

Perencanaan Struktur Bawah dan Approach Jembatan Joyoboyo Surabaya, Jawa Timur

Indra Giri Angga Kusuma, Yudhi Lastiasih, Putu Tantri Kumala Sari
Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan,
Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
E-mail: yudhi.lastiasih@gmail.com tantrigeoteknik@gmail.com

Abstrak—Pemerintah Surabaya berencana membangun jembatan baru yang menghubungkan Jalan Raya Wonokromo ke bangunan Terminal Joyoboyo yang kelak akan berfungsi juga sebagai park and ride untuk angkutan masal cepat (trem). Jembatan baru yang direncanakan adalah Jembatan Joyoboyo. Jembatan Joyoboyo merupakan jembatan yang mempunyai dua jalur. Tiap jalur mempunyai 2 lajur dengan lebar lalu lintas 20 m yang terdiri dari lebar jalan 4 m dan bahu jalan 3 m pada tiap sisi. Jembatan ini dibangun diatas sungai Surabaya. Jembatan ini direncanakan memiliki panjang 130 meter dan menggunakan struktur utama berupa cable stay yang menumpu pada dua abutmen. Pada pangkal jembatan sisi kanan terdapat rencana oprit jembatan dengan timbunan tertinggi sebesar 3,5 meter. Jembatan ini dibangun di atas tanah dengan kedalaman tanah keras berada di kedalaman 16 m. Kondisi tanah dasar dilapangan sangat mempengaruhi daya dukung tanah untuk menerima beban sehingga pada perencanaan struktur bawah dan approach jembatan ini perlu adanya perencanaan yang tepat untuk menentukan alternatif perencanaan yang efektif dan efisien. Makalah kali ini membahas tentang perencanaan struktur bawah meliputi perencanaan abutmen dan pondasi tiang pancang serta akan menganalisa 2 alternatif perencanaan perkuatan tanah yaitu penggunaan geotextile wall dan penggunaan geogrid kombinasi dengan keystone-wall. Kemudian dari hasil analisa perhitungan perencanaan dinding penahan tanah didapatkan hasil bahwa perencanaan oprit menggunakan alternatif pertama memerlukan biaya material total sebesar Rp 755.234.150,00 dan untuk alternatif kedua memerlukan biaya material total sebesar Rp 721.376.150,00. Untuk perencanaan abutment direncanakan abutment dengan tinggi 4 meter dan pilecap berukuran 6 meter x 20 meter dan ditopang oleh 30 buah pondasi tiang pancang, dimana pondasi tiang pancang yang digunakan berdiameter 50 cm sedalam 27 m.

Kata Kunci— Abutment, Geogrid, Geotextile, Oprit, Keystone wall, Micropile.

I. PENDAHULUAN

KEMACETAN yang terjadi di Surabaya dengan berbagai penyebabnya, bermula pada masalah orientasi transportasi masyarakat Surabaya. Jumlah pengguna kendaraan pribadi di Surabaya tidak pernah berkurang, akan tetapi kendaraan pribadi ini tidak sebanding dengan penambahan atau pelebaran jalan baru di Surabaya. Pemerintah Kota Surabaya berusaha mengatasi permasalahan tersebut dengan mengembangkan transportasi berbasis angkutan massal cepat berupa trem. Salah satu sarana yang sedang disiapkan untuk mendukung konsep ini adalah mengubah bangunan Kantor Dishub Surabaya (Terminal Joyoboyo) menjadi park and ride baru atau tempat parkir kendaraan pribadi untuk menunjang angkutan massal cepat (AMC) berupa trem. Dengan adanya bangunan park and ride ini pemerintah Surabaya berencana membangun jembatan

baru yang menghubungkan Jalan Raya Wonokromo ke bangunan Terminal Joyoboyo yang kelak akan berfungsi juga sebagai park and ride untuk angkutan masal cepat (trem).

Jembatan baru yang direncanakan adalah Jembatan Joyoboyo. Jembatan Joyoboyo merupakan jembatan yang mempunyai dua jalur. Tiap jalur mempunyai 2 lajur dengan lebar lalu lintas 20 m yang terdiri dari lebar jalan 3.5 m dan bahu jalan 1,5 m pada tiap sisi. Jembatan ini dibangun diatas sungai Surabaya seperti yang terlihat pada. Jembatan ini dengan panjang jembatan 100 meter dan menggunakan struktur utama berupa cable stay serta dipikul oleh dua abutmen dan pada pangkal jembatan sisi kanan terdapat rencana oprit jembatan dengan timbunan tertinggi sebesar 3,5. Jembatan ini dibangun di atas tanah dengan kedalaman tanah keras yang mencapai kedalaman 15 meter.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Tinjauan Umum

Jembatan adalah suatu struktur konstruksi yang berfungsi untuk menghubungkan dua bagian jalan yang terputus oleh adanya rintangan-rintangan dan memungkinkan rute transportasi dapat melalui sungai, danau, kali, jalan raya, jalan kereta api dan lainlain. Pada umumnya suatu bangunan jembatan terdiri dari enam bagian pokok, yaitu: bangunan atas, landasan, bangunan bawah, pondasi, oprit, dan bangunan pengaman jembatan [1].

Oprit atau timbunan jalan pendekat jembatan adalah merupakan segmen sepanjang jalan yang dibatasi oleh lebar, tinggi tertentu sesuai alinyemen horizontal dan vertikal serta besarnya kelandaian melintang berdasarkan gambar rencana. Timbunan jalan pendekat sebagai pondasi dasar yang mendukung lapis pondasi bawah, bila lapis pondasi bawah tidak ada, maka lapisan tanah dasar mendukung langsung timbunan. Tinggi timbunan harus dipertimbangkan terhadap adanya bahaya longsor, sebaiknya pada lahan mencukupi dibuat kelandaian lereng alami dan apabila tidak mencukupi harus dibuat timbunan bersisi tegak dengan konstruksi penahan tanah.

B. Perhitungan Tinggi Timbunan Awal ($H_{Initial}$) dan Timbunan Akhir (H_{Akhir})

Penentuan dari tinggi timbunan rencana pada saat pelaksanaan fisik (dengan memperhatikan adanya pemampatan), dapat dihitung dengan Persamaan.

Kondisi awal :

$$q_{awal} = H_{initial} \times \gamma_{timbunan}$$

Setelah mengalami konsolidasi :

$$q_{akhir} = (H_{initial} \times \gamma_{timb}) - (S_c \times (\gamma_{timb} - \gamma'_{timb}))$$

Untuk kondisi $\gamma_{sat} \neq \gamma_{timb}$ maka :

$$H_{initial} = q + (Sc(\gamma_{timb} - \gamma'_{timb})) / \gamma_{timb}$$

Untuk kondisi $\gamma_{sat} = \gamma_{timb}$ maka :

$$H_{initial} =$$

$$H_{akhir} = (H_{initial} - Sc_{timb} - SC_{Pvmnt} - H_{Bongkar}) + H_{Pvmnt}$$

Dimana :

$q_{initial}$ = beban yang diasumsi awal dalam perhitungan Sc sehingga didapat $H_{initial}$ untuk perhitungan.

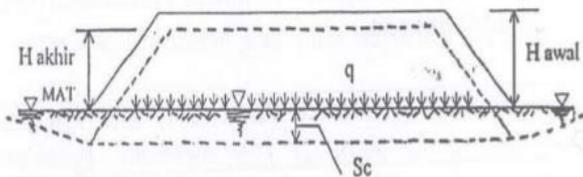
q_{akhir} = beban akhir sebagai beban yang menyebabkan penurunan $H_{initial}$ untuk mencapai H_{final} rencana.

$SC_{timbunan}$ = penurunan tanah dibawah timbunan oleh beban

$SC_{Pavement}$ = penurunan oleh akibat beban lalu lintas

$H_{bongkar}$ = tinggi timbunan yang dapat dibongkar akibat pengaruh beban *traffic*

Sketsa perencanaan tinggi timbunan saat mengalami pemampatan digambarkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Kedudukan timbunan saat mengalami pemampatan

C. Pemampatan Tanah

Pemampatan pada tanah dasar terjadi akibat diberikannya beban di atas tanah dasar tersebut yang menyebabkan deformasi partikel tanah serta mengecilnya pori-pori pada tanah tersebut akibat keluarnya air atau udara dari dalam pori. Dalam kasus perencanaan Jembatan Joyoboyo pemampatan terjadi akibat diberikan timbunan di atas tanah dasar yang dapat disebut pemampatan konsolidasi (*Consolidation Settlement*).

Pemampatan konsolidasi primer disebabkan oleh penimbunan timbunan setinggi H di atas tanah lunak yang akan menyebabkan terjadinya penambahan tegangan pada tanah dasar sehingga mengakibatkan adanya konsolidasi. Terdapat dua jenis konsolidasi berdasarkan tegangan yang diakibatkan, yaitu :

1) Normally Consolidated Soil (NC-Soil)

Tanah terkonsolidasi secara normal dimana tegangan *overburden* efektif pada saat ini merupakan tegangan maksimum yang pernah dialami tanah tersebut.

2) Over Consolidated Soil (OC-Soil)

Tanah terkonsolidasi lebih, di mana tegangan *overburden* efektif saat ini adalah lebih kecil daripada tegangan yang pernah dialami oleh tanah yang bersangkutan sebelumnya. Tanah disebut sebagai NC-Soil atau OC-soil tergantung dari harga *Over Consolidation Ratio* (OCR).

D. Waktu Konsolidasi

Menurut Terzaghi dalam Das (1985), lama waktu konsolidasi (t) dapat dihitung dengan Persamaan :

$$t = \frac{T_v(H_{dr})^2}{c_v} \quad (1)$$

Dimana :

t = waktu konsolidasi

T_v = *time factor*, bergantung dari derajat konsolidasi U (%)

H_{dr} = jarak terjauh air pori dilapisan tanah mengalir keluar (m)

c_v = koefisien konsolidasi akibat aliran air pori arah vertical

E. Analisa Kestabilan Timbunan

Untuk menganalisa kestabilan timbunan maka digunakan program bantu *software* PC. *Software* yang digunakan adalah

DXSTABLE. Parameter tanah (*input*) yang dibutuhkan pada program ini antara lain: γ_{sat} , γ_t , C , ϕ , letak muka air tanah, koordinat permukaan tanah yang akan ditinjau dan koordinat segmen longsor yang akan ditinjau. *Output* yang dihasilkan antara lain: jari-jari bidang longsor, koordinat bidang longsor, angka keamanan (SF), dan momen penahan dari tanah.

F. Metode Mempercepat Pemampatan dengan PVD (Prefabricated Vertical Drain)

Pemampatan konsolidasi yang terjadi pada tanah lempung berlangsung sangat lambat. Oleh sebab itu untuk mempercepat terjadinya *settlement* ($U = 90\%$) dengan waktu efektif 6 bulan (24 minggu) perlu adanya pengurangan panjang jalur air pori. Ini dapat dilakukan dengan memasang *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) di dalam tanah pada kedalaman dan jarak tertentu dengan formasi segitiga atau segiempat.

G. Geotextile Wall Reinforcement

Geosynthesis yang paling banyak digunakan untuk perkuatan timbunan pada infrastruktur jalan dan oprit salah satunya adalah *geotextile*. *Geotextile* salah satu kegunaannya yaitu dapat digunakan untuk alternatif timbunan bersisi tegak. Pada perencanaannya perlu memperhatikan kekuatan tarik dari bahan dalam menerima dan memikul gaya geser saat terjadi kelongsoran. Pada perencanaan *geotextile* untuk timbunan bersisi tegak, ditinjau stabilitas pada :

1. *Internal Stability*
2. *Overall Stability*

Sehingga dapat ditentukan jumlah *geotextile* dan mutu *geotextile* yang memenuhi kedua syarat kestabilan tersebut.

H. Geogrid Wall Reinforcement

Secara umum *geogrid* adalah bahan *geosynthetic* yang berfungsi sebagai Perkuatan dan Stabilisasi, penjelasan berikut:

Pada perencanaan *geogrid* untuk timbunan bersisi tegak, ditinjau stabilitas pada :

1. *Internal Stability*
2. *Overall Stability*

Sehingga dapat ditentukan jumlah *geogrid* dan mutu *geogrid* yang memenuhi kedua syarat kestabilan tersebut.

I. Perkuatan Tanah dengan Micropile.

Mochtar, I.B., (2000) mengembangkan teori untuk konstruksi cerucuk / *micropile* dengan menggunakan asumsi bahwa :

1. Kelompok cerucuk dianggap sebagai kelompok tiang dengan "*rigid cap*" di muka tanah yang menerima gaya horizontal.
2. Gaya horizontal tersebut merupakan tegangan geser yang terjadi sepanjang bidang gelincir. Seperti digambarkan pada Gambar 2.3 sebagai berikut :

J. Retaining Wall Reinforcement Type Keystone Wall

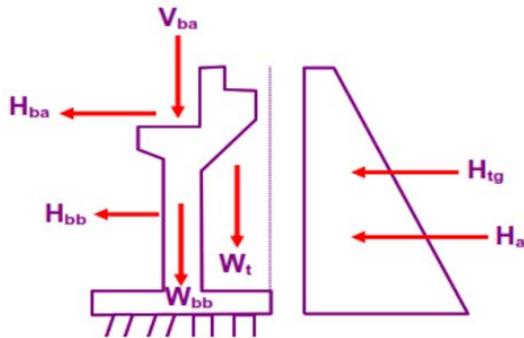
Keystone wall yang digunakan sebagai dinding penahan tanah segmental adalah *Keystone wall* dengan tipe *Keystone Compac IV (Straight - Face)*. *Keystone wall* yang direncanakan tidak menerima gaya horisontal dari timbunan tanah karena semua gaya horizontal telah diterima oleh *geogrid*.

K. Perencanaan Abutment

Dalam perencanaan *abutment* perencanaan beban yang bekerja pada sturktur bangunan bawah jembatan berdasarkan

pada SNI 1725:2016 dan SNI 2833-2008. Dimana beban yang bekerja di kombinasikan untuk menghasilkan nilai beban seperti kondisi kenyataannya.

Ilustrasi beban yang bekerja pada *abutment* seperti Gambar 2 sebagai berikut :



Gambar 2. Ilustrasi Beban yang Bekerja pada *Abutment*

L. Stabilitas pada *Abutment*

Stabilitas *abutment* dapat ditentukan dengan menganalisa berbagai kestabilan sebagai berikut :

- a. Kontrol terhadap bahaya geser
- b. Kontrol terhadap bahaya ambles
- c. Kontrol *overall stability*

M. Perencanaan Tiang Pancang

Tiang pancang dengan jumlah tiang lebih dari satu maka bila dipasang dengan spasi antar tiang 2 - 2,5D maka tiang tersebut menjadi tiang group sehingga harus ada factor efisiensi. Faktor efisiensi tersebut dapat ditentukan menggunakan persamaan berikut :

$$C = 1 - \arctan \frac{D}{S} \times \left[\frac{(n-1) \times m + (m-1) \times n}{90 \times m \times n} \right] \quad (2)$$

Dimana:

- C = faktor reduksi
- D = diameter tiang pancang
- S = jarak antara pusat tiang pancang
- m = jumlah baris dalam kelompok tiang pancang
- n = jumlah tiang pancang dalam satu baris

Secara umum perumusan kapasitas daya dukung tiang pancang dapat dirumuskan :

$$Q_{ult} = Q_s + Q_p \quad (3)$$

Dimana:

- Q_{ult} = Daya dukung ultimate pondasi tiang pancang
- Q_s = Gesekan sepanjang keliling tiang pancang (*friction*).
- Q_p = Daya dukung ujung tiang pancang (*end bearing capacity*).

III. METODOLOGI

Langkah langkah pengerjaan tugas akhir ini dijelaskan dalam diagram alir pada Gambar 3.

IV. ANALISA DATA

A. Pengumpulan Data dan Analisa

Timbunan direncanakan bersisi tegak dengan tinggi final sesuai dengan elevasi pada oprit tertinggi yaitu $H = 3.500$ m, lebar timbunan $L = 20$ m dengan Sifat fisik timbunan meliputi:

| | |
|-------------|-------------------------|
| Jenis Tanah | : Pasir Sirtu |
| γ_t | : 1.8 t/m^3 , |
| ϕ | : 30° , |
| C_u | : 0 |

Untuk data tanah dasarnya direkap dalam Tabel 1

B. Data Spesifikasi Bahan

1) *Geotextille*

Geotextille yang digunakan dalam alternatif perkuatan timbunan adalah *woven geotextille* tipe 200/45 yang memiliki *ultimate strength* sebesar 200 kN/m dari produk Geotech Stablenka. Brosur spesifikasi produk dapat dilihat pada lampiran

2) *Geogrid*

Geogrid yang digunakan dalam alternatif perkuatan timbunan perencanaan oprit bersisi tegak adalah tipe *Uni-Axial Grids Tenax TT 160 SAMP* yang memiliki *ultimate strength* sebesar 160 kN/m dari produk PT. Teknindo Geosistem Unggul. Brosur spesifikasi produk disajikan pada lampiran.

3) *Micropile*

Micropile berupa *minipile concrete* yang digunakan sebagai perkuatan timbunan bersisi tegak terhadap kontrol ambles adalah *minipile prestressed square pile* dari produk waskita precast. Brosur ukuran dan spesifikasi produk disajikan pada lampiran.

4) *Keystone Wall*

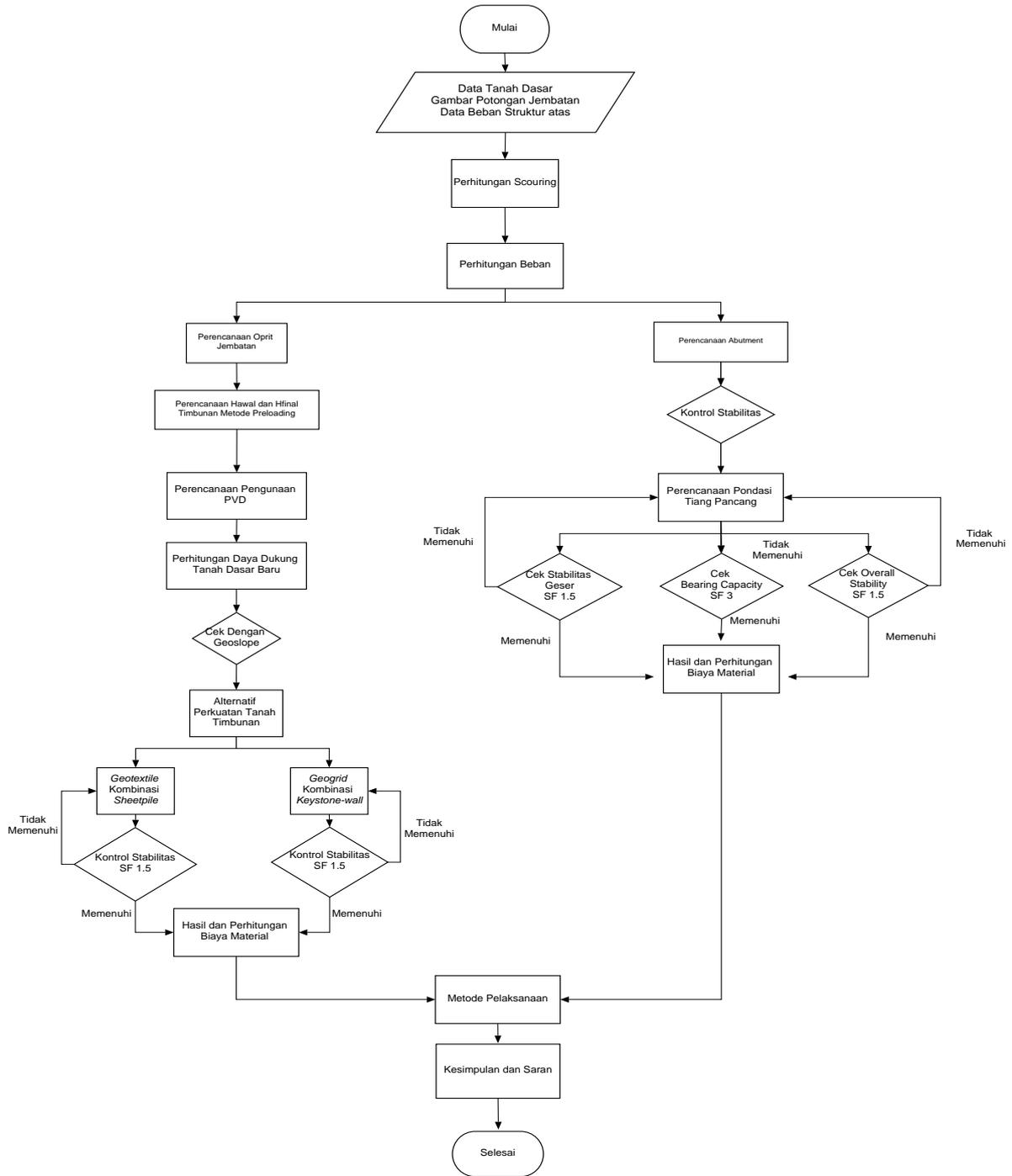
Keystone Wall yang digunakan dalam alternatif perencanaan dinding samping oprit bersisi tegak adalah produk *keystone compact IV* dengan berat 34 kg/unit. Brosur produk disajikan pada lampiran

5) *Pondasi Tiang Pancang*

Pondasi Tiang pancang pada perencanaan pondasi dalam *abutment* direncanakan menggunakan produk waskita *Precast* tipe *Pc Spun Pile*. Brosur produk disajikan pada lampiran

6) *Prefabricated Vertical Drain (PVD) & Prefabricated Horizontal Drain (PHD)*

PVD yang digunakan berfungsi untuk mempercepat terjadinya *settlement* ($U=90\%$) dengan waktu efektif 6 bulan. PHD berfungsi untuk mengalirkan air dari PVD sampai ke drainase samping oprit. Digunakan produk Geoforce Indonesia tipe GD-90. Brosur Produk disajikan pada lampiran.



Gambar 3. Diagram Alir Metode Perencanaan

Tabel 1. Data Tanah

| Kedalaman (m) | Average Nilai N _{spt} | Deskripsi | Konsistensi Jenis Tanah | W _c % | G _s gr/cm ³ | γ _{sat} t/m ³ | γ _d t/m ³ | γ _t t/m ³ | LL % | PI % | Cu Kpa | e _o | C _c | C _s | CV cm ² /det |
|---------------|--------------------------------|------------------------|-------------------------|------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------|--------|--------|----------------|----------------|----------------|-------------------------|
| 0 - 1 | 4 | Lempung Lanau Berpasir | Soft | 79,38 | 2,564 | 1,600 | 0,953 | 1,600 | 64,45 | 34,010 | 7,78 | 2,144 | 0,901 | 0,195 | 0,00042 |
| 1 - 3 | 7 | Lempung Lanau Berpasir | Medium | 68,85 | 2,564 | 1,650 | 1,032 | 1,650 | 64,45 | 34,010 | 9,06 | 1,859 | 0,745 | 0,164 | 0,00050 |
| 3 - 8 | 1 | Lempung Lanau Berpasir | Very Soft | 89,91 | 2,564 | 1,550 | 0,874 | 1,550 | 64,45 | 34,010 | 11,81 | 2,428 | 1,080 | 0,231 | 0,00033 |
| 8 - 15 | 9 | Lempung Berpasir | Medium | 61,83 | 2,564 | 1,683 | 1,085 | 1,683 | 63,82 | 34,470 | 16,87 | 1,415 | 0,649 | 0,144 | 0,00056 |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|----|------------------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|---------|
| 15 - 19 | 15 | Lempung Berpasir | Stiff | 61,83 | 2,667 | 1,735 | 1,176 | 1,735 | 63,82 | 34,470 | 43,00 | 1,270 | 0,433 | 0,101 | 0,00056 |
| 19 - 27 | 29 | Lempung Berpasir | Very Stiff | 47,51 | 2,645 | 1,735 | 1,176 | 1,735 | 68,77 | 36,360 | 124,00 | 1,230 | 0,301 | 0,075 | 0,07451 |
| 27 - 29 | 44 | Lempung Berpasir | Hard | 46,65 | 2,645 | 1,735 | 1,184 | 1,735 | 68,77 | 36,360 | 124,00 | 1,230 | 0,336 | 0,084 | 0,08441 |
| 29 - 30 | 38 | Lempung Berpasir | Very Stiff | 43,81 | 2,732 | 1,788 | 1,244 | 1,788 | 64,75 | 33,500 | 155,00 | 1,200 | 0,308 | 0,076 | 0,07637 |

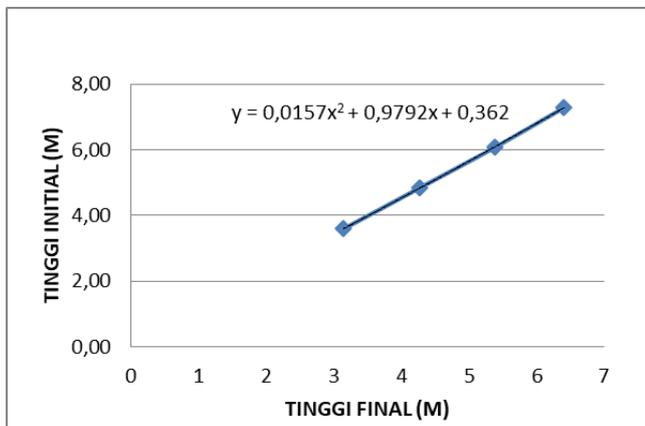
Tabel 2.
Hasil Running DXSTABLE

| No. | SF (bishop) | Moment resisting (KN-m) | Circle center | | Radius m | Initial x (m) | Terminal x (m) |
|-----|-------------|-------------------------|---------------|-------|-------------|------------------|-------------------|
| | | | x (m) | y (m) | | | |
| 1 | 0,964 | 1050 | 19,45 | 19,12 | 6,340 | 14,630 | 25,76 |
| 2 | 0,965 | 1057 | 19,5 | 19,13 | 6,350 | 14,670 | 25,82 |
| 3 | 0,966 | 1062 | 19,51 | 19,14 | 6,370 | 14,670 | 25,85 |
| 4 | 0,968 | 1129 | 19,50 | 19,29 | 6,590 | 14,500 | 26,03 |
| 5 | 0,969 | 1166 | 19,57 | 19,38 | 6,700 | 14,500 | 26,21 |

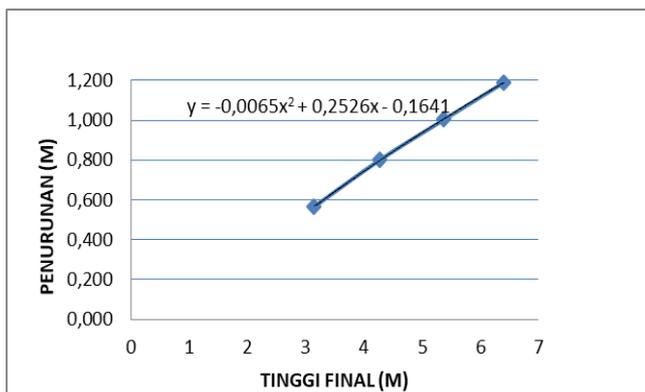
V. PEMBAHASAN

A. Perhitungan Pemampatan dan Tinggi Awal ($H_{initial}$)

Dalam perhitungan $H_{initial}$ dan H_{final} , pemampatan tanah dasar yang diperhitungkan adalah yang masih bisa mengalami proses konsolidasi primer atau setebal lapisan *compressible* (H) dengan konsistensi tanah dasar *very soft soil* s/d *medium soil*. Perhitungan besar pemampatan dilakukan untuk mencari tinggi timbunan awal yang dibutuhkan untuk mencapai tinggi rencana ketinggian oprit yaitu 3,5. Perencanaan $H_{inisial}$ dalam Penelitian ini memperhitungkan beban timbunan, beban *traffic*, dan beban perkerasan dengan hasil grafik perhitungan digambarkan pada Gambar 4 dan 5.



Gambar 4. Hubungan H_{final} dengan $H_{initial}$

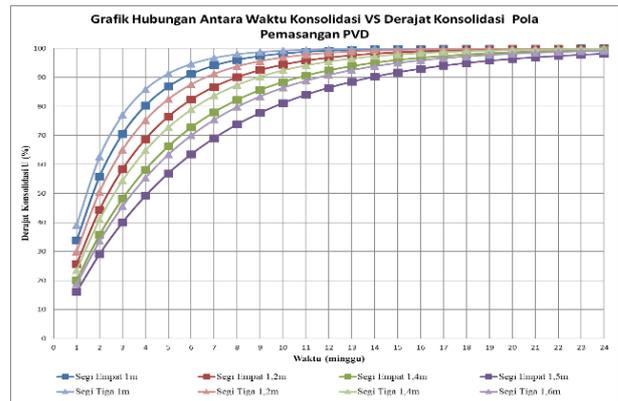


Gambar 5. Hubungan H_{final} dengan Settlement (S_c)

Berdasarkan Gambar 4 dan 5 maka untuk $H_{final} = 3,5$ meter dapat ditentukan $H_{initial}$ yang terjadi adalah sebesar 3,982 meter dengan *settlement* sebesar 0,64 meter.

B. Perbaikan Tanah Dasar

Waktu konsolidasi alami yang terjadi cukup lama yaitu hingga 134 tahun, sehingga diperlukan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) untuk mempercepat waktu konsolidasi.



Gambar 6. Grafik Hubungan Waktu dengan Derajat Konsolidasi (U) dengan menggunakan PVD Pola Segiempat dan Segi empat

PVD yang digunakan dalam perencanaan adalah menggunakan pola segitiga dengan jarak antar PVD adalah 0,9 m. karena Area serap pola segitiga lebih luas dibandingkan dengan segi empat dan jarak spasi antar PVD yang digunakan adalah $S = 0,9$ meter atas pertimbangan dapat mencapai $U = 90\%$ dalam waktu 8 minggu pentahapan penimbunan. yang lain adalah mahalnnya harga material PVD.

C. Stabilitas Timbunan

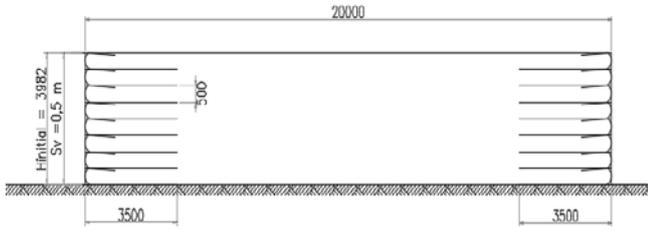
Setelah menghitung perbaikan tanah menggunakan PVD kemudian dilakukan kontrol *overall stability* dan *internal stability* menggunakan software DXSTABLE untuk mengetahui nilai *safety factor* (SF). Dilakukan perhitungan SF sebanyak 5 kali untuk timbunan tegak dengan $H_{initial}$ 3,982. Hasil *Running* dengan 5 nilai minimum hasil kontrol *overall stability* ditabelkan sebagai Pada Tabel 2.

Dari perhitungan SF diatas didapatkan bahwa SF terkecil hasil kontrol adalah sebesar 0,964 dimana nilai SF ini masih kurang dari SF rencana sebesar 1,25 maka stabilitas timbunan dianggap tidak aman, sehingga dibutuhkan perkuatan untuk kestabilan timbunan.

D. Perencanaan Geotextile Walls sebagai Perkuatan Oprit Timbunan (Alternatif 1)

Adapun hasil perhitungan kebutuhan *geotextile* pada $H_{initial}$ oprit 3,982 m yang ditabelkan pada Tabel 3 dan 4.

Berikut Sketsa pemasangan *geotextile wall* yang telah diperhitungkan :

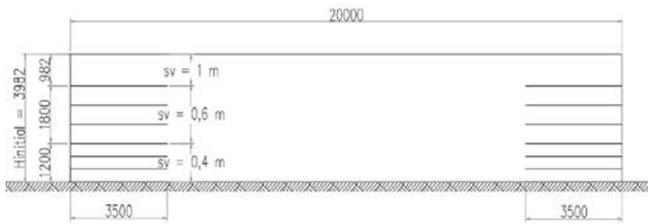


Gambar 7. Sketsa pemasangan *geotextile wall*.

E. Perencanaan Geogrid kombinasi Keystone-wall sebagai Perkuatan Oprit Timbunan (Alternatif 2)

Adapun hasil perhitungan kebutuhan *geogrid* pada $H_{initial}$ oprit 3,982 m yang ditabelkan pada Tabel 5 dan 6.

Berikut Sketsa pemasangan *geogrid wall* yang telah diperhitungkan :

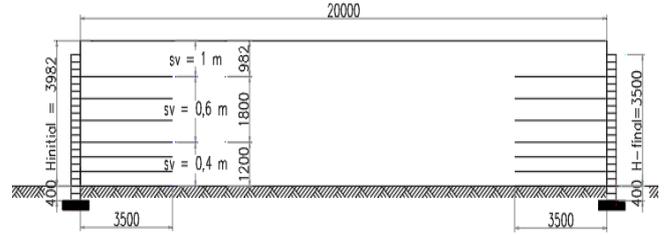


Gambar 8. Sketsa pemasangan *geogrid wall*.

• Perencanaan Keystone-wall

Keystone wall yang digunakan sebagai dinding penahan tanah segmental adalah *Keystone wall* dengan tipe *Keystone*

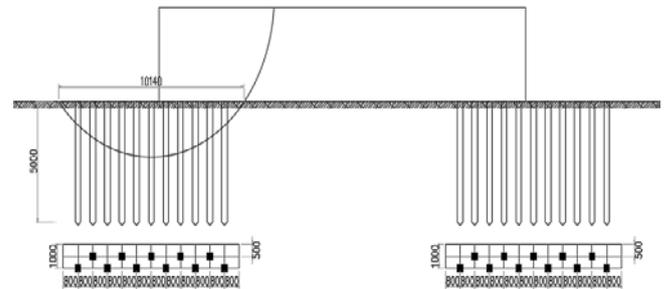
Compac IV (Straight – Face) Sketsa pemasangan *keystone-wall* digambarkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Sketsa pemasangan *keystone*

F. Perencanaan Micropile Sebagai Perkuatan Bearing Capacity

Micropile dalam tugas akhir ini digunakan untuk perkuatan timbunan agar tidak mengalami *bearing capacity failure* diakrenakan hasil perhitungan stabilitas *bearing capacity failure* dari 2 alternatif perkuatan belum memenuhi. Jumlah *micropile* yang telah diperhitungkan guna memenuhi SF 1,5 digunakan 11 buah *micropile* untuk kedua sisi timbunan dengan sketsa pemasangan *Micropile* digambar pada Gambar 10.



Gambar 10. Sketsa pemasangan *micropile*

Tabel 3.
Sv Pemasangan *Geotextile*

| Z (m) | Ka timb | γ (t/m^3) | σH_s (t/m^2) | σH_q (t/m^2) | $\sum \sigma H$ (t/m^2) | T allow (t/m) | Sv (m) | Sv pakai (m) |
|-------|---------|----------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------------|---------------|---------|--------------|
| 0 | 0,333 | 1,8 | 0 | 0,5 | 0,5 | | | |
| 1 | 0,333 | 1,8 | 0,6 | 0,5 | 1,1 | 3,092 | 187,381 | 0,5 |
| 2 | 0,333 | 1,8 | 1,2 | 0,5 | 1,7 | 3,092 | 121,247 | 0,5 |
| 3 | 0,333 | 1,8 | 1,8 | 0,5 | 2,3 | 3,092 | 0,89617 | 0,5 |
| 3,9 | 0,333 | 1,8 | 2,34 | 0,5 | 2,8 | 3,092 | 0,72577 | 0,5 |

Tabel 4.
Le, Lr, dan Lo *geotextile*

| Z (m) | Ka timb | γ (t/m^3) | σv (t/m^2) | Hitungan | | | Pakai | | Keterangan |
|-------|---------|----------------------|------------------------|----------|--------|--------|-------------|--------|---------------|
| | | | | Le (m) | Lr (m) | Lo (m) | Le & Lr (m) | Lo (m) | |
| 0 | 0,333 | 1,8 | | | | | | | |
| 1 | 0,333 | 1,8 | 1,8 | 0,200 | 1,721 | 0,198 | 3,5 | 1 | tidak menerus |
| 2 | 0,333 | 1,8 | 3,6 | 0,234 | 1,144 | 0,153 | 3,5 | 1 | tidak menerus |
| 3 | 0,333 | 1,8 | 5,4 | 0,255 | 0,567 | 0,138 | 3,5 | 1 | tidak menerus |
| 3,9 | 0,333 | 1,8 | 7,02 | 0,269 | 0,047 | 0,131 | 3,5 | 1 | tidak menerus |

Tabel 5.
Sv Pemasangan *Geogrid*

| Z (m) | Ka timb | γ (t/m^3) | σH_s (t/m^2) | σH_q (t/m^2) | $\sum \sigma H$ (t/m^2) | T allow (t/m) | Sv (m) | Sv pakai (m) |
|-------|----------|----------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------------|---------------|---------|--------------|
| 0 | 0,333333 | 1,8 | 0 | 0,5 | 0,5 | | | |
| 1 | 0,333333 | 1,8 | 0,6 | 0,5 | 1,1 | 2,473 | 149,905 | 1 |
| 2 | 0,333333 | 1,8 | 1,2 | 0,5 | 1,7 | 2,473 | 0,96997 | 0,6 |
| 3 | 0,333333 | 1,8 | 1,8 | 0,5 | 2,3 | 2,473 | 0,71694 | 0,6 |
| 3,9 | 0,333333 | 1,8 | 2,34 | 0,5 | 2,84 | 2,473 | 0,58062 | 0,4 |

Tabel 6.
Le dan Lr, *geogrid*

| Z (m) | Ka timb | γ (t/m ³) | σ_v (t/m ²) | Hitungan | | Pakai | Keterangan |
|-------|----------|------------------------------|--------------------------------|----------|---------|-------------|---------------|
| | | | | Le (m) | Lr (m) | Le & Lr (m) | |
| 0 | 0,333333 | 1,8 | | | | | |
| 1 | 0,333333 | 1,8 | 1,8 | 0,33679 | 1,72138 | 3,5 | tidak menerus |
| 2 | 0,333333 | 1,8 | 3,6 | 0,21927 | 1,14403 | 3,5 | tidak menerus |
| 3 | 0,333333 | 1,8 | 5,4 | 0,22858 | 0,56668 | 3,5 | tidak menerus |
| 3,9 | 0,333333 | 1,8 | 7,02 | 0,15595 | 0,04707 | 3,5 | tidak menerus |

Tabel 7.
Biaya Material Alternatif *Geotextile wall*

| No | Jenis Pekerjaan | Satuan | Volume | Harga per (m ³) | Total Harga (+PPN 10%) |
|-------------|----------------------|--------|--------|-----------------------------|------------------------|
| 1 | Timbunan | m3 | 3654 | Rp 93.750,00 | Rp 376.818.750,00 |
| 2 | <i>Geotextile</i> | m2 | 3036 | Rp 18.000,00 | Rp 60.112.800,00 |
| 3 | <i>Keystone wall</i> | m2 | 526 | Rp 550.000,00 | Rp 318.302.600,00 |
| Total Harga | | | | | Rp 755.234.150,00 |

Tabel 8.
Biaya Material Alternatif *Geogrids dan Keystone-wall*

| No | Jenis Pekerjaan | Satuan | Volume | Harga per (m ³) | Total Harga (+PPN 10%) |
|-------------|-----------------|--------|--------|-----------------------------|------------------------|
| 1 | Timbunan | m3 | 3654 | Rp 93.750,00 | Rp 376.818.750,00 |
| 2 | Geogrid | m2 | 1836 | Rp 13.000,00 | Rp 26.254.800,00 |
| 3 | Keystone wall | m2 | 526 | Rp 550.000,00 | Rp 318.302.600,00 |
| Total Harga | | | | | Rp 721.376.150,00 |

Tabel 9.
Rekap Total Kombinasi Pembebanan

| Kombinasi Pembebanan | Gaya (ton) | | | momen-x | momen-y |
|----------------------|------------|--------|---------|---------|---------|
| | Hx | Hy | V | (t-m) | (t-m) |
| Kombinasi 1 | 210,77 | 0,00 | 2548,16 | 0,00 | 32,17 |
| Kombinasi 2 | 212,94 | 0,00 | 2548,16 | 0,00 | 36,61 |
| Kombinasi 3 | 210,77 | 1,05 | 2548,16 | 3,34 | 32,17 |
| Kombinasi 4 | 212,94 | 1,05 | 2548,16 | 3,34 | 36,61 |
| Kombinasi 5 X | 913,65 | 156,56 | 2277,28 | 298,79 | 1247,14 |
| Kombinasi 5 Y | 386,64 | 521,88 | 2277,28 | 995,97 | 190,16 |

G. Analisa Biaya Material

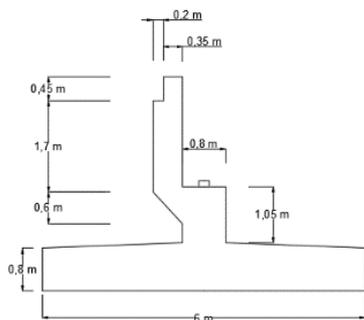
Hasil perhitungan total biaya alternatif perkuatan timbunan *Geotextile wall* dan biaya alternatif perkuatan timbunan kombinasi *Geogrids* dan *Keystone-wall* dapat dilihat pada Tabel 7 dan Tabel 8.

H. Perencanaan Abutment

Data Perencanaan :

- Panjang girder (L) = 30 m
- Lebar jalan (b) = 2 x 8 m
- Lebar Trotoar = 2 x 1,5 m
- Tebal plat lantai jembatan (t_s) = 0.6 m
- Tebal lapisan aspal + overlay (t_a) = 0.1 m
- Lebar abutment (B) = 20 m
- Tinggi abutment (ha) = 4 m

Dengan gambar sketsa perencanaan *abutment* digambarkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Sketsa Perencanaan *Abutment*

Rekap Kombinasi Beban yang terjadi di *abument* ditabelkan pada Tabel 9 berikut ini :

Tabel 9.
Rekap Total Kombinasi Pembebanan

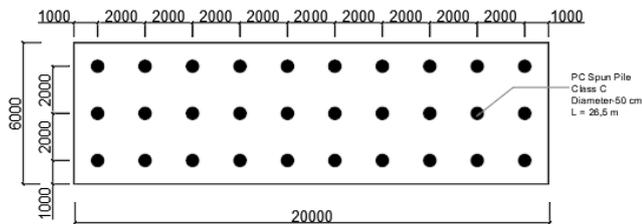
| Kombinasi Pembebanan | Gaya (ton) | | | momen-x | momen-y |
|----------------------|------------|--------|---------|---------|---------|
| | Hx | Hy | V | (t-m) | (t-m) |
| Kombinasi 1 | 210,77 | 0,00 | 2548,16 | 0,00 | 32,17 |
| Kombinasi 2 | 212,94 | 0,00 | 2548,16 | 0,00 | 36,61 |
| Kombinasi 3 | 210,77 | 1,05 | 2548,16 | 3,34 | 32,17 |
| Kombinasi 4 | 212,94 | 1,05 | 2548,16 | 3,34 | 36,61 |
| Kombinasi 5 X | 913,65 | 156,56 | 2277,28 | 298,79 | 1247,14 |
| Kombinasi 5 Y | 386,64 | 521,88 | 2277,28 | 995,97 | 190,16 |

I. Perencanaan Tiang Pancang

Dalam perencanaan ini digunakan tiang pancang *PC spun pile* (*Waskita precast*) grade C, dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Mutu beton, *f_c'* = 60 MPa
- Outside Diameter* = 500 mm
- Wall thickness* = 90 mm
- Class* = C
- AP = 1159 cm²
- Allowable axial* = 169 ton
- Bending moment (crack)* = 17 t.m
- Bending moment (ultimate)* = 34 t.m
- Kedalaman tanam tiang rencana, (*L_d*) = 27 m

Dengan gambar sketsa group tiang pancang yang direncanakan digambarkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Konfigurasi Tiang Pancang Abutment

Kemudian tiang pancang dikontrol dengan hasil kontrol sebagai berikut :

- Kontrol Terhadap Gaya Vertikal Tiang

Tabel 10. Kontrol Tegangan Vertikal tiang

| P Tekan | SF | P izin tekan | Cek Tekan | P cabut | SF | P izin cabut | Cek cabut |
|---------------|----|--------------|-----------|------------|----|--------------|-----------|
| 8,574,281,933 | 3 | 124,04 | OK | 84,134,453 | 3 | 88,49 | OK |
| 6,868,304,609 | 2 | 186,06 | OK | 84,023,465 | 2 | 103,82 | OK |
| 6,861,855,481 | 2 | 186,06 | OK | 84,104,079 | 2 | 103,82 | OK |
| 6,134,584,414 | 2 | 186,06 | OK | 83,993,091 | 2 | 103,82 | OK |
| 7,320,269,093 | 2 | 186,06 | OK | 42,014,569 | 2 | 103,82 | OK |
| 5,981,166,974 | 2 | 186,06 | OK | 62,101,101 | 2 | 103,82 | OK |

- Kontrol Terhadap Gaya Lateral Tiang

Tabel 11. Kontrol Moment Crack tiang

| Komb. | Faktor teg. Berlebihan | Kelas B PC Spun Pile D80 Waskita Precast | | | | | Cek |
|----------|------------------------|--|--------|--------|-----------|----------|-----|
| | | M crack ton.m | Hx ton | Hy ton | P max ton | MP ton.m | |
| Komb. 1 | 100% | 17 | 210,77 | 0,00 | 7,03 | 10,053 | OK |
| Komb. 2 | 125% | 21,25 | 212,94 | 0,00 | 5,68 | 8,125 | OK |
| Komb. 3 | 125% | 21,25 | 210,77 | 1,05 | 5,62 | 8,043 | OK |
| Komb. 4 | 140% | 23,8 | 212,94 | 1,05 | 5,07 | 7,255 | OK |
| Komb. 5x | 150% | 25,5 | 913,65 | 156,56 | 20,60 | 24,100 | OK |
| Komb. 5y | 150% | 25,5 | 386,64 | 521,88 | 14,43 | 20,653 | OK |

- Kontrol Terhadap Gaya Horizontal Maksimum Tiang

Tabel 12. Kontrol Gaya Horizontal Maksimum

| Komb. | Faktor teg. Berlebihan | Kelas B PC Spun Pile D80 Waskita Precast | | | | | SF |
|----------|------------------------|--|--------|--------------|-------------|------------|-------|
| | | Hx ton | Hy ton | Hu tiang ton | Hu Red. ton | Hu max ton | |
| Komb. 1 | 100% | 210,77 | 0,00 | 7,026 | 7,03 | 42,560 | 6,058 |
| Komb. 2 | 125% | 212,94 | 0,00 | 7,098 | 5,68 | 42,560 | 7,495 |
| Komb. 3 | 125% | 210,77 | 1,05 | 7,026 | 5,62 | 42,560 | 7,572 |
| Komb. 4 | 140% | 212,94 | 1,05 | 7,098 | 5,07 | 42,560 | 8,394 |
| Komb. 5x | 150% | 913,65 | 156,56 | 30,899 | 20,60 | 42,560 | 2,066 |
| Komb. 5y | 150% | 386,64 | 521,88 | 21,650 | 14,43 | 42,560 | 2,949 |

J. Metode Pelaksanaan

1) Metode Pelaksanaan Tiang pancang

- Pembersihan lahan
- Marking titik yang akan dilakukan pemancangan
- Pengeboran
- Pengadaan spun pile dan peletakan spun pile kedalam galian

2) Metode Pelaksanaan Abutment

- Pekerjaan pour abutment
 - Pemasangan tulangan

- Pemasangan bekisting
 - Pengecoran
- Pekerjaan Badan dan Dinding Sayap Abutment
 - Pemasangan tulangan
 - Pemasangan bekisting sesuai bentuk abutment
 - Pengecoran

3) Metode Pelaksanaan Geotextile wall

- Proses persiapan dan pembersihan lahan
- Pemasangan PVD dan PHD
- Penempatan geotextile
- Pemberian tanah pengisi di atas geotextile dan pemadatan
- Diteruskan sampai ketinggian yang dikehendaki
- Penutup permukaan dengan sheet pile

4) Metode Pelaksanaan Geogrid kombinasi Keystone-wall

- Proses persiapan dan pembersihan lahan
- Pembuatan pondasi telapak dangkal
- Susun keystone wall sebagai facing
- Penggelaran atau penghamparan material geogrid
- Pemberian tanah pengisi diatas geogrid dan pemadatan
- Diteruskan sampai ketinggian yang dikehendaki

VI. KESIMPULAN

1. Perencanaan Abutmen

- ✓ Dimensi abutmen yang direncanakan memiliki tinggi 4 m, lebar 6 m dan panjang 20 m.
- ✓ Pondasi yang direncanakan pada abutmen ini adalah pondasi tiang pancang PC Spun Pile produk PT.Waskita Precast dengan diameter 50 cm yang berjumlah 52 buah dengan konfigurasi 20 x 6 dan kedalaman pondasi 27 m.
- ✓ Tulangan utama pada poer menggunakan D32 – 190 mm dan tulangan bagi menggunakan D20 – 300 mm
- ✓ Tulangan utama breast-wall abutmen menggunakan D32 – 300 mm dan tulangan bagi menggunakan D22– 150 mm.
- ✓ Tulangan utama back-wall abutmen menggunakan D22 – 200 mm dan tulangan bagi menggunakan D19– 400 mm.

2. Pengaruh scouring dari Sungai Surabaya untuk abutment sebelah kanan jembatan joyoboyo tidak ada dikarenakan posisi letak abutment sebelah kanan jembatan joyoboyo adalah 30 meter dari penampang sungai Surabaya.

3. Waktu konsolidasi alami tanpa ada metode percepatan pemampatan adalah 134,48 tahun dengan total settlement adalah sebesar 0,64 meter.

4. Untuk mempercepat proses konsolidasi (Uv = 90%) dan Mempercepat peningkatan daya dukung tanah dasar digunakan metode perbaikan tanah dasar dengan menggunakan Pre-Fabricated Vertical Drain (PVD) untuk mempercepat waktu konsolidasi.

5. Perencanaan Geotextile wall dan Geogrid retaining wall didapatkan hasil seperti ditabelkan pada Tabel 13.

Tabel 13. Perencanaan Geotextile wall dan Geogrid retaining wall

| Item Perkuatan | Geotextile | Geogrid |
|----------------|--|-------------------------|
| Jenis | polypropylene woven geotextiles Huesker Stabilenka | Geogrid TENAX Uni-Axial |
| Tipe | 200/45 | TT 160 Samp |
| Kekuatan Tarik | 200 KN/m | 160 KN/m |

| Facing | <i>Keystone Compac IV (Straight – Face)</i> | <i>Keystone Compac IV (Straight – Face)</i> |
|--------------------|---|--|
| Kontrol Bearing Sv | <i>Micropile</i> 0,5 meter | <i>Micropile</i> 0,4 meter; 0,6 meter dan 1 meter |
| Jumlah Layer | 8 layer | 7 layer |
| Total Panjang | 4,5 meter | 3,5 meter |

6. Dinding penahan tanah untuk oprit direncanakan dengan membandingkan *geotextile wall* dan kombinasi *geogrid - keystone*. Pada perencanaan kombinasi *geotextile wall* didapatkan total biaya material yang diperlukan adalah Rp755.234.150,00 dan pada perencanaan kombinasi *geogrid – keystone wall* didapatkan total biaya material

yang diperlukan sebesar Rp721.376.150,00 Didapatkan kesimpulan bahwa perencanaan menggunakan kombinasi *geogrid – keystone* merupakan perencanaan dinding penahan tanah termurah.

7. Metode pelaksanaan struktur bawah dan *approach* jembatan joyoboyo terdiri dari metode pelaksanaan tiang pancang, metode pelaksanaan *abutment*, metode pelaksanaan *Geotextile wall*, metode pelaksanaan *geogrid* kombinasi *keystone-wall*

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Supriyadi and A. S. Muntohar, *Jembatan*. Yogyakarta: Beta Offset, 2007.