

ALTERNATIF TYPE DINDING PENAHAN UNDERPASS**Suwarno¹, Luthfi Amri Wicaksono²**

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@ce.its.ac.id

²Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember,
Jalan Kalimantan No. 37, Kampus Tegalboto, Jember, 68121
Email: luthfiamri.teknik@unej.ac.id

Abstrak

Perencanaan dinding underpass terbuka (bagian atas underpass tidak ada plat lantai kendaraan) perlu dihitung seminimal mungkin biayanya. Ada beberapa type dinding underpass yang dapat dipakai antara lain sheet pile, soldier pile dan dinding diafragma (diaphragm wall). Sebagai perbandingan, dipakai underpass di Jalan A. Yani Surabaya dengan kedalaman galian -6.00 meter dan lebar jalan 9,5 meter diperuntukan 2 lajur. Dari hasil perhitungan diperoleh panjang total sheet pile beton adalah 19.50 meter type W-600 A 1000 (lantai kendaraan underpass masih perlu dipasang tiang bor untuk menahan uplift) kedalaman tiang bor 15.00 meter dan diameter 0.50 meter. Jika dipergunakan soldier pile beton bertulang diameter 0.80 m, kedalaman soldier pile = 19.50 meter. Sedangkan jika dipergunakan dinding diafragma, untuk galian underpass -6.00 m, kedalaman dinding diafragma = 19.50 m dan ketebalan dinding diafragma = 0.50 m. Dari ketiga alternatif tersebut didapatkan kesimpulan bahwa type dinding diafragma yang paling ekonomis untuk underpass terbuka. Dipakai diafragma wall karena uplift cukup kecil akibat kedalaman dinding diafragma cukup dalam yaitu 19.50 meter; dibandingkan dengan sheet pile yang masih membutuhkan tiang bor penahan uplift yang besar pada lantai dasar underpass.

Kata kunci: underpass, dinding penahan tanah, sheet pile, soldier pile, dinding diafragma.

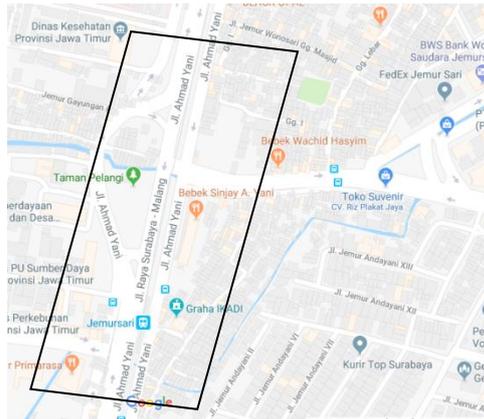
PENDAHULUAN

Kawasan bundaran Dolog yang terletak di Jalan Ahmad Yani merupakan jalan utama pendukung perekonomian Jawa Timur khususnya Surabaya. Jalan Ahmad Yani adalah jalan arteri primer yang disyaratkan tidak boleh mengalami kemacetan, tetapi pada kenyataannya, lalu lintas yang melewati Jalan Ahmad Yani derajat kejenuhannya sangat tinggi yang berarti mengalami kemacetan. Kawasan Bundaran Dolog menjadi salah satu penyebab kemacetan yang terjadi di Jalan Ahmad Yani tersebut.

Pengkajian rekayasa lalu lintas telah dilakukan untuk menanggulangi masalah kemacetan, namun kurang efektif karena volume lalu lintas yang ada pada jalur lurus terhambat oleh arus lalu lintas yang belok dengan volume yang hampir sama besarnya. Oleh sebab itu, dipilih konstruksi underpass untuk jalan yang lurus, agar tidak terganggu oleh lalu lintas yang belok. Lokasi pembangunan underpass dapat dilihat di Gambar 1. dan Gambar 2.



Gambar 1. Lokasi underpass di Kota Surabaya



Gambar 2. Detail lokasi *underpass* (Jalan A.Yani Surabaya)

Data Tanah.

Data tanah yang ada adalah bor dalam sampai kedalaman 40 meter. Kondisi lapisan tanah dari hasil bor dirangkum dalam Tabel 1.

Tabel 1. Rekapitulasi data tanah berdasarkan bor dan test lab

Kedalaman (m)	N _{SPT} (pukulan/ft)	Jenis Tanah	γ (t/m ³)	Kohesi, C (t/m ²)	φ (derajat)
0	1	Sangat lunak	1.55	0.124	0
1.5	2	Sangat lunak			
3.0	1	Sangat lunak			
4.5	0	Sangat lunak			
6.0	0	Sangat lunak			
7.5	0	Sangat lunak			
9.0	0	Sangat lunak			
10.5	2	Sangat lunak			
12.0	1	Sangat lunak			
13.5	1	Sangat lunak			
15.0	1	Sangat lunak	1.68	0.337	0
16.5	2	Sangat lunak			
18.0	2	Sangat lunak			
19.5	3	Sangat lunak			
21.0	8	Medium			
22.5	8	Medium	2	0.893	0
24.0	9	Medium			
25.5	9	Medium	1.95	0.667	0
27.0	10	Medium			
28.5	15	Medium			
30.0	27	Keras	2	0.923	0
31.5	26	Keras			
33.0	17	Kaku	2	0.923	0
34.5	19	Kaku			
36.0	24	Kaku			
37.5	26	Keras	2	0.923	0
39.0	27	Keras			
40.5	30	Keras			

Data tanah lain yang tidak diketahui, dilakukan pendekatan dengan cara korelasi SPT dengan mempergunakan Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. 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	edium	Dense	Very Dense
Dr (%)	0-15	15-35	35-65	65-85	85-100

Tabel 3. 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

Desain Sheet Pile

Alternatif pertama dipilih *sheet pile* sebagai dinding penahan tanah galian *underpass*. Kedalaman sheet pile yang diperlukan dihitung berdasarkan tekanan tanah aktif dan pasif. Kemudian *sheet pile* tersebut dianalisa stabilitas terhadap gelincir. Dari perhitungan diperoleh panjang sheet pile beton adalah 19.50 meter, type W-600 A 1000. Namun pada lantai kendaraan *underpass* masih perlu dipasang tiang bor untuk menahan uplift. Kedalaman tiang bor adalah 15.00 meter dan diameter tiang bor = 0.50 meter.

Desain Soldier Pile

Alternatif kedua adalah mempergunakan *soldier pile*, yang terdiri dari tiang bor dari beton bertulang sebagai struktur penahan tanah. Kemudian tiap tiang bor tersebut dianalisa sebagai pondasi dalam dan dihitung daya dukung tiangnya (mampu menerima gaya lateral dan vertikal serta momen). Dari perhitungan diperoleh hasil bahwa diameter *soldier pile* beton bertulang = 0.80 m dan kedalaman *soldier pile* = 19.50 meter.

Desain Dinding Diafragma

Alternatif ketiga adalah mempergunakan dinding diafragma beton bertulang, dengan menggunakan slurry sebagai material yang menstabilkan galian atau pencegah kelongsoran pada galian. Desain dinding diafragma memperhitungkan beberapa hal berikut :

- Mampu menahan beban vertikal dan tahanan kulit (*friction*)
- Tekanan tanah lateral (tekanan air dan tekanan tanah)
- Dimensi angkur (jika ada) dan gaya dalam yang terjadi pada angkur,
- Penulangan dinding beton
- Kontinuitas galian dan kekuatan beton,
- Hubungan panel dinding diafragma.

Pada dasarnya, desain dinding diafragma dapat dilakukan seperti mendesain turap (*sheet pile*). Masalah yang penting disini adalah berapa panjang pemancangan yang cukup dari segi kekuatan dan rembesan, serta bagaimana penulangannya. Dimensi panel dinding diafragma dipengaruhi oleh alat gali dan sebagainya.

1. Desain Kedalaman dinding diafragma

Penentuan kedalaman titik jepit dinding :

$$Z_f = 1,4R \quad (1)$$

$$R = (EI)^{1/4}/KB \quad (\text{dalam satuan panjang}) \quad (2)$$

$$K = k_1/1,5 \quad (3)$$

dimana :

Z_f = kedalaman titik jepit

E = modulus elastisitas bahan

I = inersia bahan

B = lebar penampang bahan

Nilai k_1 dapat dilihat dalam Tabel 4.

Tabel 4. Terzaghi's subgrade modulus k_1

Consistency		Stiff	Very Stiff	Hard
Cu	kN/m ² Tons/ft ²	100 – 200 1 - 2	200 – 400 2 – 4	Greater than 400 Greater than 4
Range of k_1	MN/m ³ Tons/ft ³	18 – 36 50 - 100	36 – 72 100 - 200	Greater than 72 Greater than 200
Recommended k_1	MN/m ³ Tons/ft ³	27 75	54 150	Greater than 108 Greater than 300

Untuk soft normally-consolidated clays = 350-700 KN/m³ dan soft organic silts = 150 KN/m³.

2. Kontrol kedalaman dinding berdasarkan hydrodynamic

Kedalaman yang aman terhadap hydrodynamic berarti konstruksi dinding aman pada saat proses penggalian, sehingga nantinya aliran air tanah tidak akan menjadi masalah yang serius dan penggalian aman dilakukan.

Kedalaman D_c aman dapat dihitung dengan mengontrol rasio antara nilai gradien hidrolis i dengan gradien hidrolis kritis, sebagai berikut :

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

$$i_{exit} \times 1.2 < i_{critical}$$

$$\Delta h D_c \times 1.2 < \gamma' \gamma_w$$

(4)

dimana :

Δh = Perbedaan tinggi muka air tanah dengan dredge line

D_c = Kedalaman aman berdasarkan hydrodynamic

γ' = Berat jenis efektif tanah

γ_w = Berat jenis air

3. Kontrol Terhadap Uplift Pelat Lantai *Underpass*.

Adanya beban uplift dan air tanah mengakibatkan konstruksi terkena gaya angkat keatas. Keadaan ini sangat berbahaya karena dapat mempengaruhi kestabilan struktur *underpass*. Untuk itu dilakukan analisa antara kesetimbangan beban dengan *uplift* sebagai berikut :

$$F_u = \gamma_w \cdot h_w \cdot A \tag{5}$$

$$SF = W_{struktur} / F_u > 1,2 \tag{6}$$

dimana :

F_u = gaya uplift

γ_w = Berat jenis air

h_w = tinggi air

A = luas pelat lantai

4. Perhitungan Tiang Bor untuk Menahan Uplift Lantai *Underpass*.

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.

$$A = \frac{Q_w}{f'_c} = \frac{Q_w}{0,25 f'_c}$$

$$\frac{1}{4} \pi D_s^2 = \frac{Q_w}{0,25 f'_c} \rightarrow D_s = 2,257 \sqrt{\frac{Q_w}{f'_c}} \tag{7}$$

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

$$Q_u = Q_e + Q_f \text{ dan } \bar{Q} = \frac{Q_u}{SF} \quad (8)$$

Dimana,

Q_u = daya dukung *ultimate*

\bar{Q} = 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.

$$Q_f = \int_0^L p f dz$$

Dimana,

L = panjang tiang

p = keliling tiang

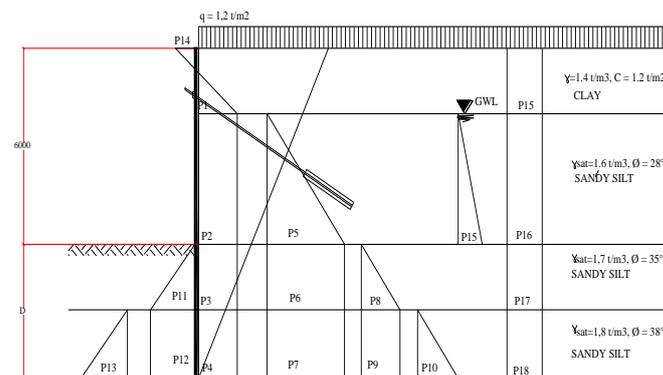
f = hambatan pelekak

dz = luas diagram tekanan tanah pada tiang

(9)

Contoh Perhitungan Dinding Diafragma dengan Angkur untuk Kedalaman Galian 6.00 m.

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 3.



Gambar 3. Diagram tekanan tanah kesamping

Setelah itu mencari kedalaman jepit menggunakan persamaan $\sum M_T = 0$, dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Perhitungan Momen di titik T

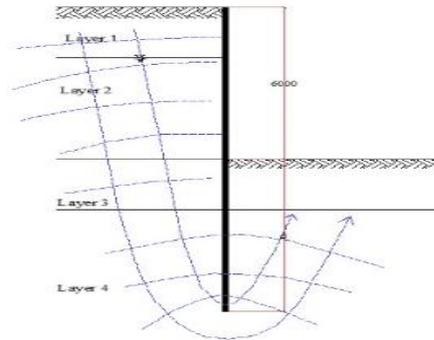
Gaya	Besar Tekanan (t/m^2)	Jarak terhadap T	M
Ea1	2.60	0.06	0.16
Ea2	4.00	3.5	14.00
Ea3	1.50	5.5	8.25
Ea4	$0.64D-1.2$	$0.5D+5.5$	$0.32D^2 + 2.92D - 6.6$
Ea5	1.72	2.67	4.59
Ea6	1.30	5.5	7.15
Ea7	$0.55D-1.1$	$0.5D+5.5$	$0.35D^2 + 2.8D + 8.4$
Ea8	0.38	5.17	1.96
Ea9	$0.32D-0.64$	$0.5D+5.5$	$0.35D^2 + 2.8D + 8.4$
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	$0.28D-0.56$	$0.5D+5.5$	$0.13D^2 + 1.29D - 3.24$
Ep1	4.20	4.67	19.61
Ep2	$5.88D-11.76$	$0.5D+5.5$	$2.9D^2 + 38.22 + 8.4$
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 panjang dinding diafragma = 19.50 m. dan angkur tidak diperlukan.

Perhitungan Kedalaman Dinding Diafragma Berdasarkan *Hydrodynamic*.

Kedalaman galian dinding akan dihitung berdasarkan kemandan 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 Gambar 4.



Gambar 4. 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.

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

(10)

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

$$6 / D_c \times 1,2 < 0.591$$

$$7.2 < 0,55 D_c$$

$$D_c = 13.09 \text{ m}$$

Kedalaman penurapan berdasarkan perhitungan stabilitas tanah lebih besar dari kedalaman yang disyaratkan dari perhitungan kedalaman secara *hydrodynamic*, sehingga untuk perencanaan digunakan $D_{\text{penurapan}} = 13.09 \text{ m}$, sehingga panjang dinding diafragma adalah $13.09 + 6.0 = 19.09 \text{ m}$, dibulatkan = 19.5 m

KESIMPULAN

1. Apabila dipergunakan sheet pile beton, panjang sheet pile adalah 19.50 meter type W-600 A 1000, namun masih memerlukan tambahan tiang bor sebanyak 32 buah, diameter tiang bor 0.50 m dan kedalaman tiang 15.00 m dari dasar plat lantai terdalam (-6.00 meter).
2. Tebal lantai kendaraan underpass adalah 0.5 meter dan ukuran panel lantai kendaraan 9.50 m x 10.00 m.
3. Apabila dipergunakan soldier pile beton bertulang diameter 0.80 m, kedalaman soldier pile = 19.50 m.
4. Untuk galian underpass -6.00 m, kedalaman dinding diafragma = 19.50 m (tanpa ankur) dan ketebalan dinding diafragma = 0.50 m.
5. Direkomendasikan memakai diafragma wall karena biaya material lebih murah.

DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, J.E. (1983), "*Analisa dan Desain Pondasi Jilid I*". Erlangga, Jakarta.
- Budhu, M. (2007), "*Foundations and Earth Retaining Structures*". John Wiley & Sons, California, USA
- Das, B. M., Endah, N., & Mochtar, I. B. 1996. "*Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*". Erlangga, Jakarta.
- Hadihardaja, J. (1997). "*Rekayasa Pondasi I-Konstruksi Penahan Tanah*". Gunadarma, Jakarta.
- Hajnal, I., Marton, J., & Regele, Z. (1984). "*Construction of Diaphragm Walls*". Wiley, New York, USA

- Untung, Djoko. (2012), "*Bahan Ajar Rekayasa Pondasi dan Timbunan*", Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS, Surabaya.
- Wahyudi, Herman. (1999). "*Daya Dukung Pondasi Dalam*". Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS, Surabaya.
- Wahyudi, Herman. (2013), "*Daya Dukung Pondasi Dalam*", Surabaya: Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS.
- Xanthakos, P. P. (1970). "*Slurry Walls*". McGraw-Hill, Michigan, USA.
- Yu-Ou, Chang. (2006), "*Deep Excavation Theory and Practice*". Taylor & Francis Group, London.