalaman galian dinding akan dihitung berdasarkan kemaman terhadap aliran air atau dikenal dengan *hydrodynamic*. Perbedaan ketinggian hidrolis air antara daerah aktif dan pasif dapat menyebabkan pergerakan air kedalam daerah pasif tanah, dalam hal ini adalah lubang galian. Kedalaman yang aman terhadap *hydrodynamic* berarti dinding dapat memotong aliran tanah, sehingga pada saat proses penggalian nantinya aliran air tidak akan menjadi masalah yang serius namun tetap harus dilakukan *dewatering*.

Berikut ini ditampilkan ilustrasi *hydrodynamic* pada bukaan tanah seperti terlihat pada Gambar6.



Gambar 6. Hydrodynamic pada bukaan tanah

Kedalaman penurapan (D_c) harus cukup untuk mengatasi gejala *hydrodynamic* yang dapat mengganggu kestabilan dinding dan lubang galian tanah. Gejala tersebut dapat dihitung dengan mengontrol rasio antara nilai gradien hidrolis i dengan gradien hidrolis kritis.

$$i (\text{gradien hidrolis}) \times SF < i_{cr} (\text{gradien hidrolis kritis})$$

(4)

$$\Delta h / D_c \times 1,2 < \gamma' / \gamma_w \quad (\gamma_w \text{ diambil rata-rata})$$

$$4 / D_c \times 1,2 < 0,8 / 1$$

$$4,8 < 0,8 D_c$$

$$D_c < 6 \text{ m}$$

Kedalaman penurapan berdasarkan perhitungan stabilitas tanah lebih besar dari kedalaman yang disyaratkan dari perhitungan kedalaman secara *hydrodynamic*, sehingga untuk perencanaan digunakan $D_{\text{penurapan}} \approx 6$ m, sehingga panjang dinding diafragma adalah 12.00 m

Perhitungan Gaya, Dimensi, dan Posisi Angkur.

Gaya yang diterima oleh angkur didapatkan dengan menghitung total jumlah gaya horizontal sama dengan nol.

Anchor force, T

$$\sum H = 0$$

$$\sum E_a - \sum E_p - T = 0$$

$$T = 28.86 - 13.92 = 14.9 \text{ ton}$$

- Menghitung penampang angkur.

$$\sigma_b = \frac{F}{A}$$

Direncanakan $\sigma_b = 1200 \text{ kg/cm}^2$

$$1200 = \frac{2 \times (14.9 / \cos 25) \times 10^3}{0.25 \pi d^2}$$

$$D = 5.88 \text{ cm (digunakan diameter 15 cm)}$$

- Menentukan gaya dan posisi angkur

$$\text{Gaya angkur, } P_u = \pi \cdot d \cdot l \cdot \sigma'_v \cdot K \cdot \tan \theta; \quad \text{SF} = 1.5 - 2$$

dimana :

θ = sudut geser dalam tanah

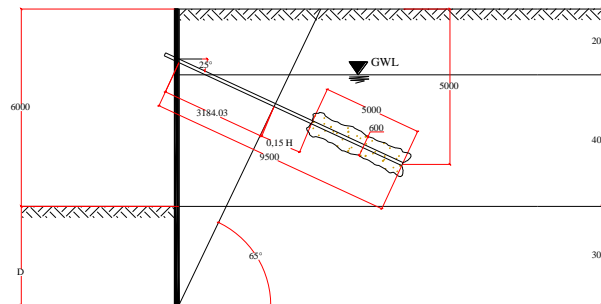
σ'_v = tegangan efektif rata-rata ($\gamma' \cdot z$)

K = Koefisien tanah

$$T_u = \pi \times 0.8 \times 3 \times (0.6 \times 5) \times 1.5 \times \cos 25^\circ = 30.75 \text{ ton}$$

$$T_u = 30.75 / 2 = 15.4 \text{ ton} > T = 14.9 \text{ ton} \dots \text{Ok}$$

Pada Gambar 7 ditunjukkan posisi minimum angkur dengan posisi miring.



Gambar 7. Posisi minimum angkur miring.

Momen maksimum terletak di kedalaman -2m, dengan momen 8.9 ton-meter, serta gaya geser maksimum 10.06 ton dan defleksi sebesar 0.1 mm. Untuk dinding diafragma basement yang memiliki kedalaman 4,5 m dilakukan perhitungan yang sama (namun tidak menggunakan angkur) didapatkan kedalaman penurapan 7,5 m sehingga panjang dinding total adalah 12 m.

Perencanaan Bored Pile

Perencanaan pondasi *bored pile* ini akan dimulai dari kedalaman -6m di bawah permukaan tanah asli. Berikut ini spesifikasi model pondasi yang digunakan pada *Gedung Parkir Apartement Skyland City Education Park*.

- Model : Bored pile.
- Mutu Beton : 30 Mpa.
- Mutu baja : BJ 41.

Gaya – gaya yang diperoleh untuk perhitungan struktur bored pile menggunakan alat bantu perhitungan **ETABS v.9**.

Perencanaan Diameter Bored Pile

$$D_s = 2,257 \sqrt{\frac{Q_w}{f_{c'}}} \quad (5)$$

$$Q_w = 13775 \text{ KN}$$

$$f_{c'} = 30 \text{ Mpa} = 30000 \text{ kN/m}^2$$

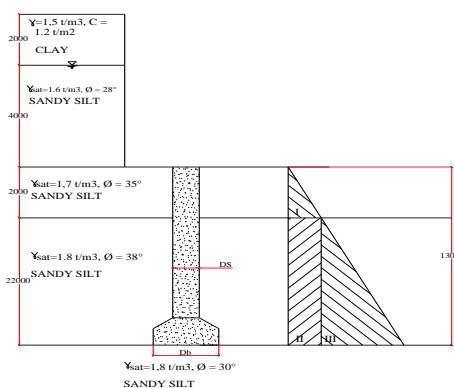
$$D_s = 2,257 \sqrt{\frac{13775 \text{ KN}}{30000}} = 1,48 \text{ m}$$

Namun untuk perencanaan D_{shaft} digunakan diameter 1,5 m, sedangkan untuk $D_{\text{bell}} = 1,5 D_s$ sehingga $D_b = 2,3 \text{ m}$. Dalam perencanaan, diameter bored pile ini diseragamkan dengan diameter bored pile lain namun untuk D_b ,

perhitungan D_b dilakukan cara *trial and error*. Penyeragaman diameter dilakukan agar tidak terjadi kesalahan pada saat pelaksanaan di lapangan.

Perhitungan Daya dukung Bored pile

Perhitungan daya dukung bored pile dimulai dari kedalaman -6 m dan panjang bored pile adalah 21 m yang terdapat pada Gambar 8.



Gambar 8. Bored Pile

$$q' = (\gamma_{sat2} - \gamma_w)h_2 + (\gamma_{sat3} - \gamma_w)h_4$$

$$q' = (1,7 - 1) 2 + (1,8 - 1) 13 = 11,6 \text{ ton/m}^2 = 116 \text{ KN/m}^2$$

$$Q_e = A_p \cdot q' (N_q - 1) = 3,14 \cdot 116 (110 - 1) = 40475 \text{ KN}$$

$$Q_s = \pi D_s (1 - \sin \phi) \delta \int \sigma_v dz$$

$$\int \sigma_v dz_1 = (\gamma'_1 \cdot 0,5 h_1) h_1 = (7 \cdot 0,5 \cdot 2) 2 = 14 \text{ KN}$$

$$\int \sigma_v dz_2 = (\gamma'_1 \cdot 0,5 h_1) h_1 + (h_1 \gamma'_1) h_2 + (\gamma'_2 \cdot h_2) \frac{1}{2} h_2$$

$$= (7 \cdot 0,5 \cdot 2) 2 + (2 \cdot 7) 13 + (8 \cdot 13) 0,5 \cdot 13 = 875,82 \text{ KN}$$

$$Q_{s1} = \pi D_s (1 - \sin 38) \tan \left(\frac{2}{3} 38^\circ\right) \int \sigma_v dz = \pi 1,5 (1 - \sin 35) \tan \left(\frac{2}{3} 35^\circ\right) 20 = 13,34 \text{ KN}$$

$$Q_{s2} = \pi D_s (1 - \sin 40) \tan \left(\frac{2}{3} 40^\circ\right) \int \sigma_v dz = \pi 1,5 (1 - \sin 35) \tan \left(\frac{2}{3} 35^\circ\right) 875,2 = 836,79 \text{ KN}$$

$$Q_u = Q_e + Q_s = 40475 + 13,34 + 836,79 = 41325,13 \text{ KN}$$

$$Q_{ijin} = \frac{Q_u}{SF} = \frac{41325,13 \text{ KN}}{3} = 13775,04 \text{ KN}$$

$$Q_{ijin} > Q_w$$

$$13775,04 \text{ KN} > 13775 \text{ kN} \dots \text{ OK}$$

Perhitungan Penurunan Bored pile

Penurunan bored pile perlu diketahui untuk mengetahui perbedaan penurunan antar bored pile. Hal ini mencegah terjadinya kerusakan struktur atas akibat perbedaan penurunan dari bored pile. Perhitungan penurunan dapat dihitung dengan cara sebagai berikut:

$$S_t = S_1 + S_2 + S_3 \quad (6)$$

- Penurunan dari pile shaft (S_1)

$$S_1 = \frac{(Q_{wp} + \xi Q_{ws}) L}{A_s \cdot E_m} \quad (7)$$

$$= \frac{(12925 + 0,67 \cdot 850,13) 15}{1,77 \cdot 21 \times 10^6} = 0,0055 \text{ m}$$

- Penurunan dari ujung tiang (S_2)

$$S_2 = \frac{q_{wp} D_b}{E_s} (1 - \mu_s) \quad (8)$$

$$S_2 = \frac{4116,2 \times 2}{75 \times 10^3} (1 - 0,2) = 0,066 \text{ m} \quad \text{maka} \quad q_{wp} = \frac{Q_{wp}}{A_p} = \frac{12925}{3,14} = 4116,2$$

- Penurunan dari penjalaran beban sepanjang selimut tiang (S_3)

$$S_3 = \left(\frac{Q_{ws}}{p \cdot L} \right) \frac{D_s}{ES} (1 - \mu_s) I_{ws} \quad (9)$$

$$I_{ws} = 2 + 0,35 \sqrt{\frac{L}{D}} = 2 + 0,35 \sqrt{\frac{15}{1,5}} = 3,108$$

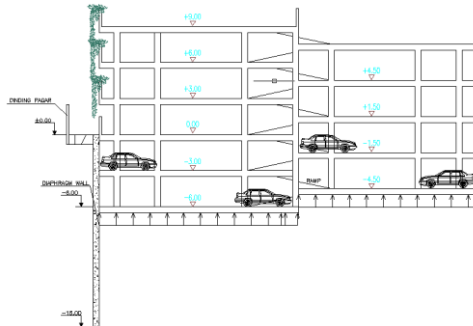
$$S_3 = \left(\frac{850,13}{\pi \cdot 1,5 \cdot 15} \right) \frac{1,5}{75 \times 10^3} (1 - 0,2) 3,39 = 0,0006 \text{ m}$$

- Penurunan Total (S_t)

$$S_t = 0,0082 + 0,025 + 0,0006 = 0,072 \text{ m} = 7,2 \text{ cm}$$

Perencanaan Pelat Lantai Basement

Dalam mencari tebal pelat lantai basement ini, harus dipastikan struktur aman terhadap uplift. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Uplift pada pelat basement

$$\gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3; \gamma_{\text{beton}} = 24 \text{ kN/m}^3; A = 834,6 \text{ m}^2; t = 30 \text{ cm.}$$

maka tekanan uplift, $u = z \times \gamma_w = 4 \times 10 = 40 \text{ kN/m}^2$, sehingga gaya uplift : $P = u \times A = 40 \times 834,6 = 33384 \text{ kN}$

Berat pelat lantai basement, $W_1 = \gamma_{\text{beton}} \times t \times A = 24 \times 0,30 \times 834,6 = 6009,12 \text{ kN}$

Berat Akibat Gedung Parkir, $W_2 = 34194 \text{ kN}$ dan Berat bored pile, $W_3 = 30286 \text{ kN}$

SF = $(6009,12 + 34194 + 30286) / 33382 = 2,1 > 1,5$ OK, tebal lantai basement 0,3 m memenuhi.

Metode Pelaksanaan Basement

Tahap pelaksanaan dibagi menjadi 3 bagian utama, yaitu urutan pelaksanaan *diaphragm wall*, urutan pelaksanaan *bored pile*, dan tahapan pelaksanaan *Top-down*.

Kesimpulan

- Kedalaman dinding diafragma untuk kedalaman galian -6m, didapatkan sebesar 12m menggunakan angkur pada elevasi -1.5 m. Sedangkan kedalaman dinding diafragma untuk galian -4,5m, didapatkan sebesar 12 m namun tanpa angkur. Ketebalan dinding diafragma dari dua tipe kedalaman adalah 50 cm
- Dalam perencanaan bored pile dilakukan penyeragaman diameter dengan variasi kedalaman yaitu : 6m, 7m, 8m, 9m, 10, 11m, 12m. 13m, 14m 15m. Hal ini dilakukan agar pada saat pelaksanaan tidak perlu mengganti mata bor.
- Tebal pelat lantai basement agar dapat menahan gaya uplift didapatkan ketebalan 30 cm.

Daftar Pustaka

Bowles, J.E. (1983), "Analisa dan Desain Pondasi Jilid I". Erlangga, Jakarta.

Yu-Ou, Chang. (2006), "Deep Excavation Theory and Practice". Taylor & Francis Group, London.

Untung, Djoko. (2012), "Bahan Ajar Rekayasa Pondasi dan Timbunan", Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS, Surabaya.

Wahyudi, Herman. (2013), "Daya Dukung Pondasi Dalam", Surabaya: Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS.