

## STUDI KASUS ANALISA KERUSAKAN ABUDMENT JEMBATAN SEI. BAHALANG KALIMANTAN TENGAH

**Gawit Hidayat**

*Staf Pengajar Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat*

Bahalang bridge is a truss bridge B Class across Bahalang river in Ampah (Central Kalimantan), was built as connecting road for transport coal. The bridge building has a problem. It's like an abutment failure in eastern abutment of Bahalang bridge. This abutment rotate 30 degree, so, the back side of abutment has decline about 2 metres and slipped from its place to the river about 1 metre.

The purposes of this study are to analyze of soil layer behavior and to find out main cause of damage on the abutment. Writer used approach calculation analysis of collapse using Plaxis and Xstabl.

There is two options of calculate. Option one high of water level river are in place (29,5 metres). In Xstabl show SFmin= 0,764 and Plaxis show total displacements= 64,5 metres. In option two where is high of water level river assumed (27,4 meters). In Xsstabl show SFmin= 0,807 and Plaxis show total displacements= 4,15 metres. From several alternatives conditions which was analyzed by Plaxis, the collapse is known happened during the placement of the fill in the eastern approach. Fill comprised sand material that was being placed rapidly by direct dumping from trucks and spreading by excavator. The results are total displacement= 6,45 metres. Pile bending moment result over the bending moment allowable value. That is 57,81 kNm on front pile, and 63,90 kNm on back pile. Abutment damage can be concluded due to the displacement of excess, so it is potentially broken pile

Keyword : Total Displacement, Bending Momen

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pembangunan jembatan rangka baja kelas B melintang sungai Bahalang di daerah Ampah Kalimantan Tengah sebagai penghubung jalan yang dibangun untuk angkutan batu bara, memegang peranan penting di dalam menunjang laju pertumbuhan perekonomian masyarakat wilayah setempat.

Usaha pembangunan jembatan mendapat kendala yaitu kerusakan pada abutmen yang terletak di bagian timur jembatan. Terjadi rotasi sebesar  $30^\circ$  sehingga bagian belakang abutmen mengalami penurunan sedalam 2 meter dan bergeser dari letak semula menuju ke arah sungai sejauh 1 meter seperti terlihat pada gambar 1.

Ujung dari abutmen tampaknya tetap melekat pada tumpuan pondasi yang telah mengalami perpindahan lateral. Hal ini terlihat pada gambar 2. Diperkirakan bahwa tiang di tumpukan bawah bagian belakang abutmen yang turun telah tertekuk atau menjauh dari struktur dan tidak memberikan dukungan beban.



Gambar 1. Keadaan abutmen



Gambar 2. Pondasi tiang pada abutmen

Kegagalan terjadi setelah pengurugan tanah timbunan di daerah belakang abutmen bagian sebelah timur. Timbunan terdiri dari bahan pasir yang ditempatkan secara cepat dan langsung dari bak truk, kemudian diratakan dengan *excavator* seperti pada gambar 3.



Gambar 3. Timbunan di belakang abutmen

## 1.2 Tujuan dan Manfaat

Tujuan studi kasus ini adalah untuk menganalisa penyebab terjadi kerusakan abutmen jembatan dengan mengetahui berapa besar *total displacement* dan *bending momen* yang terjadi pada tiang pancang.

Manfaat pada studi kasus ini adalah setelah mengetahui *bending momen* dan *displacement* yang terjadi serta penyebab kerusakan, diharapkan penulisan ini dapat menjadi bahan referensi dalam melakukan tindakan berupa perbaikan maupun pencegahan terjadinya kerusakan yang berlanjut.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Kekuatan Geser Tanah

Kekuatan geser suatu massa tanah merupakan perlawanan internal tanah tersebut per satuan luas terhadap keruntuhan atau pergeseran sepanjang bidang geser dalam tanah yang dimaksud. Untuk menganalisis masalah stabilitas tanah seperti daya dukung, stabilitas talud (lereng), dan tekanan tanah ke samping pada turap maupun tembok penahan tanah, mula-mula kita harus mengetahui sifat-sifat ketahanan penggesernya tanah tersebut.

Mohr (1980) menyuguhkan sebuah teori tentang keruntuhan pada material yang menyatakan bahwa keruntuhan terjadi pada suatu material akibat kombinasi kritis antara tegangan normal dan geser, dan bukan hanya akibat tegangan normal maksimum atau tegangan geser maksimum saja. Jadi, hubungan antara tegangan normal dan geser pada sebuah bidang keruntuhan dapat dinyatakan, dalam bentuk

$$\tau_f = f(\sigma) \dots\dots\dots (1)$$

Garis keruntuhan (failure envelope) yang dinyatakan oleh persamaan 1 sebenarnya berbentuk garis lengkung. Untuk sebagian besar masalah-masalah mekanika tanah, garis tersebut cukup didekati dengan sebuah garis lurus yang menunjukkan hubungan linear antara tegangan normal dan geser (Coulomb, 1776).

Persamaan itu dapat ditulis sebagai berikut:

$$\tau_f = c + \sigma \tan \varphi \dots\dots\dots (2)$$

dengan:

c = kohesi

$\varphi$  = sudut geser dalam

Hubungan pada persamaan 2 disebut juga dengan kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb.

## 2.2 Prinsip Dasar Perencanaan Timbunan

Tanah lunak memiliki keterbatasan dalam hal mendukung beban timbunan maka pembuatan jalan yang melintasi daerah tanah lunak harus direncanakan seteliti mungkin. Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam perencanaan timbunan yaitu:

### 1. Stabilitas Timbunan

Stabilitas timbunan adalah stabilitas konstruksi timbunannya dan stabilitas tanah dasarnya (*Subgrade*). Timbunan harus didesain dengan faktor keamanan yang cukup agar tidak terjadi kelongsoran, baik longsor lereng, longsor kaki dan longsor dalam.

Stabilitas konstruksi timbunan sangat dipengaruhi oleh jenis material timbunan dan pelaksanaan pemadatannya, sedangkan stabilitas tanah dasar tergantung dari jenis perlapisan dan kuat geser tanah dasarnya. Oleh karena itu, tanah dasar harus diselidiki dengan teliti dan dianalisis terhadap berbagai kemungkinan bentuk keruntuhan yang akan terjadi. Stabilitas lereng timbunan tergantung dari sudut lereng, tinggi timbunan dan kuat geser.

### 2. Penurunan Tanah Timbunan

Penurunan timbunan terdiri atas pemampatan tanah timbunan dan tanah dasarnya. Pemampatan pada tanah timbunan terjadi akibat berat timbunan dan pemadatan oleh arus lalu lintas terutama pada lapisan teratasnya. Penurunan tanah

dasar diakibatkan adanya proses konsolidasi. Timbunan tidak boleh mengalami penurunan dan perbedaan penurunan yang besar sesudah pelaksanaan.

### 3. Tinggi Timbunan

Penentuan rencana tinggi timbunan harus mempertimbangkan tinggi maksimum timbunan yang mampu didukung lapisan tanah tanpa terjadi keruntuhan geser atau penurunan yang berlebihan.

Tinggi timbunan kritis dihitung dengan rumus:

$$H_k = \frac{5,14 \cdot c_u'}{\gamma_t} \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan:

$H_k$  = tinggi timbunan kritis (m)

$c_u'$  = kuat geser undrained yang terkoreksi (kPa)

$\gamma_t$  = berat isi timbunan ( $\text{kN/m}^2$ )

## 3. METODE UNTUK ANALISA STUDI KASUS

Metode untuk studi kasus ini adalah dengan menginventarisasi data sekunder berupa data sondir, bor mesin, dan pengukuran topografi yang kemudian dilanjutkan dengan interpretasi data yang tujuannya adalah untuk menganalisa penyebab kerusakan abutment jembatan. Kegiatan interpretasi ini meliputi : Interpretasi data tanah, perhitungan pembebanan timbunan, analisis stabilitas lereng, dan analisa perilaku tanah dengan menggunakan program Plaxis.

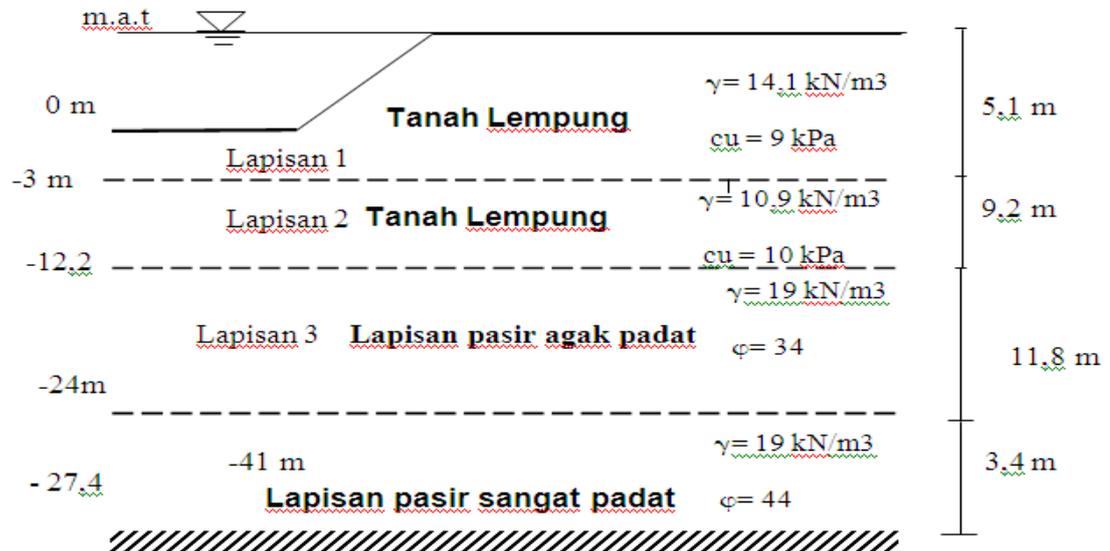
## 4 PEMBAHASAN

### 4.1. Geometri Tanah Dasar

Pelaksanaan pekerjaan pembangunan jembatan Bahalang di bangun diatas tanah lunak. Untuk analisa geoteknik digunakan data berdasarkan data bor mesin

(BH-1), karena lokasi penyelidikan berdekatan dengan abutmen yang rusak.

Stratifikasi lapisan tanahnya dapat dilihat pada gambar 4 dibawah ini :



Gambar 4. Deskripsi tanah dasar

#### 4.2 Analisis Stabilitas Lereng

Analisis keruntuhan terhadap lereng sungai Bahalang menggunakan analisis metode Bishop dengan aplikasi program komputer Xstabl versi 5.202, maka akan didapatkan tipe keruntuhan dan besaran angka keamanan.

Persamaan faktor keamanan untuk analisis stabilitas lereng cara Bishop adalah :

$$F = \frac{R \sum_{i=1}^{i=n} [c' b_i + (W_i - 1 - r_u) \tan \phi]}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i} \frac{1}{\cos \theta_i (1 + \tan \theta_i \tan \phi / F)}$$

Analisis stabilitas lereng dimodelkan dalam beberapa kondisi seperti terlihat pada tabel 1 di bawah ini:

Tabel 1. Perbandingan nilai faktor keamanan pada lereng

No.	Kondisi beban Timbunan	Elev Tinggi MAT (m)	Faktor keamanan	Stabilitas lereng Syarat >1,4 (stabil)
1.	Belum ada	29,5	2,874	stabil
2.	ada	29,5	0,764	Tidak stabil
3	ada	27,4	0,807	Tidak stabil

Hasil analisa perhitungan stabilitas lereng untuk kondisi awal didapatkan  $SF=2,874$ . Hal ini berarti bahwa lereng tersebut aman sebelum ada tambahan beban timbunan. Sedangkan hasil analisa dengan tambahan beban timbunan didapatkan factor keamanan  $<1$  maka stabilitas lereng terhadap longsoran adalah “*tidak aman*”. Keruntuhan yang terjadi pada lereng timbunan adalah “keruntuhan dasar lereng”. Pengaruh aliran air atau rembesan menjadi faktor yang sangat penting dalam stabilitas lereng. Hal ini terlihat dengan adanya perbedaan hasil faktor keamanan pada tinggi muka air yang berbeda.

### 4.3 Perhitungan Kekuatan Bahan

Dari Buku Teknik Sipil untuk tiang pancang pipa baja diameter 21,63 cm didapatkan data sebagai berikut:

Tebal	= 12 mm
D	= 2163 mm
A	= 29,94 cm <sup>2</sup>
Ws	= 23,5 kg/m = 0,235 kN/m

$$I_p = 1680 \text{ cm}^4$$

$$\text{Mutu baja} = 2400 \text{ kg/cm}^2 \text{ (Bj-37)}$$

$$\sigma_{\text{ijin}} = 1200 \text{ kg/cm}^2$$

Maka kekuatan tiang pancang baja diperhitungkan sebagai berikut,

$$\begin{aligned} \bar{P}_{\text{ijin}} &= \bar{\sigma}_{\text{baja}} \times A_{\text{baja}} \\ &= 1200 \times 29,94 = 35148 \text{ kg} = 351,48 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{\text{ijin}} &= \bar{\sigma}_{\text{baja}} \times \frac{I_p}{0,5D} \\ &= 1200 \times \frac{1680}{0,5 \cdot 21,63} \\ &= 186407,8 \text{ kg-cm} \\ &= 18,64078 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

Jadi allowable axial load dari tiang berdasarkan kekuatan bahannya adalah 351,48 kN dan Bending Momen ijin sebesar 18,64078 kNm.

#### 4.4. Analisis Perilaku Tanah dengan Program Plaxis

Berdasarkan gambar 4 maka akan dibuat model lereng yang akan dianalisis. Model lereng ini merupakan pendekatan dari kondisi sebenarnya di lapangan. Metode elemen hingga digunakan dalam analisis balik ini dengan bantuan program Plaxis vers 8.5. Model keruntuhan tanah yang digunakan adalah *Mohr Coulomb*.

Pada pelaksanaan di lapangan, suatu konstruksi dan pekerjaan timbunan merupakan sebuah proses yang dapat terdiri dari beberapa tahapan. Dalam Plaxis proses tersebut disimulasikan dengan menggunakan pilihan perhitungan berupa "*Tahapan Konstruksi*".

Tahapan Konsruksi memungkinkan pengaktifan atau penonaktifan dari berat, kekakuan dan kekuatan dari komponen-komponen yang diinginkan dalam model. Metode ini juga memudahkan mengubah distribusi tekanan air.

Gambar 4 menggambarkan permodelan tanah yang akan digunakan sebagai input geometri. Permodelan tanah di analisis dalam beberapa kondisi yang tertera dalam tabel 2 Beban q adalah beban yang perhitungkan sebagai beban *preloading*. Tiang yang digunakan adalah tiang pipa baja diameter 21,63 cm.

Tabel 2. Kondisi permodelan tanah

<b>Kondisi</b>	<b>Tinggi timbunan (m)</b>	<b>Tinggi m.a.t (m)</b>	<b>Beban q (kN/m<sup>2</sup>)</b>
A	4,5	29,5	-
B	4,5	27,5	-
c	2	27,5	3

#### 4.4.1 Hasil Analisis Program Plaxis

Hasil analisis dengan program plaxis dijelaskan dengan kondisi sebagai berikut:

##### 1. Kondisi A

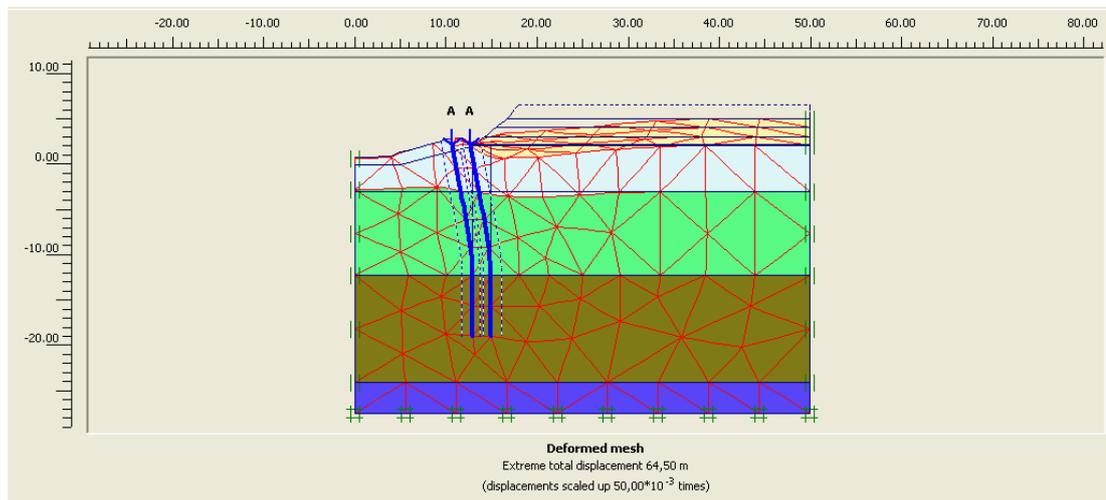
Pada kondisi ini, timbunan di modelkan secara bertahap per satu meter sampai setinggi 4,5 meter dengan ketinggian muka air 29,5 meter. Dari hasil analisis diperoleh besaran *total displacement* dan *bending momen* seperti pada gambar 5 sampai dengan gambar 8. Pada gambar 6 digambarkan arah pergerakan tanah dengan *displacement* sebesar 64,50 meter. Untuk *bending momen* tiang pancang, didapatkan *bending momen* tiang belakang lebih besar daripada tiang

pancang depan. Hal ini karena tiang pancang belakang lebih banyak menahan beban bekerja. Hasil analisis dapat dilihat pada tabel 3 .

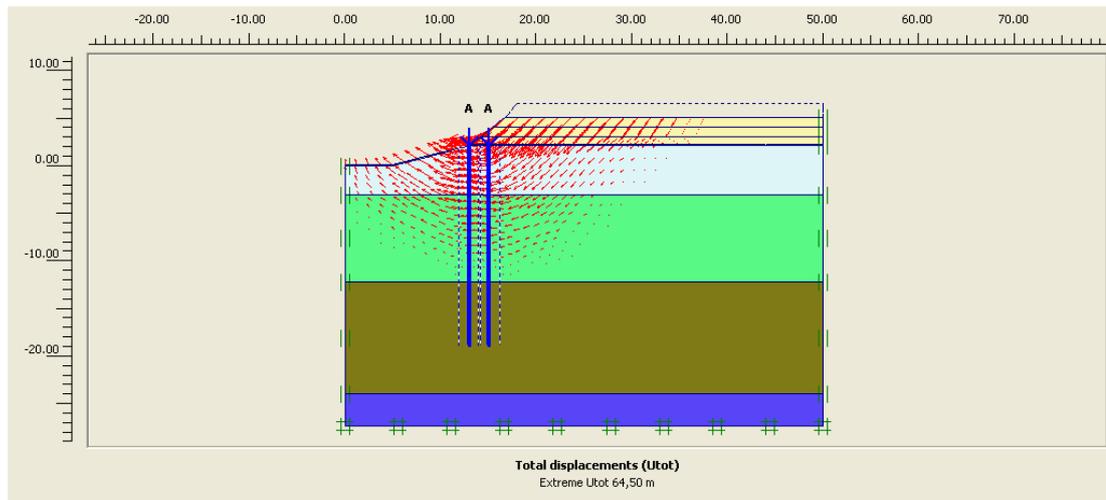
Tabel 3. *Total displacement* dan *bending momen* pada kondisi A

Keterangan	Satuan	Hasil
<i>Total displacement</i>	m	64,5
<i>Bending momen</i> tiang depan	kNm/m	131,03
<i>Bending momen</i> tiang belakang	kNm/m	140,33
<i>Bending momen</i> ijin	kNm	18,64078

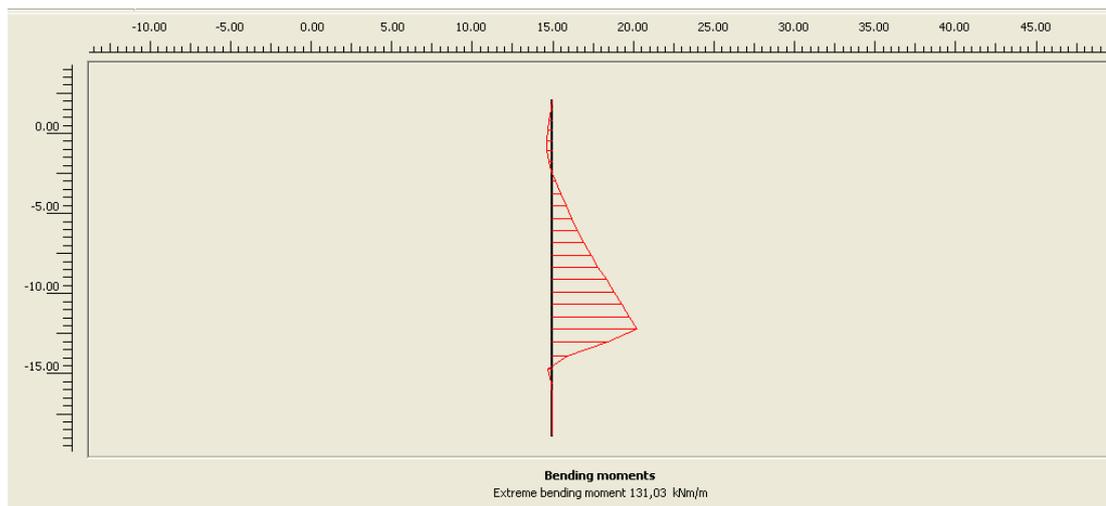
Terlihat bahwa *bending momen* yang terjadi melebihi dari *bending momen* ijin tiang pancang. Hal ini dapat menyebabkan tiang pancang patah. Pergerakan tersebut terjadi pada tinggi timbunan 3 meter.



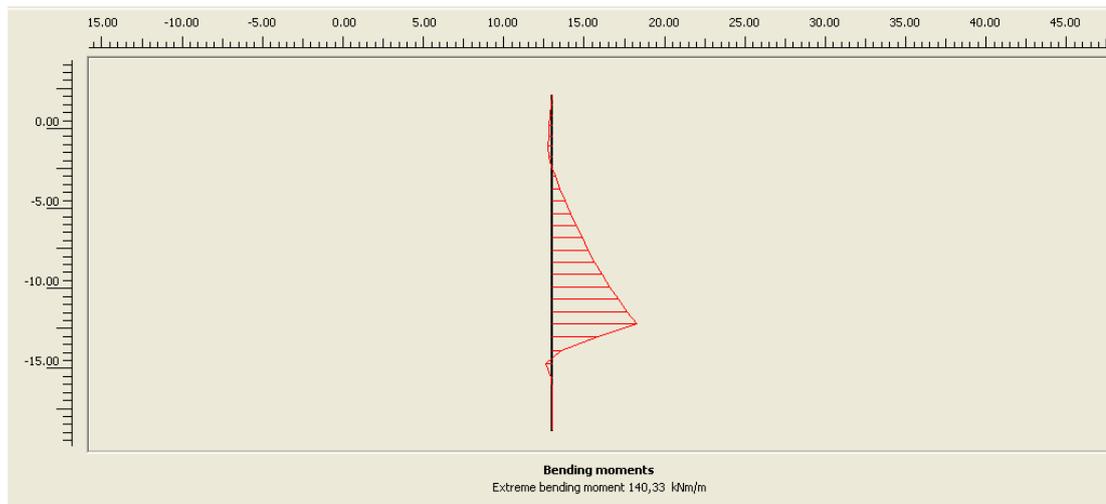
Gambar 5. *Deformed mesh* akibat timbunan



Gambar 6. *Deformed mesh* arah pergerakan tanah



Gambar 7. Diagram *bending momen* tiang depan

Gambar 8. Diagram *bending momen* tiang belakang

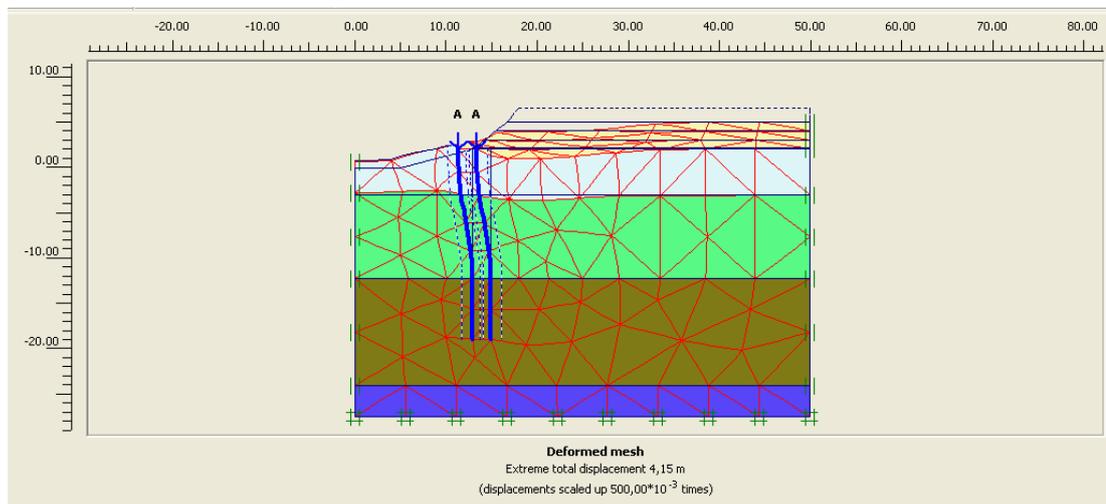
## 2. Kondisi B

Timbunan di modelkan secara bertahap per satu meter sampai setinggi 4,5 meter dengan ketinggian muka air 27,4 meter. Dari hasil analisis diperoleh besaran *total displacement* dan *bending momen* seperti pada gambar 9 sampai dengan gambar 12. Pada gambar 10 terlihat arah pergerakan tanah dengan *displacement* sebesar 4,15 meter. Untuk *bending momen* tiang pancang, didapatkan *bending momen* tiang belakang lebih besar daripada tiang pancang depan. Hasil analisis dapat dilihat pada tabel 4.

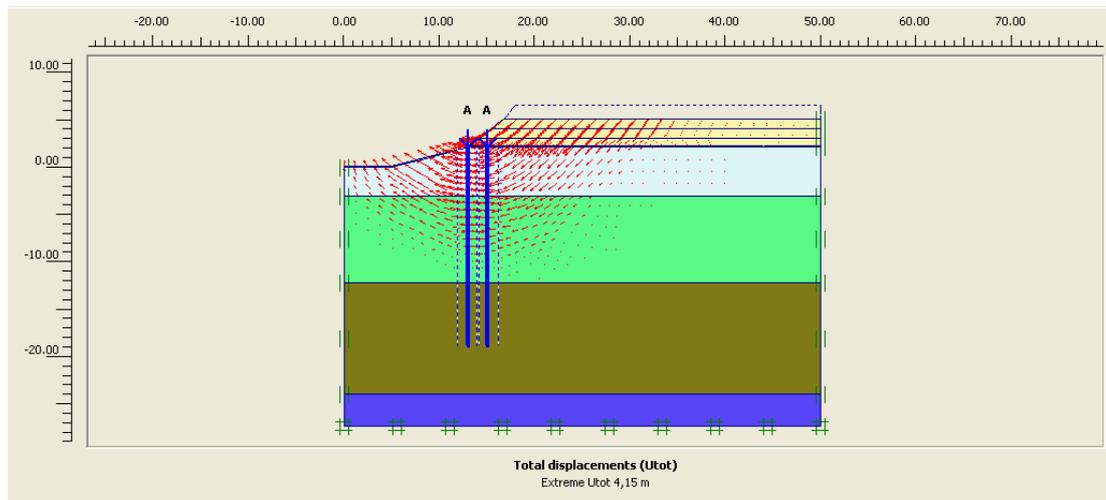
Tabel 4. *Total displacement* dan *bending momen* pada kondisi B

Keterangan	Satuan	Hasil
<i>Total displacement</i>	m	4,15
<i>Bending momen</i> tiang depan	kNm/m	19,74
<i>Bending momen</i> tiang belakang	kNm/m	19,95
<i>Bending momen</i> ijin	kNm	18,64078

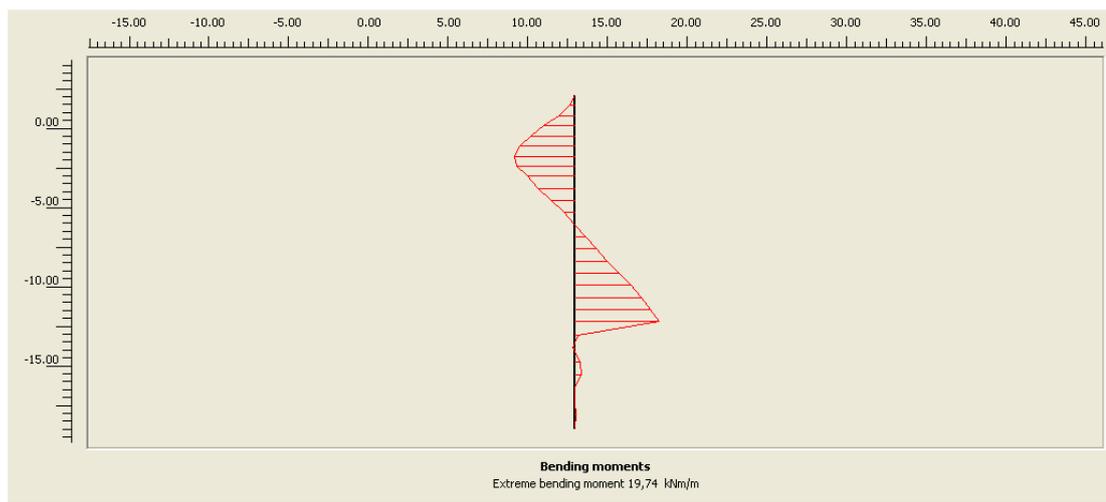
Hasil *bending momen* yang terjadi melebihi dari *bending momen* ijin tiang, hal ini dapat mengakibatkan tiang patah. Pada kondisi B keruntuhan terjadi pada saat tinggi timbunan 3 meter. Kondisi tinggi muka air sangat mempengaruhi terhadap besar *displacement* yang terjadi. Terlihat dari hasil pada tabel 3 dan tabel 4. perbedaan yang cukup jauh. Semakin tinggi muka air semakin besar *displacement* yang dihasilkan.



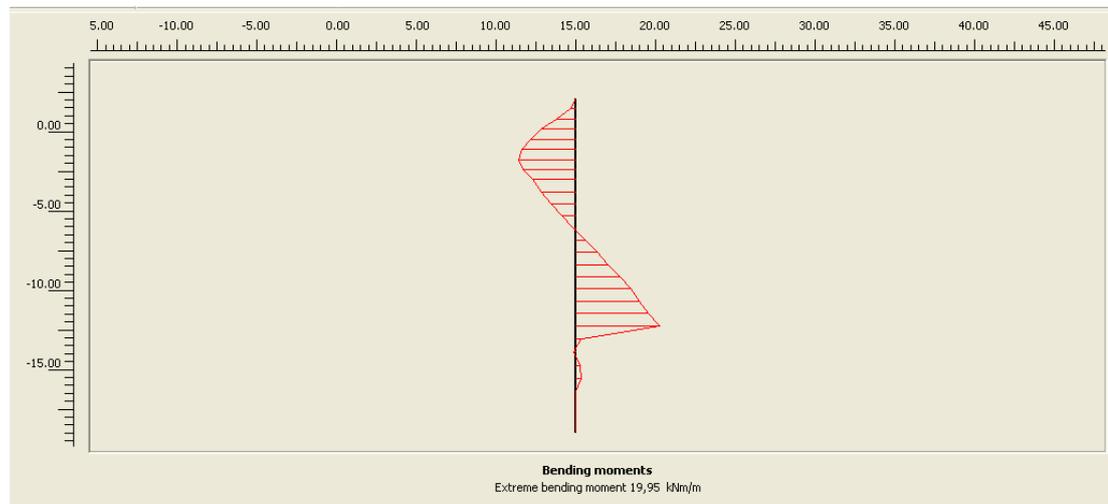
Gambar 9. *Deformed mesh* akibat timbunan



Gambar 10. *Deformed mesh* arah pergerakan tanah



Gambar 11. Diagram *bending momen* tiang depan

Gambar 12. Diagram *bending momen* tiang belakang

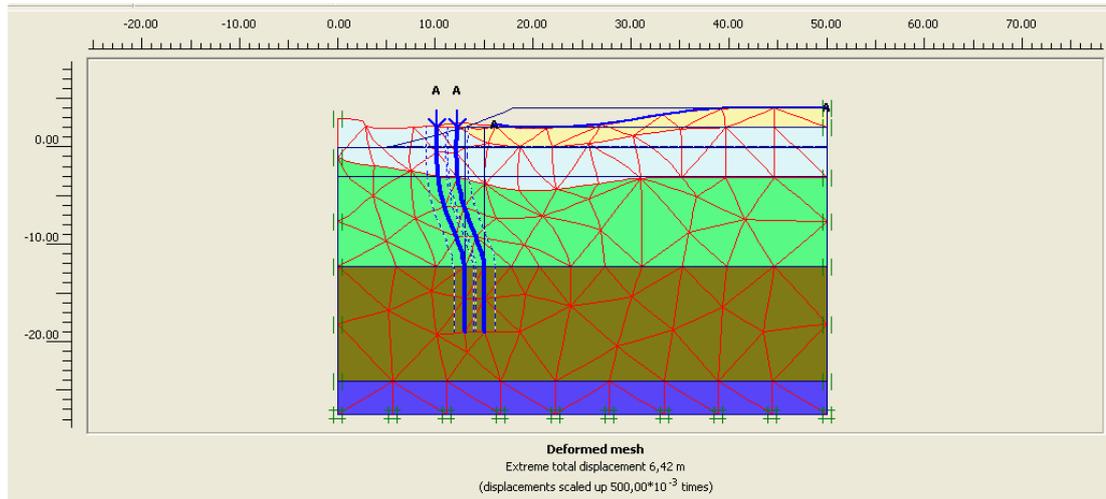
## 5. Kondisi C

Berdasarkan hasil dari kondisi B, dilakukan perhitungan lagi untuk mengetahui kondisi dengan timbunan setinggi 2 meter ditambah beban *preloading* sebesar  $3\text{kN/m}^2$ . Hal ini berdasarkan keadaan di lapangan pada saat sebelum keruntuhan abutmen terjadi, timbunan ditempatkan secara cepat dan langsung dari truk, kemudian diratakan dengan *excavator*. Ketinggian muka air adalah 27,4 meter. Hasil analisis diperoleh besaran *total displacement* dan *bending momen* seperti pada gambar 13 sampai dengan gambar 16. Hasil analisis dapat dilihat pada tabel 5.

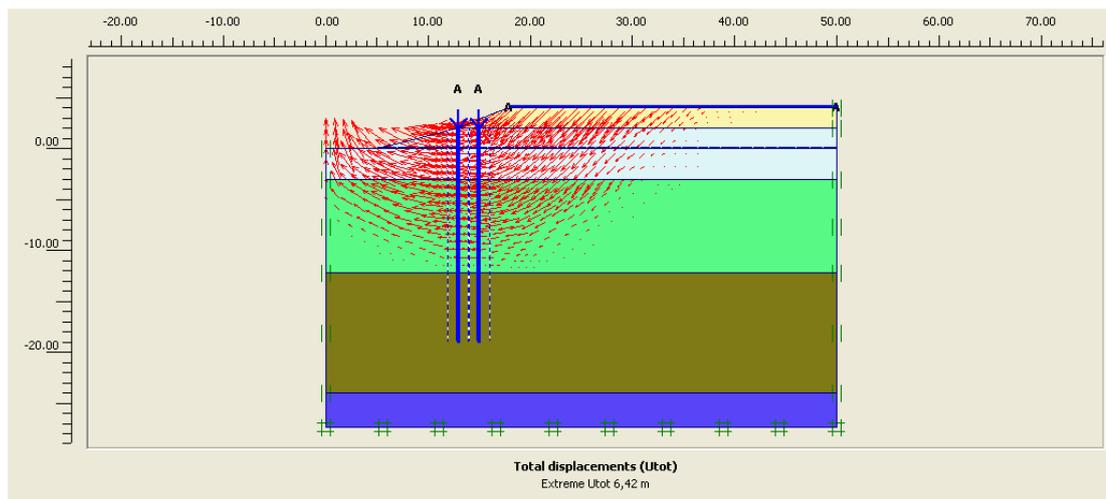
Tabel 5. *Total displacement* dan *bending momen* pada kondisi C

Keterangan	Satuan	Hasil
<i>Total displacement</i>	m	6,42
<i>Bending momen</i> tiang depan	kNm/m	57,81
<i>Bending momen</i> tiang belakang	kNm/m	63,90
<i>Bending momen</i> ijin	kNm	18,64078

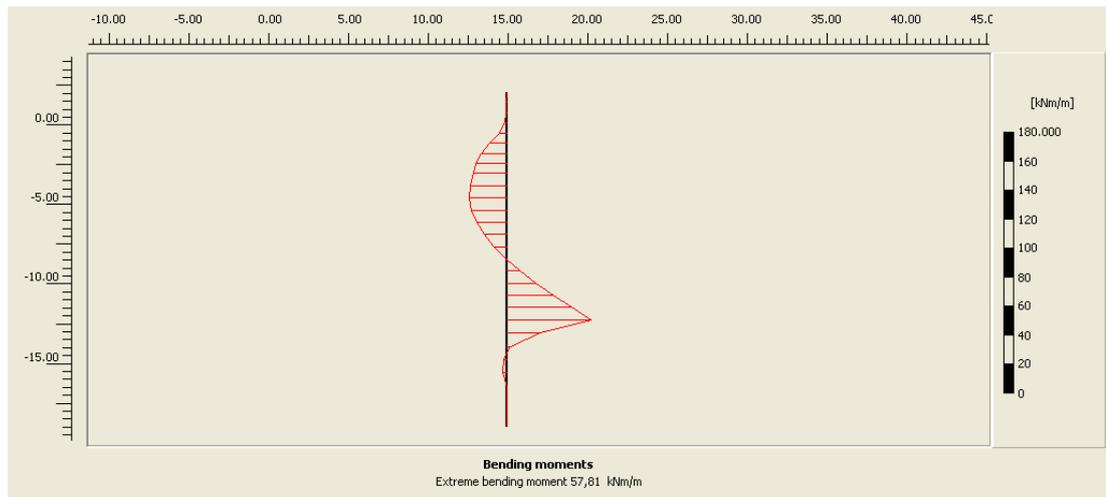
Terjadi keruntuhan sebesar 6,42 meter Hasil *bending momen* lebih besar dari *bending momen* ijin tiang sehingga bisa dipastikan bahwat tiang akan mengalami failure.



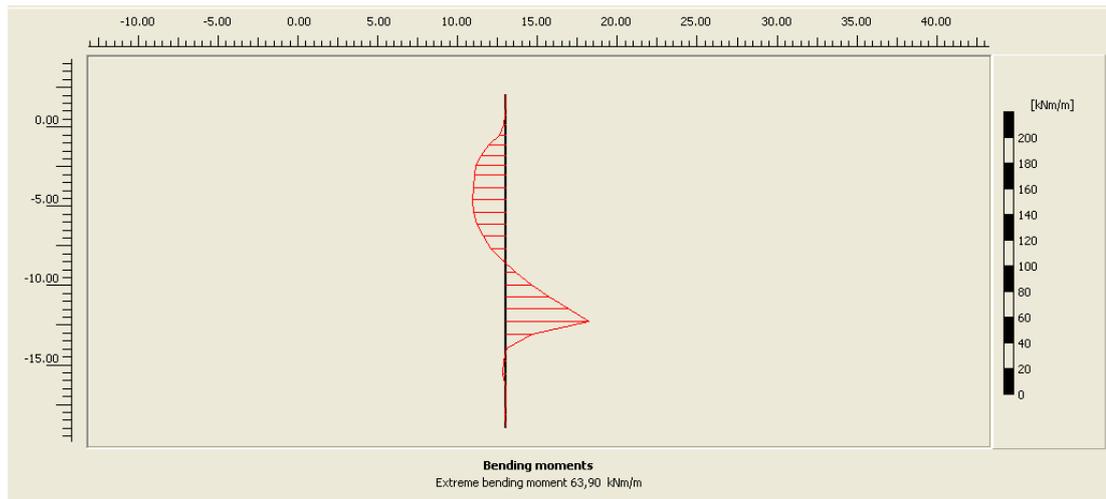
Gambar 13. *Deformed mesh* akibat timbunan



Gambar 14. *Deformed mesh* arah pergerakan tanah



Gambar 15. Diagram *bending momen* tiang depan



Gambar 16. Diagram *bending momen* tiang belakang

Dari hasil analisa diketahui bahwa faktor dominan yang menyebabkan terjadinya keruntuhan adalah terjadinya deformasi lateral tiang akibat *bending momen* sebesar 63,90 kNm/m pada tiang belakang. Hal tersebut diakibatkan tinggi timbunan oprit melampaui tinggi kritisnya, sehingga terjadi keruntuhan timbunan oprit. Timbunan tersebut langsung diurug di atas tanah lembek dan diratakan dengan *excavator*. *Excavator* memberikan tambahan beban yang bekerja pada

tanah sebesar 3 kN/m. Runtuhnya timbunan oprit menimbulkan gaya lateral sebesar 6,42 meter yang mendorong bagian tiang yang tertanam pada tanah lunak. Tekanan lateral ini bekerja dalam arah pondasi tiang abutmen jembatan. Pondasi tiang pipa baja diameter 21,63 cm tidak cukup kuat menahan *bending momen* sebesar 63,90 kNm/m sehingga tiang mengalami deformasi berlebih. Keadaan yang paling buruk adalah tiang tersebut patah di dalam tanah, sehingga tidak mampu memberikan daya dukung lagi.

Faktor tinggi muka air sangat berpengaruh terhadap daya dukung tanah. Lapisan tanah dasar adalah jenis lunak dengan sifat tanah lempung mudah kembang dan susut dengan kondisi sungai yang mengalami perubahan posisi muka air secara cepat. Pada saat pasang tinggi (HWL) kuat geser tanah menjadi sangat rendah sebesar 5 kPa. Adanya penimbunan secara cepat dan langsung mengakibatkan bertambahnya gaya geser tanpa adanya perubahan kuat geser tanah dasar.

## **5. KESIMPULAN DAN SARAN**

### **5.1 Kesimpulan**

Dari hasil studi kasus analisa kerusakan abutmen Jembatan sungai Bahalang di daerah Ampah (Kalimantan Tengah) dapat disimpulkan bahwa ada beberapa hal penting yang tidak diperhatikan selama perencanaan dan pada saat pelaksanaan sehingga mengakibatkan kegagalan struktur. Adapun hal-hal tersebut adalah :

1. Lapisan tanah dasar adalah jenis tanah lunak dengan sifatnya yang mudah berkurang kekuatan geser apabila terjadi perubahan pasang surut yang cepat.

2. Dari Hasil analisa dengan menggunakan Program Plaxis timbunan setinggi 2 meter yang melampaui tinggi kritis dengan metode urug lapangan secara cepat dan langsung, serta diratakan dengan *excavator* mengakibatkan *displacement* sebesar 6,42 meter. Dengan nilai *displacement* yang begitu besar ini sangat berpotensi terjadi keruntuhan geser tanah.
3. Pondasi tidak mampu menahan gaya lateral akibat penimbunan 2 meter dan beban preloading sebesar 3 kN/m dimana *bending momen* yang terjadi setelah ditimbun adalah sebesar 63,90 kNm/m yang nilainya telah melampaui *bending momen* ijin tiang pada kedalaman 14 meter. Dengan demikian bisa dipastikan tiang akan mengalami failure/patah dimana potensi terbesar adalah dibagian sambungan.

## 5.2 Saran

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan, maka penulis mengajukan beberapa saran yaitu :

1. Kegiatan penyelidikan tanah memegang peranan penting khususnya dalam pekerjaan perencanaan konstruksi jembatan. Sebaiknya perencana berhati-hati dalam melakukan perhitungan yaitu dengan memasukkan banyak pertimbangan dari beberapa aspek geoteknik sehingga bisa menghasilkan perencanaan yang lebih akurat dan aman.
2. Agar pondasi tiang mampu mendukung beban yang bekerja sebaiknya diameter tiang dapat diperbesar atau ditambah jumlahnya sesuai keperluan.
3. Konfigurasi tiang sebaiknya disusun sedemikian rupa sehingga tiang bekerja tidak hanya pada ujung abutmen namun sepanjang abutmen.

4. Untuk kondisi lapisan tanah seperti di lapangan sebaiknya pelaksanaan penimbunan dilakukan secara bertahap dalam jeda waktu tertentu.
5. Gaya horisontal dan momen sebaiknya juga di perhitungkan dalam perancangan, konfigurasi tiang bukan hanya untuk menahan gaya vertikal namun juga harus dapat menahan gaya lateral.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, Joseph E., (1982), *Analisa dan Desain Pondasi (jilid 1)*, Erlangga, Jakarta
- Bowles, Joseph E., (1981), *Analisa dan Desain Pondasi (jilid 2)*, Erlangga, Jakarta
- Christady Hardiatmo, Hary., (2008), *Teknik Fondasi 2*, Beta Offset, Yogyakarta
- Das, B. M., (1998), *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 1*, Erlangga, Jakarta. California State University, Sacramento
- Das, B. M., (1998), *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 2*, Erlangga, Jakarta. California State University, Sacramento
- Paulus, P., (1996), *Standart Penetration Test (SPT), Interpretasi dan Aplikasinya Untuk Analisis Dan Desain Pondasi*, Program Pasca Sarjana Konsentrasi Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan, Bandung
- Sunggono, (1984), *Mekanika Tanah*, Nova, Bandung
- Sunggono, (1995), *Buku Teknik Sipil*, Nova, Bandung
- Universitas Lambung Mangkurat, (2008), *Pedoman Penulisan Karya Ilmiah*, Program Studi S1 Teknik Sipil, Banjarbaru