

# Perencanaan Abutment dan Sistem Perkuatan Oprit Jembatan Damas, Trenggalek, Jawa Timur

Muhammad Zedy Drivama Surya, Suwarno, dan Indrasurya B. Mochtar  
Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia  
e-mail: [zendyds@gmail.com](mailto:zendyds@gmail.com)

**Abstrak - Jembatan Damas di daerah Prigi, Trenggalek mempunyai peranan yang penting karena menghubungkan jalan pada Jalur Lintas Selatan ( JLS ) yang terputus oleh aliran sungai**

**Dalam tugas akhir ini, direncanakan timbunan jalan pendekat/oprit dengan tinggi 7 m. Perencanaan oprit ini sendiri tidak diperlukan adanya perbaikan terhadap lapisan tanah dasar karena tanah dasar yang dominan pasir dan memiliki daya dukung yang sudah cukup baik.. Untuk oprit jembatan direncanakan tiga alternatif oprit. Pertama adalah timbunan bebas tanpa adanya perkuatan dinding penahan tanah. Dan dua alternative lain adalah direncanakannya dinding penahan tanah untuk timbunan oprit antara lain dengan kombinasi Geotextile – sheetpile dan Keystone Wall-Geogrid. Kemudian dalam tugas akhir ini juga direncanakan abutment untuk Jembatan Damas.**

**Kemudian dari hasil analisa perhitungan perencanaan dinding penahan tanah setelah membandingkan tiga alternatif yang direncanakan didapatkan bahwa perkuatan didinding penahan tanah menggunakan kombinasi Geogrid – Keystone wall merupakan perencanaan termurah dengan total biaya yang dibutuhkan sebesar Rp 3,822,999,619,65.**

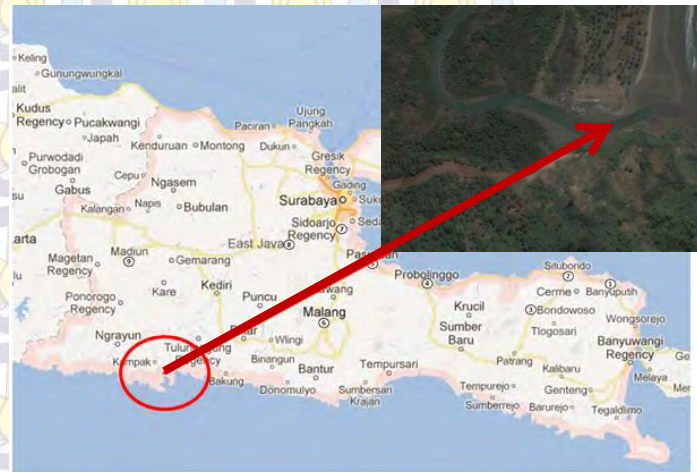
**Dan pada perencanaan abutment direncanakan tinggi 8 meter dan ditopang oleh pilecap berukuran 6 meter x 11 meter dan ditopang oleh 18 buah pondasi tiang pancang, dimana pondasi tiang pancang yang digunakan berdiameter 60 cm sedalam 20 m.**

## I. PENDAHULUAN

Damas, Trenggalek terletak di selatan pulau Jawa, 5 km arah barat daya dari Prigi, tepatnya terletak  $\pm 53$  km arah selatan kota Trenggalek. Jembatan Damas di daerah Prigi, Trenggalek mempunyai peranan yang penting karena menghubungkan jalan pada Jalur Lintas Selatan ( JLS ) yang terputus oleh aliran sungai. Data tanah proyek jembatan ini menunjukkan bahwa terdapat lapisan *loose sand* hingga kedalaman 11 m. Jembatan ini juga memiliki oprit jembatan yang tinggi, yaitu 7 m karena berada di muara pantai laut selatan sehingga terpengaruh oleh pasang surut air laut. Oprit Jembatan Damas pada kondisi di lapangan merupakan sebuah timbunan bebas dengan tinggi 1:2 dan menggunakan kerb selebar 1 m. Kelemahan pada oprit yang didesain di lapangan yaitu memerlukan pembebasan lahan yang cukup luas sehingga perlu dibandingkan dengan oprit tegak yang hanya membutuhkan sedikit pembebasan lahan.

Dalam Tugas Akhir ini, akan disarankan alternatif - alternatif perencanaan oprit jembatan damas, baik merupakan timbunan lereng yang akan direncanakan menggunakan *sub-drain*, maupun timbunan tegak beserta

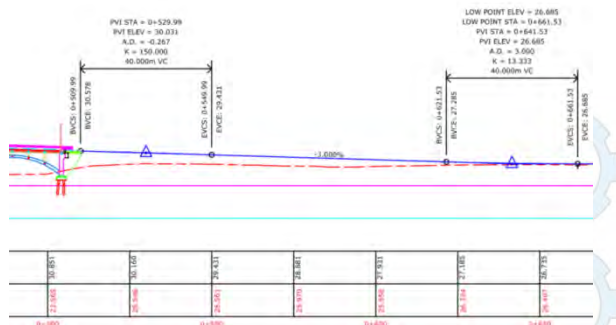
sistem perkuatannya agar dapat dipilih alternatif yang paling efisien dari segi biaya material. Selain itu dalam Tugas Akhir ini akan direncanakan kembali perencanaan abutment pada Jembatan Damas agar didapatkan pembandingan terhadap perencanaan abutment yang sebelumnya. Abutment yang direncanakan pada Tugas Akhir ini adalah abutment pada sisi utara jembatan, dikarenakan pada sisi ini didapatkan data tanah yang paling buruk. Jembatan ini berlokasi di Damas, Prigi, Trenggalek, Jawa Timur, Indonesia. Lokasi, *layout* dan gambar potongan Jembatan Damas dapat dilihat pada **Gambar 1.1** sampai **Gambar 1.5**.



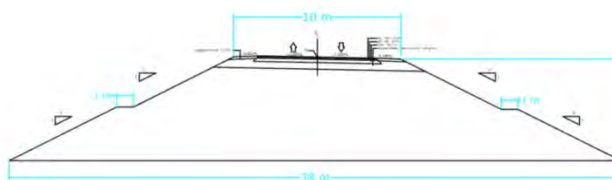
**Gambar 1.1** Peta Lokasi Jembatan Damas  
(Sumber : <http://googleearth.com>)



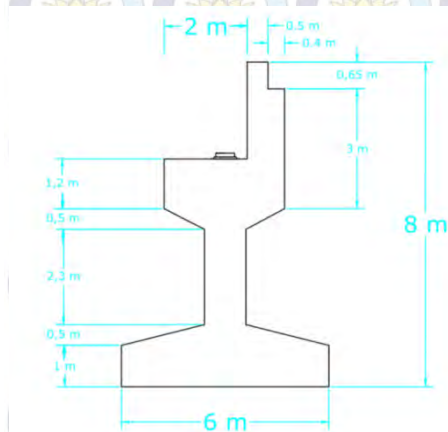
**Gambar 1.2** Layout Jembatan Damas



Gambar 1.3 Potongan memanjang Jembatan Damas



Gambar 1.4 Potongan melintang oprit Jembatan Damas



Gambar 1.5 Perencanaan awal dimensi abutment Jembatan Damas

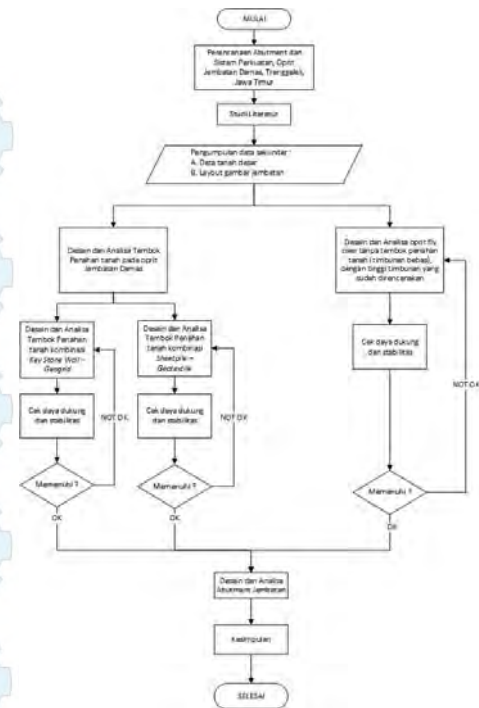
Pada tugas akhir ini terdapat beberapa masalah yang akan dibahas antara lain:

1. Bagaimana perencanaan timbunan bebas menggunakan *sub-drain* dan Tipe dinding penahan tanah apakah yang sesuai untuk perkuatan timbunan tegak oprit jembatan ?
2. Bagaimana perencanaan abutment yang dibutuhkan untuk oprit jembatan ?

Tujuan yang ingin dicapai dengan adanya penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Merencanakan timbunan bebas menggunakan sub-drain dan alternatif tipe perkuatan timbunan tegak oprit jembatan yang ekonomis dan agar tidak terjadi kelongsoran.
2. Merencanakan abutment jembatan yang memenuhi syarat stabilitas.

## II. METODOLOGI



Gambar 2.1 Metodologi Tugas Akhir

Adapun keterangan dari bagan metodologi di atas adalah sebagai berikut :

### 2.1 Pengumpulan Data Sekunder

Data yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir adalah data sekunder yang diperoleh dari PT. Buana Archicon. Data sekunder yang digunakan dalam proses perhitungan antara lain :

- a. Data tanah dasar
- b. Gambar lay out dan potongan jembatan

### 2.2 Studi Literatur

Dalam penyusunan Tugas Akhir diperlukan studi literatur untuk menambah pengetahuan tentang merencanakan perbaikan tanah. Studi literatur dapat diperoleh dari jurnal, internet, artikel, buku-buku, dan diktat kuliah yang berhubungan dengan penyusunan Tugas Akhir.

### 2.3 Analisa Data Tanah Dasar

Pada penyusunan Tugas Akhir ini perlu menganalisa data tanah dasar proyek jembatan dengan meninjau lama pemampatan dan besar pemampatan timbunan tanah.

### 2.4 Analisa Kestabilan Timbunan

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini perlu menganalisa kestabilan timbunan dengan menggunakan program bantu. Apabila hasil  $SF \leq 1,5$  maka timbunan tersebut memerlukan perbaikan tanah dasar oprit jembatan.

### 2.5 Perencanaan Kombinasi *Sheet Pile-Geotextile*

*Sheet pile* merupakan konstruksi penahan tanah yang lentur dan merupakan salah satu konstruksi yang banyak digunakan dalam penanggulangan kelongsoran lereng atau

timbunan dengan area terbatas yang membutuhkan lereng yang tegak. Dalam proses pelaksanaan, *sheet pile* akan dikombinasikan dengan *geotextile* dan didesain hanya menerima beban sebesar 25%, sedangkan beban sebesar 75% akan dipikul oleh *geotextile*.

## 2.6 Perencanaan Kombinasi *Keystone Wall-Geogrid*

*Keystone wall* merupakan dinding penahan tanah yang mengandalkan berat bahan sebagai penahan tanah umumnya berupa pasangan batu dan pada saat pelaksanaan proyek timbunan diberi *geogrid* yang terdiri dari jaringan yang beraturan dan terhubung satu sama lainnya dengan ukuran  $\leq 6,35$  mm sehingga memungkinkan untuk saling mengunci dengan tanah, batuan ataupun struktur lain di sekitarnya serta memiliki fungsi primer sebagai perkuatan.

## 2.7 Perencanaan Timbunan Bebas Berbentuk Lereng

Dalam Tugas Akhir ini, juga direncanakan timbunan oprit jembatan yang berupa timbunan bebas tanpa tembok penahan tanah. Perencanaan timbunan bebas ini diperkuat dengan *geotextile* apabila timbunan dengan tinggi rencana kurang kuat stabilitasnya.

## 2.8 Cek Daya Dukung dan Stabilitas Dinding Penahan Tanah

Pada setiap tipe dinding penahan tanah, akan dicek daya dukung dan stabilitas dari perencanaan konstruksi yang dibuat. Pada tahap ini, digunakan program bantu.

## 2.9 Perhitungan Abutment Jembatan

Abutment adalah bangunan bawah jembatan yang terletak pada kedua ujung pilar – pilar jembatan, yang memiliki fungsi sebagai pemikul seluruh beban (beban hidup dan beban mati) pada jembatan. Perhitungan abutment dapat ditentukan dengan menganalisa stabilitas dari :

- Longsor
- Kegagalan dari tanah dasar
- Kegagalan gelincir dari tanah di sekeliling abutment

## 2.10 Perhitungan Biaya Material yang Digunakan

Pada tahap ini, dilakukan perhitungan biaya material yang digunakan pada setiap tipe dinding penahan tanah.

## 2.11 Kesimpulan

Langkah ini berisi kesimpulan dari ketiga metode alternatif perencanaan dan saran pemilihan metode perencanaan yang tepat pada pembangunan dinding penahan tanah pada oprit Jembatan Damas.

## III. PEMBAHASAN

### A. Pengumpulan Data dan Analisa

#### Data Tanah Dasar

Data tanah tersebut dapat dilihat pada **Tabel 3.1**.

**Tabel 3.1** Hasil Rekap Data Tanah Dasar

Jenis Tanah	Dept h	N SPT	$\gamma_{sat}$	$e_u$	$G_s$	IP	cc	cv	cu	Wc
	m		t/m <sup>3</sup>			%		cm <sup>2</sup> .de t	kg/cm <sup>2</sup>	%
Pasir berlanau	0-3	5	1.73	0.9 0	2.6 8	13.6 8	0.1 5	0.0002 4	0.055	23.6 2
Pasir berlanau	3-4	3	1.79	0.7 9	2.6 8	19.1 2	0.1 4	0.0008 4	0.06	19.7 2
Pasir berlanau	4-6	11	1.79	0.7 9	2.6 8	19.1 2	0.1 4	0.0008 4	0.06	19.7 2
Pasir berlanau	6-8	4	1.79	0.7 9	2.6 8	19.1 2	0.1 4	0.0008 4	0.06	19.7 2
Pasir berlanau	8-10	7	1.79	0.7 9	2.6 8	19.1 2	0.1 4	0.0008 4	0.06	19.7 2
Pasir berlanau	10-12	8	1.98	0.6 8	2.6 5	19.1 2	0.0 9	0.0007 4	0.075	25.1 3
Pasir berlanau	12-14	18	1.56	1.2 5	2.6 3	29.7 3	0.3 1	0.0009 5	0.08	33.3 5
Pasir berlanau	14-16	21	1.56	1.2 5	2.6 3	29.7 3	0.3 1	0.0009 5	0.08	33.3 5
Pasir berlanau	16-18	33	1.56	1.2 5	2.6 3	29.7 3	0.3 1	0.0009 5	0.08	33.3 5
Pasir berlanau	18-20	46	1.56	1.2 5	2.6 3	29.7 3	0.3 1	0.0009 5	0.08	33.3 5

### Data Tanah Timbunan

Data tanah timbunan terdiri dari data fisik dari material timbunan serta dimensi timbunan per titik stationing.

- Sifat fisik material timbunan yaitu:  $\gamma_t = 1,84$  t/m<sup>2</sup>,  $\phi = 36,05^\circ$ ,  $C_u = 0$ .

### B. Data Spesifikasi Bahan

#### 1. *Geotextile*

*Geotextile* yang digunakan dalam perencanaan adalah tipe Polypropylene Woven Geotextile UW-250 yang memiliki tegangan ultimate sebesar 52 kN/m.

#### 2. *Geogrid*

*Geogrid* yang digunakan dalam perencanaan adalah tipe HDPE Uniaxial Geogrid TENAX yang memiliki tegangan ultimate sebesar 200 kN/m

#### 3. *Sheet Pile*

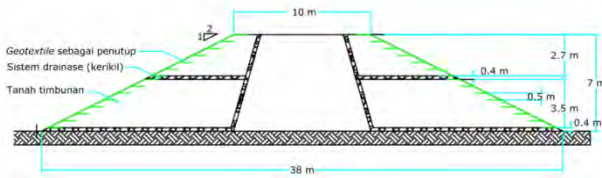
*Sheet pile* yang digunakan dalam perencanaan adalah sheet pile beton PC Spun Pile dari PT Waskita Karya..

#### 4. *Keystone Wall*

*Keystone wall* yang digunakan dalam perencanaan adalah *Keystone Compac IV (Straight – Face)* dan memiliki berat sebesar 34 kg. Spesifikasi bahan dapat dilihat pada bab Lampiran A. Perencanaan layout daratan

### C. Perencanaan Timbunan Bebas

Dalam penyusunan tugas akhir ini, untuk perencanaan dinding penahan tanah alternatif pertama direncanakan menggunakan timbunan bebas tanpa perkuatan, yang dimensinya direncanakan sedemikian rupa hingga kuat untuk berdiri sendiri. Pada perencanaan tugas akhir ini direncanakan timbunan bebas dengan perbandingan 2:1. Direncanakan pula sistem *sub-drain* menggunakan kerikil pada timbunan untuk menurunkan muka air tanah sehingga didapatkan SF yang lebih tinggi.



Gambar 3.1 Gambar rencana timbunan bebas 2:1

#### D. Perencanaan Perkuatan Timbunan dengan kombinasi geotextile - sheetpile

Dalam penyusunan tugas akhir ini, untuk perencanaan dinding penahan tanah alternatif kedua direncanakan menggunakan *sheet pile* yang dikombinasikan dengan *geotextile* untuk memperkuat oprit timbunan jembatan.

$$T_{allow} = \frac{T}{FS_{ib} \times FS_{cr} \times FS_{cd} \times FS_{bd}}$$

$$T_{allow} = \frac{52}{1,3 \times 3 \times 1,25 \times 1,1} = 9,696 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned} \sigma_h &= \sigma_{hs} + \sigma_{hq} \\ &= (z \times K_a \times \gamma t) + (q \times K_a) \end{aligned}$$

Dimana :

$$\sigma_h = \text{Besar}$$

tegangan horisontal total yang diterima dinding

$\sigma_{hs}$  = Tegangan horisontal akibat tanah dibelakan dinding

$\sigma_{hq}$  = Tegangan horisontal akibat beban terbagi rata

$z$  = Kedalaman tanah dari atas permukaan tanah

Perhitungan jarak pemasangan geotextile untuk oprit setinggi 7 m :

$$\begin{aligned} \sigma_h &= \sigma_{hs} + \sigma_{hq} \\ &= (z \times K_a \times \gamma t) + (q \times K_a) \\ &= (7 \times 0,259 \times 1,84) + (1,5 \times 0,259) \\ &= 3,725 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

Digunakan dua lapis geotextile sehingga besar  $T_{allow}$  menjadi dua kali lipat.

$$S_v = \frac{T_{allow}}{S_F \times \sigma_h} = \frac{2 \times 0,9696}{1,3 \times 3,725} = 0,40 \text{ m}$$

Pada perencanaan tugas akhir ini digunakan mesin pemadat kelipatan 25 cm sehingga digunakan  $S_v = 0,25 \text{ m}$ . Perhitungan selengkapnya menurut ketinggian oprit yang berbeda beda disajikan dalam tabel dibawah ini

Tabel 3.2 Hasil Perhitungan  $S_v$  Geotextile

No	Z	$\Sigma \sigma_{hs}$	$\sigma_{hq}$	$\sigma_h$ total	Jumlah lembar	sv	Sv Digunakan
	M	t/m <sup>2</sup>	t/m <sup>2</sup>	t/m <sup>2</sup>			
1	7	3.34	0.39	3.73	2	0.40	0.25
2	6	2.86	0.39	3.25	2	0.46	0.25
3	5	2.38	0.39	2.77	1	0.27	0.25
4	4	1.91	0.39	2.30	1	0.32	0.25
5	3	1.43	0.39	1.82	1	0.41	0.25
6	2	0.95	0.39	1.34	1	0.56	0.5
7	1	0.48	0.39	0.87	1	0.86	0.5

Perhitungan panjang geotextile

Panjang *geotextile* yang ditanam (L) :

$$L = L_r + L_e + L_o$$

Dimana :

$L_r$  = panjang *geotextile* didepan bidang longsor

$L_e$  = panjang *geotextile* yang berada dalam anchorage zone (min = 1 m)

$L_o$  = panjang lipatan (min = 1 m)

Untuk perencanaan oprit setinggi 7 m:

$$L_r = (H-z) \times [\tan(45-\theta/2)]$$

$$L_r = (7-7) \times [\tan(45-36,05/2)] = 0 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} L_e &= \frac{S_v \times \sigma_h \times S_F}{2[c + \sigma_v(\tan\delta)]}; \delta = 2/3 \times \theta = 2/3 \times 36,05^\circ = 24,03^\circ \\ &= \frac{0,25 \times 3,73 \times 1,3}{2[0,55 + (1,84 \times 7)(0,446)]} = 0,096 \text{ m} \leq 1 \text{ m}, \end{aligned}$$

maka  $L_e$  digunakan 1 m

$$\begin{aligned} L_o &= \frac{S_v \cdot \sigma_h \cdot S_F}{4[c + \sigma_v(\tan\delta)]} \\ &= \frac{0,25 \times 3,73 \times 1,3}{4[0,55 + (1,84 \times 7)(0,446)]} = 0,025 \leq 1 \text{ m}, \end{aligned}$$

maka  $L_o$  digunakan 1 m

Perhitungan selengkapnya menurut ketinggian oprit yang berbeda beda disajikan pada tabel dibawah ini.

Tabel 3.3 Hasil perhitungan panjang *Geotextile*

Sv	z	s Htot	Lr	Le	Lo	L	L
m	m	t/m <sup>2</sup>	m	M	m	m	pakai
0.25	7	3.73	0.0	1.00	1.00	1.3	5
0.25	6.75	3.61	0.1	1.00	1.00	1.4	5
0.25	6.5	3.49	0.3	1.00	1.00	1.5	5
0.25	6.25	3.37	0.4	1.00	1.00	1.6	5
0.25	6	3.25	0.5	1.00	1.00	1.8	5
0.25	5.75	3.13	0.6	1.00	1.00	1.9	5
0.25	5.5	3.01	0.8	1.00	1.00	2.0	5
0.25	5.25	2.89	0.9	1.00	1.00	2.1	5
0.25	5	2.77	1.0	1.00	1.00	2.3	5
0.25	4.75	2.65	1.1	1.00	1.00	2.4	5
0.25	4.5	2.53	1.3	1.00	1.00	2.5	5
0.25	4.25	2.42	1.4	1.00	1.00	2.6	5
0.25	4	2.30	1.5	1.00	1.00	2.8	5
0.25	3.75	2.18	1.7	1.00	1.00	2.9	5
0.25	3.5	2.06	1.8	1.00	1.00	3.0	5
0.25	3.25	1.94	1.9	1.00	1.00	3.2	5
0.25	3	1.82	2.0	1.00	1.00	3.3	5
0.25	2.75	1.70	2.2	1.00	1.00	3.4	5
0.25	2.5	1.58	2.3	1.00	1.00	3.5	5
0.25	2.25	1.46	2.4	1.00	1.00	3.7	5
0.5	2	1.34	2.5	1.00	1.00	4.0	5
0.5	1.5	1.10	2.8	1.00	1.00	4.3	5
0.5	1	0.87	3.1	1.00	1.00	4.6	5
0.5	0.5	0.63	3.3	1.00	1.00	4.8	5

- **Kontrol stabilitas eksternal**

- **Kontrol terhadap guling**

$$SF_{\text{guling}} = \frac{\sum \text{Momen penahan}}{\sum \text{Momen dorong}} \geq 1,5$$

Dimana:

$$M_{\text{penahan}} = \gamma_t \times \text{Luas Tanah di geotextile} \times \text{Jarak Ke Titik O}$$

$$= 161 \text{ tm}$$

$$M_{\text{dorong}} = \sum (Pa \cos(\delta) \times \text{Jarak Titik Berat Ke Titik O}) = 26,12 \text{ tm}$$

**Tabel 3.4** Tabel perhitungan momen penahan untuk oprit 7 m

nama	tinggi (m)	panjang (m)	berat (t)	Lengan (m)	momen (t.m)
1	7	5	64.4	2.5	161

**Tabel 3.5** Tabel perhitungan momen dorong untuk oprit 7 m

Nama	Beban (t)	lengan (m)	Momen (t.m)
Pa1 cos	10.6659	2.3333333	24.88702
Pa2 cos	0.3549	3.5	1.242143
Momen dorong =			26.12916

$$SF = \frac{M_{\text{penahan}}}{M_{\text{dorong}}} = \frac{161}{26.12} = 6,16 \dots \text{OK}$$

**Tabel 3.6** Tabel perhitungan SF guling

tinggi oprit (m)	M dorong (t.m)	M penahan (t.m)	SF	Ket.
7	26.1292	161	6.16	OK!
6	14.8164	88.32	5.96	OK!
5	8.8143	56.35	6.39	OK!
4	4.7391	33.12	6.99	OK!
3	2.2055	17.25	7.82	OK!
2	0.8280	7.36	8.89	OK!

- **Kontrol terhadap geser**

$$SF_{\text{geser}} = \frac{\sum \text{gaya penahan}}{\sum \text{gaya dorong}} \geq 3$$

Contoh perhitungan gaya penahan untuk oprit 7m

$$\text{Gaya penahan}_1 = 2 c'_{\text{Tanah Asli}} \times L_{\text{Geotextile}} \text{ terbawah} = 2,3375 \text{ ton}$$

$$\text{Gaya penahan}_2 = \text{berat tanah pada geotextile} \times \tan(\delta) = 28,72 \text{ ton}$$

$$\text{Gaya penahan}_3 = \sum Pa \sin(\delta) \times \tan(\delta) = 2,19 \text{ ton}$$

$$\text{Gaya penahan total} = GP_1 + GP_2 + GP_3 = 33,246 \text{ t}$$

$$\text{Gaya dorong} = \sum Pa \cos(\delta) = 11,02 \text{ ton}$$

$$SF_{\text{geser}} = \frac{33,246}{11,02} = 3,02$$

**Tabel 3.7** Tabel perhitungan SF geser

tinggi oprit (m)	M penahan (t)	M dorong (t)	SF	Ket.
7	33.2466	11.02076	3.02	OK!
6	23.9156	7.251096	3.30	OK!
5	17.6606	5.13148	3.44	OK!
4	12.3512	3.397249	3.64	OK!
3	7.9874	2.048403	3.90	OK!
2	4.5692	1.084942	4.21	OK!

- **Kontrol terhadap keruntuhan tubuh timbunan**

$$\Theta = 26,167^\circ$$

$$Nc = 22,9$$

$$Ny = 10,43$$

$$Nq = 12,497$$

$$C = 0,55 \text{ t/m}^2$$

$$\gamma_t = 1,73 \text{ t/m}^3$$

$$B = 10 \text{ m}$$

$$q = 1,5 \text{ t/m}^2$$

untuk contoh perhitungan oprit setinggi 7 m :

$$q_{\text{ultimate}} = (C \times Nc) + (q \times Nq) + (0,5 \times \gamma_{\text{tanahdasar}} \times B \times Ny) = (0,55 \times 22,9) + (1,5 \times 12,497) + (0,5 \times 1,73 \times 10 \times 10,43) = 127,28 \text{ t/m}^2$$

$$\sigma_v = (\gamma_{\text{timb}} \times H) + q$$

$$= (1,83 \times 7) + 1,5 \text{ t/m}^2$$

$$= 14,38 \text{ t/m}^2$$

$$SF = \frac{q_{\text{ultimate}}}{q_{\text{terjadi}}} = \frac{127,28}{14,38} = 8,85 \dots \text{OK}$$

rekapan perhitungan kontrol daya dukung untuk tiap perbedaan ketinggian oprit disajikan pada tabel dibawah ini.

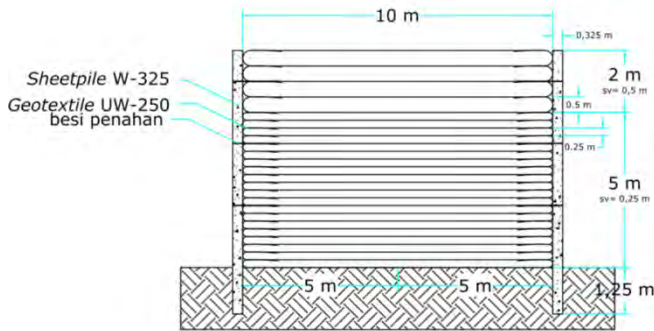
**Tabel 3.8** Perhitungan kontrol daya dukung

No	tinggi oprit (m)	P ult (t)	P terjadi (t)	SF
1	7 m	127.28	14.38	8.851182
2	6 m	127.28	12.54	10.14992
3	5 m	127.28	10.7	11.89533
4	4 m	127.28	8.86	14.36569
5	3 m	127.28	7.02	18.13105
6	2 m	127.28	5.18	24.57143

- **Perencanaan sheet pile**

*Sheet pile* yang direncanakan tidak menerima gaya horisontal dari timbunan tanah karena semua gaya horisontal telah diterima oleh *geotextile*. Oleh karena itu hanya dilakukan kontrol daya dukung terhadap beban yang diakibatkan oleh berat *sheet pile* sendiri. *Sheet pile* Beton PT. WIKA BETON Tipe FPC-320 C 500 yang memiliki

Cracking Moment sebesar 7,24 tm. Karena sheet pile yang direncanakan tidak meneremikan beban sama sekali dan hanya berfungsi sebagai pemanis, maka direncanakan kedalaman tanam sheet pile sebesar 1,25 m untuk ketinggian oprit 4 m hingga 7 m dan direncanakan kedalaman tanam sebesar 1 m untuk ketinggian oprit 2 m hingga 4 m.



Gambar 3.2 Gambar rencana perkuatan alternatif ke-2

## E. Perhitungan kombinasi Geogrid – keystone

### - Perencanaan geogrid

Dalam penyusunan tugas akhir ini, perencanaan *geogrid* direncanakan menerima semua beban yang terjadi, sedangkan *keystone* hanya digunakan untuk penutup *geogrid*. Untuk jenis dan tipe *geogrid* yang digunakan adalah jenis Uniaxial Geogrid GG60PE dan memiliki kekuatan tarik sebesar 60 kN/m<sup>2</sup>.

$$\gamma_t = 1,84 \text{ t/m}^3$$

$$q = 1,5 \text{ t/m}^2$$

$$\Theta = 36,05$$

$$K_a = \tan^2(45 - \Theta/2)$$

$$K_a = \tan^2(45 - 36,05/2) = 0,259$$

$$T_{allow} = \frac{T}{FS_{ib} \times FS_{cr} \times FS_{cd} \times FS_{bd}}$$

$$T_{allow} = \frac{200}{1,3 \times 3 \times 1,25 \times 1,1} = 37,29 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_h = \sigma_{hs} + \sigma_{hq}$$

$$= (z \times K_a \times \gamma_t) + (q \times K_a)$$

Dimana :

$\sigma_h$  = Besar tegangan horisontal total yang diterima dinding

$\sigma_{hs}$  = Tegangan horisontal akibat tanah dibelakang dinding

$\sigma_{hq}$  = Tegangan horisontal akibat beban terbagi rata

$z$  = Kedalaman tanah dari atas permukaan tanah

Perhitungan jarak pemasangan geogrid untuk oprit setinggi 7 m :

$$\sigma_h = \sigma_{hs} + \sigma_{hq}$$

$$= (z \times K_a \times \gamma_t) + (q \times K_a)$$

$$= (7 \times 0,259 \times 1,84) + (1,5 \times 0,259)$$

$$= 3,725 \text{ t/m}^2$$

Digunakan dua lapis geotextile sehingga besar  $T_{allow}$  menjadi dua kali lipat.

$$S_v = \frac{T_{allow}}{SF \times \sigma_h} = \frac{2 \times 37,29}{1,3 \times 3,725} = 0,77 \text{ m}$$

Pada perencanaan tugas akhir ini digunakan keystone setebal 0,2 m sehingga  $s_v$  harus merupakan kelipatan 0,2 m jadi digunakan  $S_v = 0,6 \text{ m}$ . Perhitungan selengkapnya menurut ketinggian oprit yang berbeda beda disajikan dalam tabel dibawah ini.

Tabel 3.9 Tabel perhitungan  $s_v$  untuk ketinggian oprit 7 m

no	z m	s Hs t/m <sup>2</sup>	s Hq t/m <sup>2</sup>	s Htotal t/m <sup>2</sup>	s <sub>v</sub> m	S <sub>v</sub> Digunakan
						0.6
1	7	3.34	0.39	3.73	0.77	0.6
2	6	2.86	0.39	3.25	0.88	0.6
3	5	2.38	0.39	2.77	1.04	0.6
4	4	1.91	0.39	2.30	1.25	1
5	3	1.43	0.39	1.82	1.58	1
6	2	0.95	0.39	1.34	2.14	1
7	1	0.48	0.39	0.87	3.32	1

### - Perhitungan panjang geogrid

Panjang *geogrid* yang ditanam (L) :

$$L = L_r + L_e$$

Dimana :

$L_r$  = panjang *geogrid* didepan bidang longsor

$L_e$  = panjang *geogrid* yang berada dalam anchorage zone (min = 1 m)

Untuk perencanaan oprit setinggi 7 m:

$$L_r = (H - z) \times [\tan(45 - \Theta/2)]$$

$$L_r = (7 - 7) \times [\tan(45 - 36,05/2)] = 0 \text{ m}$$

$$L_e = \frac{S_v \times \sigma_h \times SF}{2[c + \sigma_v(\tan \delta)]}; \delta = 2/3 \times \Theta = 2/3 \times 36,05^\circ = 24,03^\circ$$

$$= \frac{0,25 \times 3,73 \times 1,3}{2[0,55 + (1,84 \times 7)(0,446)]} = 0,096 \text{ m} \leq 1 \text{ m}$$

maka  $L_e$  digunakan 1 m. Perhitungan selengkapnya menurut ketinggian oprit yang berbeda beda disajikan pada tabel dibawah ini.

Tabel 3.10 Tabel perhitungan L untuk ketinggian oprit 7 m

S <sub>v</sub> m	z m	s Htot t/m <sup>2</sup>	L <sub>r</sub> m	L <sub>e</sub> m	L m	L pakai
0.6	7	3.73	0.0	1.00	1.0	5
0.6	6.4	3.44	0.3	1.00	1.4	5
0.6	5.8	3.15	0.6	1.00	1.7	5
0.6	5.2	2.87	0.9	1.00	2.0	5
0.6	4.6	2.58	1.2	1.00	2.3	5
1	4	2.30	1.5	1.00	2.6	5
1	3	1.82	2.0	1.00	3.1	5
1	2	1.34	2.5	1.00	3.6	5
1	1	0.87	3.1	1.00	4.1	5

### - Kontrol stabilitas eksternal

Kontrol terhadap guling

$$FS_{guling} = \frac{\sum \text{Momen penahan}}{\sum \text{Momen dorong}} \geq 1,5$$

**Tabel 3.11** Tabel perhitungan SF guling

tinggi oprit (m)	M dorong (t.m)	M penahan (t.m)	SF	Ket.
7	26.1292	161	6.16	OK!
6	14.8164	88.32	5.96	OK!
5	8.8143	56.35	6.39	OK!
4	4.7391	33.12	6.99	OK!
3	2.2055	17.25	7.82	OK!
2	0.8280	7.36	8.89	OK!

- **Kontrol terhadap geser**

$$SF_{\text{geser}} = \frac{\sum \text{ gaya penahan}}{\sum \text{ gaya dorong}} \geq 3$$

**Tabel 3.12** Tabel perhitungan SF geser

tinggi oprit (m)	Gaya penahan (t.m)	Gaya dorong (t.m)	SF	Ket.
7	33.2466	11.02076	3.02	OK!
6	23.9156	7.251096	3.30	OK!
5	17.6606	5.13148	3.44	OK!
4	12.3512	3.397249	3.64	OK!
3	7.9874	2.048403	3.90	OK!
2	3.5149	1.084942	3.24	OK!

- **Kontrol terhadap keruntuhan tubuh timbunan**

**Tabel 3.13** Perhitungan kontrol daya dukung

No	tinggi oprit	P ult (t)	P terjadi (t)	SF
	1	7 m	127.28	
2	6 m	127.28	12.54	10.14992
3	5 m	127.28	10.7	11.89533
4	4 m	127.28	8.86	14.36569
5	3 m	127.28	7.02	18.13105
6	2 m	127.28	5.18	24.57143

- **Perencanaan keystone**

*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 tumbunan tanah karena semua gaya horisontal telah diterima oleh *geogrid*. Oleh karena itu hanya dilakukan kontrol daya dukung terhadap beban yang diakibatkan oleh berat *keystone* sendiri.

- **Kontrol stabilitas**
- **Kontrol daya dukung**

Dalam perhitungan kontrol daya dukung, perlu merencanakan lebar pondasi *keystone wall* agar pondasi dapat memberikan daya dukung terhadap beban *keystone*

*wall*. Untuk perencanaan *keystone wall*, bahan yang digunakan adalah tipe *Keystone Compac IV (Straight – Face)* dan memiliki berat sebesar 34 kg.

Perhitungan beban akibat berat sendiri *keystone*

$Q_{\text{keystone}} = \text{Berat 1 buah keystone wall} \times \text{jumlah keystone wall yang dibutuhkan} \times \text{lebar keystone wall per meter}$

$$= 34 \text{ kg} \times 35/\text{m} \times 1/0,455 \text{ m} = 2615,38 \text{ kg/m}^2$$

$$= 2,615 \text{ t/m}^2$$

Direncanakan *keystone* berdiri diatas tanah dasar langsung.

$$q_{\text{ultimate}} = (C \times N_c) + (q \times N_q) + (0,5 \times$$

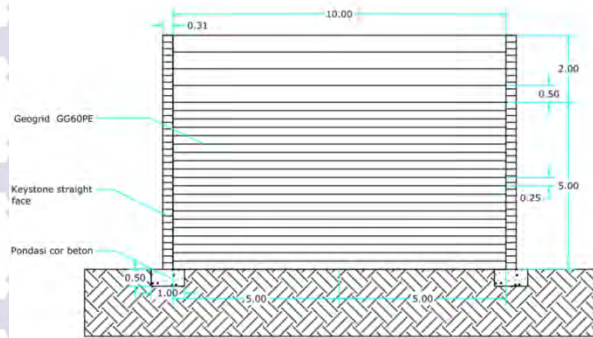
$$Y_{\text{tanahdasar}} \times B \times N_y)$$

$$= (0,55 \times 22,9) + (1,5 \times 12,497) + (0,5 \times$$

$$1,73 \times 0,2 \times 10,43)$$

$$= 33,24 \text{ t/m}^2$$

$$SF = \frac{q_{\text{ultimate}}}{Q_{\text{keystone}}} = \frac{33,24}{2,615} = 12,71 \dots \text{OK}$$

**Gambar 3.3** Gambar rencana perkuatan alternatif ke-3

- **Analisa biaya bahan material :**

Hasil perhitungan total biaya dapat dilihat pada **Tabel 4.7**.

**Tabel 3.14** Analisa Biaya Bahan Material

No	Pekerjaan	Total biaya
		Rp
1	Timbunan bebas	4,043,510,900.00
2	Geotextile - Sheetpile	4,305,909,735.23
3	Geogrid - Keystone	3,822,999,619.65

Berdasarkan hasil analisa biaya perencanaan, dapat disimpulkan bahwa alternatif tipe dinding penahan yang paling murah digunakan dari segi kebutuhan bahan material adalah kombinasi Geogrid – keystone dengan total biaya sebesar Rp 3,822,999,619.65.

**F. Perencanaan Abutment**

- **Pembebanan Abutment**

Perencanaan beban yang bekerja pada sturktur bangunan bawah jembatan berdasarkan pada RSNI T-02-2005 dan SNI 2833-2008. Dimana beban yang bekerja di kombinasikan untuk menghasilkan nilai beban seperti kondisi kenyataannya.

Data perencanaan  
Panjang girder (L) = 30 m

Lebar jalan (b) = 7 m  
 Tebal plat lantai jembatan (t<sub>s</sub>) = 0.2 m  
 Tebal lapisan aspal + overlay (t<sub>a</sub>) = 0.1 m  
 Lebar abutment (B) = 11 m  
 Tinggi abutment (h<sub>a</sub>) = 8 m

**Tabel 3.15** Rekap beban kombinasi

No	Kombinasi Beban	Tegangan berlebihan	V	I <sub>x</sub>	I <sub>y</sub>	M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>
			t	t	t	tm	tm
1	Kombinasi-1	0%	1116.50	177.07	0	0	-173.71
2	kombinasi-2	25%	1116.50	178.30	0	0	-166.35
3	Kombinasi-3	25%	1116.50	188.54	0	0	-83.79
4	Kombinasi-4	40%	1116.50	178.30	11.47	89.92	-166.35
5	Kombinasi-5	50%	951.48	441.71	266	1269	1093.23
6	Kombinasi-6	50%	951.48	175.37	266.34	1269.28	-176.05

**Tiang pancang abutment**

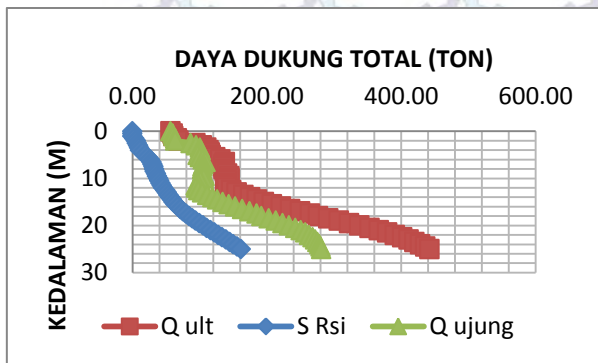
Daya dukung tanah

Diketahui:

D<sub>tiang</sub> (B) = 0.6 m

4 x B = 2.4 m

Luas dasar tiang, (A<sub>p</sub>) = 1/4πD<sup>2</sup>  
 = 0.2827m<sup>2</sup>



**Gambar 3.4** Grafik Daya dukung tanah vs kedalaman

**Kontrol kekuatan tiang pancang**

Dalam perencanaan ini menggunakan tiang PC spun pile (Waskita) Grade C, dengan spesifikasi sebagai berikut :

f<sub>c</sub>' = 60 MPa

Outside D = 60 cm

Wall tickness = 10 cm

A<sub>p</sub> = 1571 cm<sup>2</sup>

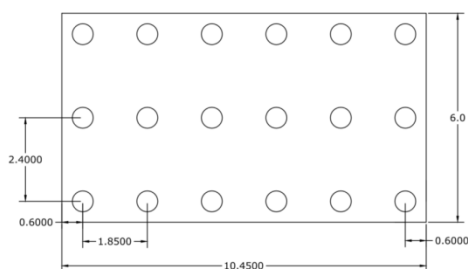
Allowable axial = 229.5 ton

Bending momen (crack) = 29 t.m

Bending momen (ultimate) = 58 t.m

Kedalaman tanam tiang rencana, (L<sub>d</sub>) = 20 m

**Kontrol grup tiang pancang**



**Gambar 3.5** Konfigurasi tiang pancang abutment

L<sub>x</sub> = 10.45 m  
 L<sub>y</sub> = 6 m  
 Jumlah tiang (n) = 18 buah

Efisiensi tiang dalam group (μ)

$$\mu = 1 - \frac{\arctan\left(\frac{b}{s}\right)}{90^\circ} * \left(2 - \frac{1}{m} - \frac{1}{n}\right)$$

$$= 1 - \frac{\arctan\left(\frac{0.5}{2}\right)}{90^\circ} * \left(2 - \frac{1}{3} - \frac{1}{6}\right)$$

$$= 0.766$$

$$P_{ijin} = Qu/SF$$

$$= 337.81 / 3$$

$$= 112.6 t$$

$$P_{ijin \text{ dalam 1 group}} = P_{ijin} \times \mu$$

$$= 112.6 \times 0.766$$

$$= 84.46 t$$

Tinjauan terhadap beban arah X

$$P_{max} = \frac{P}{n} + \frac{M_x X_{max}}{\sum n x_i^2}$$

$$P_{min} = \frac{P}{n} - \frac{M_x X_{max}}{\sum n x_i^2}$$

**Tabel 3.16** Perhitungan beban max untuk 1 tiang di abutment sb.X

Komb.	P (t)	M <sub>y</sub> (tm)	P/n (t)	M <sub>y</sub> *Y <sub>max</sub> /SnY <sub>i</sub> <sup>2</sup> (t)	P <sub>max</sub> (t)	P <sub>min</sub> (t)
1	1116.50	-173.71	62.028	-4.471	66.499	57.557
2	1116.50	-166.35	62.028	-4.282	66.310	57.746
3	1116.50	-83.79	62.028	-2.157	64.185	59.871
4	1116.50	-166.35	62.028	-4.282	66.310	57.746
5	951.48	1093.23	52.860	28.140	81.000	24.720
6	951.48	-176.05	52.860	-4.531	57.392	48.329

**Tabel 3.17** Kontrol kuat tekan 1 tiang di abutment sb.X

No	% Pijin	Pijin (t)	Pbeban (t)	Pijin x % (t)	Keterangan
1	100.00%	85.99	66.50	85.99	OK !!
2	125.00%	85.99	66.31	107.49	OK !!
3	125.00%	85.99	64.18	107.49	OK !!
4	140.00%	85.99	66.31	120.39	OK !!
5	150.00%	85.99	81.00	128.99	OK !!
6	150.00%	85.99	57.39	128.99	OK !!

Tinjauan terhadap beban arah Y

$$P_{max} = \frac{P}{n} + \frac{M_y Y_{max}}{\sum n y_i^2}$$

$$P_{min} = \frac{P}{n} - \frac{M_y Y_{max}}{\sum n y_i^2}$$

**Tabel 3.18** Perhitungan beban max untuk 1 tiang di abutment sb.Y

Komb.	P (t)	M <sub>x</sub> (tm)	P/n (t)	M <sub>x</sub> *X <sub>max</sub> /SnX <sub>i</sub> <sup>2</sup> (t)	P <sub>max</sub> (t)	P <sub>min</sub> (t)
1	1116.50	0.000	62.028	0.000	62.028	62.028
2	1116.50	0.000	62.028	0.000	62.028	62.028



3	1116.50	0.000	62.028	0.000	62.028	62.028
4	1116.50	89.920	62.028	2.882	64.910	59.146
5	951.48	1269.278	52.860	40.682	93.542	12.178
6	951.48	1269.278	52.860	40.682	93.542	12.178

**Tabel 3.19** Kontrol kuat tekan 1 tiang di abutment sb.Y

No	% Pijin	Pijin (t)	Pbeban (t)	Pijin x % (t)	Keterangan
1	100.00%	85.99	62.03	85.99	OK !!
2	125.00%	85.99	62.03	107.49	OK !!
3	125.00%	85.99	62.03	107.49	OK !!
4	140.00%	85.99	64.91	120.39	OK !!
5	150.00%	85.99	93.54	128.99	OK !!
6	150.00%	85.99	93.54	128.99	OK !!

- **Kontrol terhadap gaya aksial**

Allowable axial = 229.5 ton

$$P_{\text{beban max}} < P_{\text{allow}}$$

$$112.146 \text{ ton} < 229.5 \text{ ton (OK)}$$

Q cabut = 35 ton

$$P \text{ min} < Q \text{ cabut}$$

$$0.306 \text{ ton} < 35 \text{ ton (OK)}$$

- **Kontrol defleksi dan pengaruh gaya lateral**

Defleksi yang terjadi pada tiang dihitung dengan perumusan sebagai berikut :

$$\delta_p = F_{\delta} \left[ \frac{P \times T^3}{E \times I} \right]$$

Dengan:

$$\text{Diameter} = 60 \text{ cm}$$

$$\text{Tebal} = 10 \text{ cm}$$

$$\text{Kelas} = C$$

$$E = 4700 (fc')^{0.5}$$

$$= 364060 \text{ kg/cm}^2$$

$$I = 1/64 \times \pi \times (60^4 - 50^4)$$

$$= 329276,35 \text{ cm}^4$$

$$N \text{ koreksi} = 12$$

$$Dr = 37 \% \text{ (J.E. Bowles, 1984)}$$

$$f = 16 \text{ ton/ft}^3$$

$$= 0,512 \text{ kg/cm}^3 \text{ (NAVFAC DM-7,1971)}$$

$$T = \left( \frac{EI}{f} \right)^{\frac{1}{5}}$$

$$= 187.89 \text{ cm}$$

$$L/T = 10.64$$

$$Z = 0 \text{ (paling kritis)}$$

$$F_{\delta} = 0,9$$

$$P = H_{\text{max}}/n = 24.92 \text{ t}$$

$$\delta_p = F_{\delta} \left[ \frac{P \times T^3}{E \times I} \right]$$

$$= 0,3 \left[ \frac{24942.8 \times 187.89^3}{364060 \times 329276,35} \right]$$

$$= 1.241 \text{ cm} < 2 \text{ cm OK!!}$$

**6.3.2.4 Kontrol momen crack**

$$L/T = 20 / 1.87$$

$$= 10.64$$

$$Z = 0 \text{ meter}$$

$$F_M = 0.9$$

$$P = T \times n$$

$$M_p = F_M (P_{\text{max}} \cdot T)$$

$$= 0,9 (24.69 \times 1.87)$$

$$= 41.56 \text{ tm}$$

**Tabel 3.20** Kontrol Momen Crack

No	% Mijin	Mcrack	P	Mp	Keterangan
		(kgm)	kg	(kgm)	
1	100.00%	29.0	9.83706	16.63516	OK!!
2	125.00%	36.3	9.90581	16.75142	OK!!
3	125.00%	36.3	10.47428	17.71275	OK!!
4	140.00%	40.6	9.90581	16.75142	OK!!
5	150.00%	43.5	22.5395	38.11588	OK!!
6	150.00%	43.5	7.743004	13.09397	OK!!

#### IV. KESIMPULAN

Dalam perencanaan tugas akhir ini diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Dinding penahan tanah untuk oprit direncanakan dengan membandingkan antara timbunan bebas, kombinasi *geotextile - sheetpile* dan kombinasi *geogrid - keystone*. Pada perencanaan timbunan bebas didapatkan total biaya material sebesar Rp 4,043,510,900,00 , sedangkan pada perencanaan kombinasi *geotextile wall - sheetpile* didapatkan total biaya material yang diperlukan adalah Rp 4,305,909,735,23 , dan pada perencanaan kombinasi *geogrid - keystone wall* didapatkan total biaya material yang diperlukan sebesar Rp 3,822,999,619,65. Didapatkan kesimpulan bahwa perencanaan menggunakan kombinasi *geogrid - keystone* merupakan perencanaan dinding penahan tanah termurah.
2. Abutment direncanakan setinggi 8 meter dan ditopang oleh pilecap berukuran 6 meter x 11 meter dan ditopang oleh 18 buah pondasi tiang pancang, dimana pondasi tiang pancang yang digunakan berdiameter 60 cm sedalam 20 m.

#### DAFTAR PUSTAKA

- (1) Das, B.M., *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis)*, jilid 1, Surabaya, 1988.
- (2) Das, B.M., *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis)*, jilid 2, Surabaya, 1993.
- (3) Das, B.M., *Principles of Foundation Engineering*, sixth edition, America.
- (4) Terzaghi, Karl dan B. Peck, Ralph, 1993, *Mekanika Tanah Dalam Praktek Rekayasa*, Erlangga, Jakarta.
- (5) Mochtar, I.B., *Teknologi Perbaikan Tanah Dan Alternatif Perencanaan Pada Tanah Bermasalah (Problematic Soils)*, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan ITS, Surabaya, 2000.
- (6) NAVFAC DM-7, 1971, *Design Manual, Soil Mechanis, Foundation dan Earth Structures*, Dept. Of the Navy Naval Facilities Engineering Command, Virginia, USA.
- (7) Sunggono, Kh *Mekanika Tanah*, Nova, Bandung, 1984
- (8) Wahyudi, Herman. 1999. *Daya Dukung Pondasi Dangkal*. Surabaya

