

PERENCANAAN CONCRETE SHEET PILE UNDERPASS KARANGLO SEKSI 4 SINGOSARI-JAWA TIMUR

Abdul Khamid¹, Dandung Novianto², Moch. Sholeh³

¹Mahasiswa Manajemen Rekayasa Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang,

²Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang, ³Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang

Email: ¹abdulkhamid.hrd@gmail.com, ²dandung.novianto@polinema.ac.id, ³moch.sholeh@polinema.ac.id

ABSTRAK

Malang adalah kota terbesar kedua di Jawa Timur. Pertumbuhan penduduk dan kegiatan pendidikan tahunan mengalami peningkatan yang cukup signifikan yang menyebabkan kemacetan tinggi, sehingga perlu dikembangkan upaya untuk mengatasi hal tersebut, salah satunya dengan pembangunan jalan raya yaitu pembangunan underpass yang terletak di Jalan Singosari STA 0 + 400 interchange. Pembangunan ini untuk menghubungkan jalur jalan nasional Surabaya-Kota Malang dan menghubungkan jalur akses keluar masuk tol Pandaan-Malang. Underpass tersebut akan dibangun sepanjang 326,8 meter, lebar jalan yang akan digali adalah 18,5 meter, diperuntukan untuk 2 lajur dan 2 arah. Masing-masing jalur memiliki lebar 7 meter, lebar trotoar 0,75 meter, dan lebar median 0,8 meter.

Pembangunan dinding penahan direncanakan dengan metode turap beton dengan menggunakan teknologi pracetak. Metode sheet pile beton adalah suatu metode pelaksanaan pekerjaan dinding penahan tanah berupa dinding vertikal yang relatif tipis yang berfungsi menahan tanah dan juga menahan air agar tidak masuk ke lubang galian. Metode ini merupakan tumpukan sheet pile beton pracetak dalam satu baris membentuk satu kesatuan dinding penahan. Dimensi profil sheet pile beton untuk perhitungan perencanaan yaitu profil sheet pile beton profil W-600 kelas B dan profil W-450 kelas B. Biaya pengerjaan dinding penahan dengan metode profil tiang pancang beton W-600 kelas B menghabiskan biaya Rp. 33.169.257.072, -. Sedangkan sheet pile beton profil kelas B W-450 harganya Rp. 31.247.416.694, -. Durasi pelaksanaan profil tiang pancang beton W-600 kelas B dan profil W-450 kelas B membutuhkan waktu yang sama 42 hari. Dari uraian diatas maka dipilih pelaksanaan pekerjaan dinding penahan beton dengan metode profil tiang pancang W-450 kelas B, karena dalam pelaksanaannya membutuhkan biaya yang lebih ekonomis dan memiliki kualitas struktur yang kuat.

Kata kunci : Studi Kelayakan; Aspek Pasar dan Pemasaran; Teknis; Finansial

Abstract

Malang is the second largest city in East Java. Population growth and annual education activities have experienced a significant increase which causes high congestion, so it is necessary to develop efforts to overcome this, one of which is the construction of a highway, namely the construction of an underpass located at the Singosari STA 0 + 400 interchange. This development is to connect the Surabaya-Malang City national road route and connect the access points in and out of the Pandaan-Malang toll road. The underpass will be built 326.8 meters long, the width of the road to be excavated is 18.5 meters, intended for 2 lanes and 2 directions. Each lane has a width of 7 meters, a sidewalk width of 0.75 meters and a median width of 0.8 meters.

The construction of the retaining wall is planned using the concrete sheet pile method using precast technology. The concrete sheet pile method is a method of implementing soil retaining wall work in the form of a relatively thin vertical wall which functions to hold the soil and also to hold back water from entering the excavation hole. This method is a pile of precast concrete sheet pile in one row to form a unitary retaining wall. Dimensions of concrete sheet pile profiles for planning calculations, namely concrete sheet pile profiles W-600 class B and W-450 class B profiles. The cost of working on retaining walls using the W-600 class B concrete sheet pile profile method costs IDR Rp. 33,169,257,072, -. While the W-450 class B profile concrete sheet pile costs IDR Rp. 31,247,416,694, -. The duration of the implementation of concrete sheet pile profile W-600 class B and profile W-450 class B takes the same 42 days. From the description above, the implementation of retaining wall works using the concrete sheet pile profile method W-450 class B was chosen, because the implementation requires more economic costs and has a strong structural quality.

Key words: underpass, concrete sheet pile, profile dimensions, cost estimate, time schedule.

1. PENDAHULUAN

Pembangunan jalan tol Pandaan-Malang adalah salah satu usaha memenuhi kebutuhan sarana dan prasarana transportasi di kota Pasuruan-Malang Jawa Timur, mengingat mobilitas transportasi penduduk yang besar. Jalan tol Pandaan-Malang memiliki panjang lintasan sepanjang 38 km. kemudian jalan tol ini memiliki 4 simpang susun. Simpang susun tersebut terdiri dari *junction* desa Mojotengah-Pandaan (Sta 0+00), *interchange* Purwodadi (Sta 0+00 -15+475), *interchange* Lawang (Sta 15+475-23+525), *interchange* Singosari (Sta 23+525-30+625), *interchange* Asrikaton (Sta 30+600-35+625). Pembangunan *underpass* yang berada di *interchange* Singosari Sta 0+400 merupakan salah satu pembangunan jalan bebas hambatan. Pembangunan ini berfungsi sebagai penghubung jalur jalan nasional Kota Surabaya-Malang dan penghubung jalur akses masuk-keluar jalan tol Pandaan-Malang. *Underpass* akan dibangun sepanjang 326,8 meter, lebar jalan yang akan digali 18,5 meter, diperuntukan 2 lajur 2 arah. Masing-masing lajur dengan lebar 7 meter, lebar trotoar 0.75 meter dan lebar median 0.8 meter.

Metode pelaksanaan pekerjaan dinding penahan tanah metode *concrete sheet pile* yaitu dinding vertikal yang relatif tipis berfungsi untuk menahan tanah dan juga menahan masuknya air ke dalam lubang galian. Metode *concrete sheet pile* menggunakan teknologi pracetak. Metode ini secara umum dapat mempercepat pelaksanaan karena produksi, fabrikasi dan instalasi dapat dilakukan secara bersama.

2. METODE

Subjek penelitian pada tugas akhir ini adalah *Underpass* Sta 0+400 proyek jalan tol Pandaan-Malang seksi IV Karanglo kota Malang Jawa Timur. Sedangkan yang menjadi objek penelitian adalah dinding penahan tanah *underpass* metode *eksisting secant pile*, lokasi penelitian di Jl. Raya Malang-Gempol Karanglo kota Malang provinsi Jawa Timur.

Pengumpulan data berupa data geoteknik meliputi hasil penyelidikan N-SPT dilokasi Sta 0+400 pada titik drilling log BH-2, hasil tes laboratorium dan hasil penyelidikan N-SPT exploration bor log BH-8C. Data *shopdrawing* meliputi plan *intersection underpass*, potongan memanjang, potongan melintang, plan titik koordinat dinding penahan tanah. Analisis pembebanan digunakan untuk mengetahui berapa besar beban yang akan ditumpu pada dinding penahan tanah mengacu pada peraturan pembebanan SNI 1725:2016. Beban gempa berdasarkan SNI 2833-2016. Program aplikasi komputer analisis yaitu Plaxis 8x, Bentley staadproo, *Microsoft Excel 2010* dan *Microsoft Project*. Perhitungan rencana anggaran biaya menggunakan AHSP bidang bina marga tahun 2016 Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 28/PRT/M/2016.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Daya Dukung Dinding Penahan Tanah (DPT) Concrete Sheet Pile

a. Daya dukung tiang tunggal

Tabel 1. Rangkuman nilai kapasitas dukung tiang tunggal *concrete sheet pile* W-600 kelas B

Kode Segmen	Kedalaman (m)	Ap (m ²)	Qu (kN)	SF	Qall (kN)
A	10.5	0.2078	661.83	3	220.610
B	11.5	0.2078	644.12	3	214.705
C	13	0.2078	712.87	3	237.622
D	14	0.2078	729.34	3	243.113
E	21	0.2078	887.65	3	295.883
F	15	0.2078	756.37	3	252.123
G	13.5	0.2078	721.10	3	240.367
H	12.5	0.2078	704.63	3	234.876
I	11.5	0.2078	644.12	3	214.705
J	10.5	0.2078	661.83	3	220.610

Tabel 2. Rangkuman nilai kapasitas dukung tiang tunggal *concrete sheet pile* W-450 kelas B

Kode Segmen	Kedalaman (m)	Ap (m ²)	Qu (kN)	SF	Qall (kN)
A	10.5	0.1835	582.21	3	194.071
B	11.5	0.1835	566.36	3	188.786
C	13	0.1835	626.59	3	208.862
D	14	0.1835	640.91	3	213.636
E	21	0.1835	778.55	3	259.516
F	15	0.1835	664.41	3	221.470
G	13.5	0.1835	633.75	3	211.249
H	12.5	0.1835	619.42	3	206.475
I	11.5	0.1835	566.36	3	188.786
J	10.5	0.1835	582.21	3	194.071

b. Daya dukung tiang kelompok

Tabel 3. Rangkuman stabilitas daya dukung kelompok tiang *concrete sheet pile* profil W-600 kelas B

Kode Segmen	Kedalaman (m)	Ap (m ²)	Jumlah tiang (n _i)	Qg (u) (kN)	SF	Qg all (kN)
A	10.5	0.2078	15	15938.44	3	5312.81
B	11.5	0.2078	18	21761.91	3	7253.97
C	13	0.2078	21	52292.11	3	17430.70
D	14	0.2078	20	52263.26	3	17421.09
E	21	0.2078	42	204889.39	3	68296.46
F	15	0.2078	51	138089.70	3	46029.90
G	13.5	0.2078	21	53237.05	3	17745.68
H	12.5	0.2078	18	37834.87	3	12611.62
I	11.5	0.2078	21	25718.62	3	8572.87
J	10.5	0.2078	12	12582.98	3	4194.33

Qg (u) (kN)	Qg	Keterangan
5312.81	760.97	Sangat kuat, aman dan boros
7253.97	760.97	Sangat kuat, aman dan boros
17430.70	760.97	Sangat kuat, aman dan boros
17421.09	760.97	Sangat kuat, aman dan boros
68296.46	2160	Sangat kuat, aman dan boros
46029.90	1030	Sangat kuat, aman dan boros
17745.68	1030	Sangat kuat, aman dan boros
12611.62	1030	Sangat kuat, aman dan boros

Qg (u) (kN)	Qg	Keterangan
8572.87	1030	Sangat kuat, aman dan boros
4194.33	1030	Sangat kuat, aman dan boros

Tabel 4. Rangkuman stabilitas daya dukung kelompok tiang *concrete sheet pile* profil W-450 kelas B

Kode Segmen	Kedalaman (m)	Ap (m ²)	Jumlah tiang (n ₁)	Qg (u) (kN)	SF	Qg all (kN)
A	10.5	0.1835	15	13931.17	3	4643.72
B	11.5	0.1835	18	19047.07	3	6349.02
C	13	0.1835	21	45951.83	3	15317.28
D	14	0.1835	20	45908.27	3	15302.76
E	21	0.1835	42	180778.06	3	60259.35
F	15	0.1835	51	121239.82	3	40413.27
G	13.5	0.1835	21	46773.52	3	15591.17
H	12.5	0.1835	18	33228.70	3	11076.23
I	11.5	0.1835	21	22510.18	3	7503.39
J	10.5	0.1835	12	10998.29	3	3666.10

Qg (u) (kN)	Qg	Keterangan
4643.72	760.97	Sangat aman, sangat kuat, lebih ekonomis
6349.02	760.97	Sangat aman, sangat kuat, lebih ekonomis
15317.28	760.97	Sangat aman, sangat kuat, lebih ekonomis
15302.76	760.97	Sangat aman, sangat kuat, lebih ekonomis
60259.35	2160	Sangat aman, sangat kuat, lebih ekonomis
40413.27	1030	Sangat aman, sangat kuat, lebih ekonomis
15591.17	1030	Sangat aman, sangat kuat, lebih ekonomis
11076.23	1030	Sangat aman, sangat kuat, lebih ekonomis
7503.39	1030	Sangat aman, sangat kuat, lebih ekonomis
3666.10	1030	Sangat aman, sangat kuat, lebih ekonomis

Stabilitas Tahanan Geser Dinding Penahan Tanah Concrete Sheet Pile.

Pada stabilitas tahanan geser pekerjaan dinding penahan tanah metode *concrete sheet pile* profil W -600 kelas B dan profil W-450 kelas B memiliki nilai besar tahanan geser yang sama dikarenakan kedalaman tiap segmen tiang sama

Tabel 5. Rangkuman tahanan geser tiang setiap segmen pada sisi timur dan barat

Kode Segmen	Kedalaman tiang L (m)	Fgs	Persyaratan	Keterangan
A	10.5	2.61	Fgs > 1	Sangat aman dan kuat
B	11.5	2.50		Sangat aman dan kuat
C	13	2.50		Sangat aman dan kuat
D	14	2.57		Sangat aman dan kuat
E	21	3.15		Sangat aman dan kuat
F	15	2.28		Sangat aman dan kuat
G	13.5	2.60		Sangat aman dan kuat
H	12.5	2.66		Sangat aman dan kuat
I	11.5	2.90		Sangat aman dan kuat
J	10.5	3.03		Sangat aman dan kuat

Stabilitas Tahanan Guling Dinding Penahan Tanah Concrete Sheet Pile.

Pada stabilitas tahanan geser pekerjaan dinding penahan tanah metode *concrete sheet pile* profil W -600 kelas B dan

profil W-450 kelas B memiliki nilai besar tahanan geser yang sama dikarenakan kedalaman tiap segmen tiang sama.

Tabel 6. Rangkuman tahanan guling tiang setiap segmen pada sisi barat *concrete sheet pile*

Kode Segmen	Kedalaman tiang L (m)	Fgl	Persyaratan	Keterangan
A	10.5	1.82	Fgl > 1	Sangat aman dan kuat
B	11.5	1.54		Sangat aman dan kuat
C	13	1.36		Sangat aman dan kuat
D	14	1.60		Sangat aman dan kuat
E	21	2.20		Sangat aman dan kuat
F	15	1.30		Sangat aman dan kuat
G	13.5	1.40		Sangat aman dan kuat
H	12.5	1.58		Sangat aman dan kuat
I	11.5	1.98		Sangat aman dan kuat
J	10.5	2.28		Sangat aman dan kuat

Penurunan Concrete Sheet Pile

Ujung tiang *concrete sheet pile* menyentuh tanah berpasir dengan nilai N-SPT 60, maka hanya terjadi penurunan elastic.

Tabel 7. Rangkuman peurunan tiang setiap segmen pada sisi timur dan barat tiang *concrete sheet pile* profil W-600 kelas B

Kode Segmen	Kedalaman tiang L (m)	S1 (m)	S2 (m)	S3 (m)
A	10.5	0.00106	6.76E-02	0.0012
B	11.5	0.00116	9.84E-02	0.0017
C	13	0.00131	9.84E-02	0.0015
D	14	0.00141	9.84E-02	0.0014
E	21	0.00606	7.45E-02	0.0008
F	15	0.00204	1.33E-01	0.0018
G	13.5	0.00184	1.33E-01	0.0020
H	12.5	0.00170	1.33E-01	0.0021
I	11.5	0.00156	1.33E-01	0.0023
J	10.5	0.00143	9.16E-02	0.0017

Sijin (m)	S (m)	Keterangan
0.06994	0.3	Sangat aman
0.10126	0.3	Sangat aman
0.10125	0.3	Sangat aman
0.10127	0.3	Sangat aman
0.08136	0.3	Sangat aman
0.13710	0.3	Sangat aman
0.13705	0.3	Sangat aman
0.13704	0.3	Sangat aman
0.13705	0.3	Sangat aman
0.09466	0.3	Sangat aman

Tabel 8. Rangkuman peurunan tiang setiap segmen pada sisi timur dan barat tiang *concrete sheet pile* W-450 kelas B

Kode Segmen	Kedalaman tiang L (m)	S1 (m)	S2 (m)	S3 (m)
A	10.5	0.00120	7.66E-02	0.0014
B	11.5	0.00132	1.11E-01	0.0019
C	13	0.00149	1.11E-01	0.0017

D	14	0.00160	1.11E-01	0.0016
E	21	0.00686	8.44E-02	0.0009
F	15	0.00231	1.51E-01	0.0021
G	13.5	0.00208	1.51E-01	0.0023
H	12.5	0.00193	1.51E-01	0.0024
I	11.5	0.00177	1.51E-01	0.0026
J	10.5	0.00162	1.04E-01	0.0019

Sijin (m)	S (m)	Keterangan
0.07922	0.3	aman
0.11469	0.3	aman
0.11469	0.3	aman
0.11471	0.3	aman
0.09215	0.3	aman
0.15529	0.3	aman
0.15523	0.3	aman
0.15522	0.3	aman
0.15523	0.3	aman
0.10722	0.3	aman

Kontrol kedalaman dinding berdasarkan hydrodynamic

Kedalaman yang aman terhadap hydrodynamic dinding pada saat penggalian, sehingga aliran air tanah tidak menjadi masalah serius. Muka air tanah berada pada kedalaman -15 m, hanya tiang pada segmen E harus dikontrol dikarenakan tiang dinding penahan tanah menembus muka air tanah, sedangkan tiang dinding penahan tanah segmen lain berada diatas muka air tanah

$i_{exit} \times 1.2 < i_{critical}$ (gradien hidrolis) $\times SF < i_{cr}$ (gradien hidrolis kritis)

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

Data tanah

$\Delta h = 5.5 \text{ m}$
 $D_c = 21 \text{ m}$
 $\gamma_{sat} = 19.64 \text{ kN/m}^3$
 $\gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$
 $\frac{\Delta h}{D_c} \times 1.2 < \frac{\gamma_r}{\gamma_w}$
 $\frac{5.5}{21} \times 1.2 < \frac{(19.64-10)}{10}$
 $0.31 < 0.964$ Konstruksi aman terhadap hydrodynamic

Kontrol terhadap uplift

Muka air tanah berada pada kedalaman -15 m, hanya tiang pada segmen E harus dikontrol dikarenakan tiang dinding penahan tanah segmen E menembus muka air tanah, sedangkan tiang dinding penahan tanah segmen lain berada diatas muka air tanah. Beban uplift dan air tanah mengakibatkan struktur dinding penahan tanah terkena bahaya beban angkat keatas yang besar.

$\gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$
 $H_w = 15 \text{ m}$
 $A = 0.502 \text{ m}^2$
 Unit weight W-600 kelas B = 5.2 kN
 Unit weight W-450 kelas B = 4.59 kN
 Panjang tiang = 21 m
 Jumlah tiang W-600 = Jumlah tiang W-450

= 42 buah

W total concrete sheet pile profil W-600 kelas B
 $W_{total} = W_{concrete\ sheet\ pile} + 0.5 W_{slab} + W_{capping\ beam}$
 $= (5.2 \times 21 \times 42) + 0.25 \times 16934.4 + 1129.42$
 $= 9949.42 \text{ kN}$

Gaya uplift concrete sheet pile profil W-600 kelas B

$F_u = \gamma_w \times h_w \times \sum A_{concrete\ sheet\ pile\ segmen\ E}$
 $= 10 \times 15 \times (42 \times 0.2078)$
 $= 1309.14 \text{ kN}$

$SF = \frac{W_{struktur}}{F_u} = \frac{9949.42}{1309.14} = 7.59 > 1.2$ Struktur sangat aman terhadap uplift

W total concrete sheet pile profil W-450 kelas B

$W_{total} = W_{concrete\ sheet\ pile} + 0.5 W_{slab} + W_{capping\ beam}$
 $= 4048.38 + 0.25 \times 16934.4 + 1129.42$
 $= 9411.4 \text{ kN}$

Gaya uplift concrete sheet pile profil W-450 kelas B

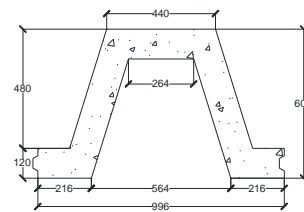
$F_u = \gamma_w \times h_w \times \sum A_{concrete\ sheet\ pile\ segmen\ E}$
 $= 10 \times 15 \times (42 \times 0.1835)$
 $= 1156.05 \text{ kN}$

$SF = \frac{W_{struktur}}{F_u} = \frac{9411.4}{1156.05} = 8.14 > 1.2$ Struktur sangat aman terhadap uplift

Perhitungan Perencanaan Concrete Sheet Pile

A. Concrete Sheet Pile W-600 Kelas B

- Mutu beton rencana $f'_c = 62 \text{ MPa}$
- Mutu baja tulangan $f_y = 390 \text{ MPa}$
- Tinggi penampang sheet pile (h) = 600 mm
- Tebal selimut beton (d') = 40 mm
- Nilai d = Tinggi penampang sheet pile – tebal selimut beton = 600 – 40 = 560 mm



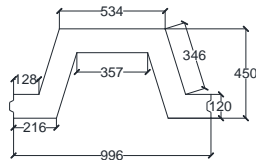
Gambar 1. Detail sheet pile W-600 kelas B, L = 21 m

Nilai luas kotor penampang sheet pile (A_g)
 Nilai $A_g = 20780 \text{ mm}^2$
 Luas penampang inti sheet pile (A_{st})
 Nilai $A_{st} = 10390 \text{ mm}^2$
 Cek rasio penulangan spiral
 $\rho_g = \frac{A_{st}}{A_g} = \frac{10390}{20780} = 0.05$ (ok aman $0.01 < \rho < 0.08$)
 Nilai tekanan nominal
 $P_n = 0.85 \phi [0.85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}]$
 $P_n = 0.80 [0.80 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}]$
 $= 0.80 [0.80 \times 62 (20780 - 10390) + 390 \times 10390]$
 $= 11.074.909 \text{ N}$
 $\phi P_n = 0.65 P_n = 0.65 \times 11.074.909 = 7.198.691 \text{ N}$
 Momen maksimum (M_u) = 43.17 kNm (output plaxis 8x)
 $= 4,317 \times 10^7 \text{ Nmm}$
 Tekanan maksimum (P_u) = 2.160 kN (output plaxis 8x)

$$\text{Nilai eksentrisitas (e)} = \frac{Mu}{Pu} = \frac{43170000}{2160000} = 19.98 \text{ mm}$$
 Nilai eksentrisitas minimum
 $e_{\text{minimum}} = 0.1 h = 0.1 \times 600 = 60 \text{ mm}$
 $e_{\text{minimum}} > e = 60 > 19.98$ (beban aksial terpusat)
 Nilai $\phi P_n = 7.198.691 \text{ N} > 2.160.000 \text{ N} \rightarrow$ Aman
 $\phi P_n > P_u \rightarrow$ hancur tarik
 Nilai M_n (kondisi crack) = 596 kNm
 ϕM_n (kondisi crack) = 0.65 x 596 = 387.4 kNm
 ϕM_n (kondisi crack) = 387.4 kNm > 43.17 kNm
 (Aman terhadap momen maksimum akibat beban luar)

B. Concrete Sheet Pile W-450 Kelas B

Mutu beton rencana $f'c = 62 \text{ MPa}$
 Mutu baja tulangan $f_y = 390 \text{ MPa}$
 Tinggi penampang *sheet pile* (h) = 450 mm
 Tebal selimut beton (d') = 40 mm
 Nilai $d =$ Tinggi penampang *sheet pile* – tebal selimut beton
 $= 450 - 40 = 410 \text{ mm}$



Gambar 2. Detail *concrete sheet pile* W-450 kelas B, L = 21 m

Nilai luas kotor penampang *sheet pile* (A_g)
 Nilai $A_g = 18350 \text{ mm}^2$
 Luas penampang inti *sheet pile* (A_{st})
 Nilai $A_{st} = 9175 \text{ mm}^2$
 Cek rasio penulangan spiral
 $\rho_g = \frac{A_{st}}{A_g} = \frac{9175}{18350} = 0.05$ (ok aman $0.01 < \rho < 0.08$)
 Nilai tekanan nominal
 $P_n = 0.85 \phi [0.85 f'c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}]$
 $P_n = 0.80 [0.80 f'c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}]$
 $= 0.80 [0.80 \times 62 (18350 - 9175) + 390 \times 9175]$
 $= 9.779.816 \text{ N}$
 $\phi P_n = 0.65 P_n = 0.65 \times 9.779.816 = 6.356.880 \text{ N}$
 Momen maksimum (M_u) = 43.17 kNm (output plaxis 8x)
 $= 4,317 \times 10^7 \text{ Nmm}$
 Tekanan maksimum (P_u) = 2.160 kN (output plaxis 8x)
 $= 2160000 \text{ N}$
 Nilai eksentrisitas (e) = $\frac{Mu}{Pu} = \frac{43170000}{2160000} = 19.98 \text{ mm}$
 Nilai eksentrisitas minimum
 $e_{\text{minimum}} = 0.1 h = 0.1 \times 450 = 45 \text{ mm}$
 $e_{\text{minimum}} > e = 45 > 19.98$ (beban aksial terpusat)
 Nilai $\phi P_n = 6.356.880 \text{ N} > 2.160.000 \text{ N}$ (aman akibat beban luar)
 $\phi P_n > P_u \rightarrow$ hancur tarik
 Nilai M_n (kondisi crack) = 307 kNm
 ϕM_n (kondisi crack) = 0.65 x 307 = 199.6 kNm
 ϕM_n (kondisi crack) = 199.6 kNm > 43,17 kNm
 (Aman terhadap momen maksimum akibat beban luar)

Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Rencana Anggaran Biaya dinding penahan tanah metode *concrete sheet pile*

Tabel 9. Rencana anggaran biaya pekerjaan dinding penahan tanah metode *concrete sheet pile* profil w-600 kelas B

No	Uraian Pekerjaan	Harga Pekerjaan (Rp)
1	Pekerjaan persiapan	37,100,000
2	Pekerjaan pembebasan lahan dan perataan permukaan tanah	169,547,532
3	Penyediaan tiang <i>concrete sheet pile</i>	14,969,994,357
4	Pemancangan tiang <i>concrete sheet pile</i> segmen Pendekat Malang	3,277,274,083
5	Pemancangan tiang <i>concrete sheet pile</i> segmen Underpass	3,203,974,056
6	Pemancangan tiang <i>concrete sheet pile</i> segmen Pendekat Surabaya	5,951,232,555
7	Perakitan <i>capping beam</i>	2,114,455,645
8	Cor insitu <i>capping beam</i>	369,316,837
9	APD Pekerja	60,975,000
10	Biaya pekerjaan	30,153,870,065
11	Pajak 10% total biaya	3,015,387,007
12	Total biaya	33,169,257,072

Tabel 10. Rencana anggaran biaya pekerjaan dinding penahan tanah metode *concrete sheet pile* profil w-450 kelas B

No	Uraian Pekerjaan	Harga Pekerjaan (Rp)
1	Pekerjaan persiapan	37,100,000
2	Pekerjaan pembebasan lahan dan perataan permukaan tanah	169,547,532
3	Penyediaan tiang <i>concrete sheet pile</i>	14,263,023,656
4	Pemancangan tiang <i>concrete sheet pile</i> segmen Pendekat Malang	3,003,082,682
5	Pemancangan tiang <i>concrete sheet pile</i> segmen Underpass	2,935,915,263
6	Pemancangan tiang <i>concrete sheet pile</i> segmen Pendekat Surabaya	5,453,325,834
7	Perakitan <i>capping beam</i>	2,114,455,645
8	Cor insitu <i>capping beam</i>	369,316,837
9	APD Pekerja	60,975,000
10	Biaya pekerjaan	28,406,742,449
11	Pajak 10% total biaya	2,840,674,245
12	Total biaya	31,247,416,694

Metode Pelaksanaan

Metode pelaksanaan dinding penahan tanah metode *concrete sheet pile*

1. Pekerjaan persiapan
 - a. Material digunakan meliputi *concrete sheet pile* profil W-600 kelas B atau profil W-450 kelas B dengan mutu beton 62 MPa dan momen retak

masing-masing 596 kNm dan 370 kNm, momen hancur masing-masing 1190.2 kNm dan 614 kNm.

b. Alat digunakan meliputi *crawler crane kapasitas 45 ton, pile draiver hammer, genset 250 kVa dan theodolite.*

2. Menentukan titik tiang *concret sheet pile.*
 3. Pemasangan kolom pedestal *guide beam.*
 4. Pemasangan *guide beam.*
 5. Pengangkatan tiang *concrete sheet pile.*
 6. Proses pemancangan tiang *concrete sheet pile.*
 7. Pelepasan *guide beam.*
 8. Pengukuran kembali posisi tiang *concrete sheet pile.*
 9. Pemasangan *wale steel cnp dan tie road.*
 10. Pemotongan sisa tiang *concrete sheet pile.*
- Perhitungan pelaksanaan pemancangan

Tabel 11. korelasi qc dan kepadatan relatif dengan sudut geser pada tanah pasir (Mayerhof, 1956)

Konsistensi	Kepadatan relatif	N-SPT	qc (MPa)	Perkiraan sudut geser triaksial (derajat)
Sangat lepas	< 20	< 4	< 2	< 30
Lepas	0.2 – 0.4	4 – 10	2 – 4	30 – 35
Padat sedang	0.4 – 0.6	10 – 30	4 – 12	35 – 40
Padat	0.6 – 0.8	30 – 50	12 – 20	40 – 45
Sangat padat	> 0.8	>50	>20	>45

(Sumber: Buku kumpulan korelasi parameter geoteknik dan pondasi Kementerian PUPR)

Data pemancangan tiang concrete sheet pile W-450 kelas B

- Nilai N-SPT terbesar = 60
 - Mutu beton sheet pile = 62 MPa
- Berdasarkan korelasi perbandingan nilai N-SPT dan qc pada **tabel 12** dengan nilai N-SPT 60, maka $N : qc = 50 : 20 = 2.5$, nilai minimum mutu beton untuk pemancangan pada tanah dengan nilai N-SPT 60 adalah $N : 2.5 = 60 : 2.5 = 24$ MPa. Jika tiang *concrete sheet pile* dengan mutu 62 MPa dipancang pada tanah dengan nilai N-SPT = 60 maka pemancangan bisa dilakukan dengan aman.

Tabel 12. Durasi pekerjaan dinding penahan tanah metode alternatif *concrete sheet pile* terpilih profil W-450 kelas B.

No	Item Pekerjaan	Durasi (hari)
1	Pemancangan Tiang <i>sheet pile</i> pendekat Malang	10 Jan 2019 s.d 22 Jan 2019
2	Pemancangan Tiang <i>sheet pile underpass</i>	10 Jan 2019 s.d 21 Jan 2019
3	Pemancangan Tiang <i>sheet pile</i> pendekat Surabaya	23 Jan 2019 s.d 12 Feb 2019
4	<i>Capping beam</i> pendekat Malang	17 Jan 2019 s.d 2 Feb 2019
5	<i>Capping beam</i> pendekat Surabaya	9 Feb 2019 s.d 26 Feb 2019

Sumber: Output jadwal rencana pelaksanaan pekerjaan dinding penahan tanah software *Microsoft Project*

4. KESIMPULAN

1. Analisis struktur dinding penahan tanah terhadap daya dukung tiang metode *concrete sheet pile* profil W-600

kelas B dan profil W-450 kelas B menunjukkan bahwa struktur sangat kuat dan sangat aman terhadap beban luar

2. Analisis struktur dinding penahan tanah terhadap stabilitas tahanan geser dan tahanan guling tiang metode *concrete sheet pile* profil W-600 kelas B dan profil W-450 kelas B menunjukkan bahwa struktur stabil, kuat dan sangat aman terhadap beban luar.
3. Analisis struktur dinding penahan tanah terhadap penurunan tiang metode *concrete sheet pile* profil W-600 kelas B dan profil W-450 kelas B menunjukkan penurunan terjadi sangat kecil dan tidak berpengaruh terhadap kestabilan struktur.
4. Berdasarkan perhitungan rencana anggaran biaya dan rencana durasi pelaksanaan pekerjaan dinding penahan tanah pada proyek *underpass* yang efektif – efisien, ekonomis dan cepat dalam pelaksanaan adalah *concrete sheet pile* dengan profil W – 450 kelas B. Biaya pelaksanaan metode alternatif *concrete sheet pile* profil W-600 kelas B Rp. 33,169,257,072,-. *Concrete sheet pile* profil W-450 kelas B Rp. 31,247,416,694,-. Profil W-450 kelas B lebih murah Profil W-600 kelas B. Durasi pekerjaan *concrete sheet pile* profil W-600 kelas B dan profil W-450 kelas B memiliki waktu yang sama 42 hari.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Das, B.M., Mochtar, N.E, dan Mochtar, I.B., 1985, *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik)*, Jilid I, Erlangga, Jakarta.
- [2] Das, B.M., Mochtar, N.E, dan Mochtar, I.B., 1985. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik)*, Jilid II, Erlangga, Jakarta.
- [3] Simatupang, P.T., 2008, *Modul 1: Jenis Turap dan Turap Kantilever, Rekayasa Pondasi II*, Pusat Pengembangan Bahan Ajar UMB, Jakarta.as, Braja, M., (1995).”*Mekanika Tanah I*”. Surabaya: Erlangga.
- [4] Hardiyatmo, Hary, C., (2002).”*Mekanika Tanah II*”. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- [5] Chu, S. C. (1991). “*Rankine Analysis of Active and Passive Pressures on Dry Sand,*” Soils and Foundations, Vol. 31, No. 4, pp. 115–120.
- [6] Seed, H. B. and Whitman, R. V. (1970). “*Design of Earth Retaining Structures for Dynamic Loads,*” *Proceedings, Specialty Conference on Lateral Stresses in the Ground and Design of Earth Retaining Structures*, American Society of Civil Engineers, pp. 103–147.
- [7] Warman, S. M. 2019. *Kumpulan Korelasi Parameter Geoteknik dan Fondasi*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jendral Bina Marga.