Studi Kasus Analisis Kerusakan Abutmen Jembatan Sungai Bahalang Kalimantan Tengah

Gawit Hidayat
Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat
Gedung Fakultas Teknik, Kampus Unlam, Banjarmasin 70123, Indonesia

Abstract: Bahalang Bridge is a Class B truss bridge crossing the Bahalang River in Ampah (Central Kalimantan). It was built to connect roads for coal transportation. The bridge structure has a problem, namely an abutment failure in its east-side abutment. There has been a 30-degree rotation that the back side of abutment has moved about 2 meters downward and slipped from its place about 1 meter to the river. The purpose of this study is to study the behavior of the soil layers around the abutment and to find out the main cause of failure. The analysis is based on approximate calculation using Plaxis and Xstabl computer packages. Two options of calculation are considered. In the first option a water level of 29.5 m is used. Xstabl shows an SFmin of 0.764 and Plaxis shows a total displacement of 64.5 m. In the second one the water level of the river is assummed to be 27.4 m. Xstabl shows an SFmin of 0.807 and Plaxis shows a total displacement of 4.15 m. The results suggest that the collapse already took place during the backfill activity on the east-side approach road. During that process the backfill material consisting of sand was laid too rapidly by direct dumping from truck and spreading by excavators. The total displacement is 6.45 m. The pile bending moments aer found to be above the allowable value, that is 57.81 kNm in front of the piles, and 63.90 kNm on the back. It can be concluded that the failure is due to excessive displacement that has the potential to damage the piles.

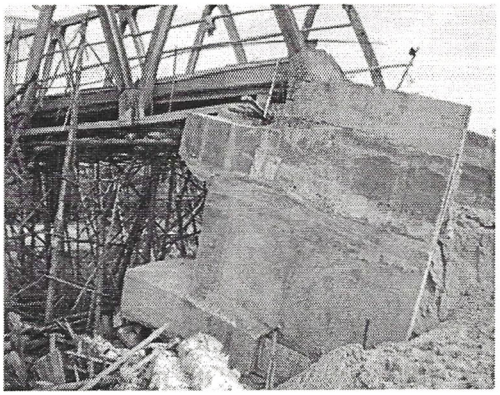
Keywords: abutment failure, bending moment, total displacement

1. Introduction

1.1 Latar Belakang

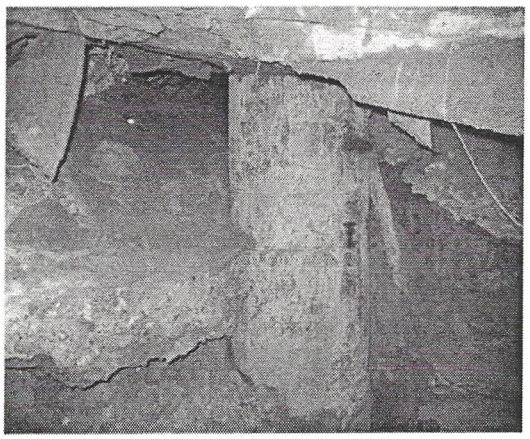
Pembangunan jembatan rangka baja kelas B melintang sungai Bahalang di daerah Ampah Kalimantan Tengah sebagai penghubung jalan yang dibangun untuk angkutan batu bara, memegang peranan penting di dalam menunjang laju pertumbuhan perekonomian masyarakat wilayah setempat.

Usaha pembangunan jembatan mendapat kendala yaitu kerusakan pada abutmen yang terletak di bagian timur jembatan. Terjadi rotasi sebesar 30° 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.



Gambar 1. Keadaan Abutmen

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.

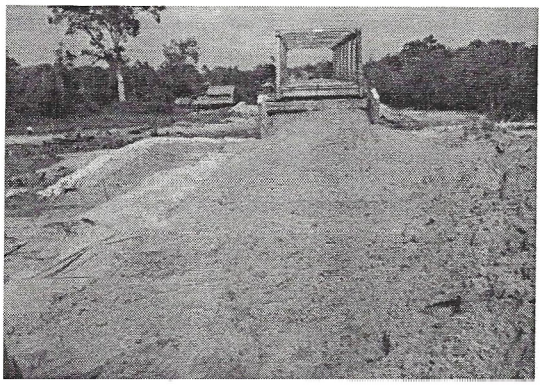


Gambar 2. Pondasi Tiang pada Abutmen

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.

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.



Gambar 3. Pekerjaan Timbunan di Belakang Abutmen

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 [1] 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

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

Garis keruntuhan (*failure envelop*) yang dinyatakan oleh persamaan 1 sebenarnya berbentak 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 [1]. Persamaan itu dapat ditulis sebagai berikut:

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

dengan c adalah kohesi, dan φ adalah sudut geser dalam. Hubungan pada persamaan (2) disebut juga sebagai kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb.

2.2 Prinsip Dasar Perencanaan Timbunan

Tanah lunak memiliki 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 adalah sebagai berikut.

1. ***Stabilitas Timbunan.*** Stabilitas timbunan adalah stabilitas konstruksi timbunannya dan stabilitas tanah dasamya *(subgrade).* Timbunan harus didesain dengan faktor keamanan yang cukup agar tidak terjadi kelongsoran, baik longsoran lereng, longsoran kaki dan longsoran 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

$$H_k = \frac{5{,}14\ c_u^t}{\gamma_t} \qquad (3)$$

dimana H_k tinggi timbunan kritis (m), c_u^t adalah kuat geser *undrained* yang terkoreksi (kPa), dan γ_t berat isi timbunan (kN/m^2).

3. Metode untuk Analisis Studi Kasus

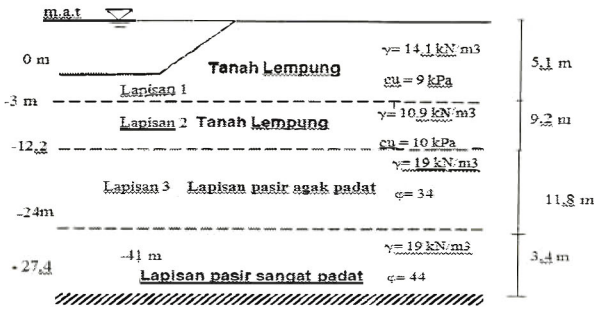
Metode untuk studi kasus ini adalah dengan menginventarisasi data sekunder berupa data sondir, bor mesin, dan pengukuran topografi yang kemudian dilanjutkan dengan interpretasi data yang tujuannya adalah untuk menganalisa penyebab kerusakan abutment jembatan. Kegiatan interpretasi ini meliputi Interpretasi data tanah, perhitungan pembebanan

timbunan, analisis stabilitas lereng, dan analisa prilaku 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. Starifikasi lapisan tanahnya dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Stratifikasi Lapisan Tanah

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

$$F_s = \sum_{i=1}^{p}\left[\frac{cb_i + (W_i - u_i b_i)tan\varphi}{W_i sin\theta_i cos\theta_i\,(1 + tan\theta_i tan\varphi / F_s)}\right] \qquad (4)$$

Analisis stabilitas lereng dimodelkan dalam beberapa kondisi seperti terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan Nilai Faktor Keamanan Lereng

No.	Kondisi Beban Timbunan	Elevasi MAT (m)	Faktor Keamanan	Stabilitas Lereng (stabil, jika >1,4)
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 faktor 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^2

Ws = 23,5 kg/m = 0,235 kN/m

Ip = 1680 cm^4

Mutu baja = 2400 kg/cm^2 (Bj-37)

σ_{ijin} = 1200 kg/cm^2.

Maka kekuatan tiang pancang baja diperhitungkan sebagai berikut:

$$\bar{P}_{ijin} = \bar{\sigma}_{baja} \times \bar{A}_{ijin} = 351{,}48 \text{ kN.}$$

$$\bar{M}_{ijin} = \bar{\sigma}_{baja} \times \frac{I_p}{0{,}5D} = 18.64078 \text{ kN.m}$$

Jadi *allowable axial load* dari tiang berdasarkan kekuatan bahannya adalah 351,48 kN dan *bending moment* yang diijinkan adalah 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 Konstruksi 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 stratifikasi 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.

Hasil analisis menggunakan Plaxis dijelaskan berdasarkan beberapa kondisi.

4.5 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 moment* seperti pada Gambar 5 sampai dengan Gambar 8. Pada Gambar 6 digambarkan arah pergerakan tanah dengan *displacement* sebesar 64,50 meter.

Tabel 2. Kondisi Permodelan Tanah

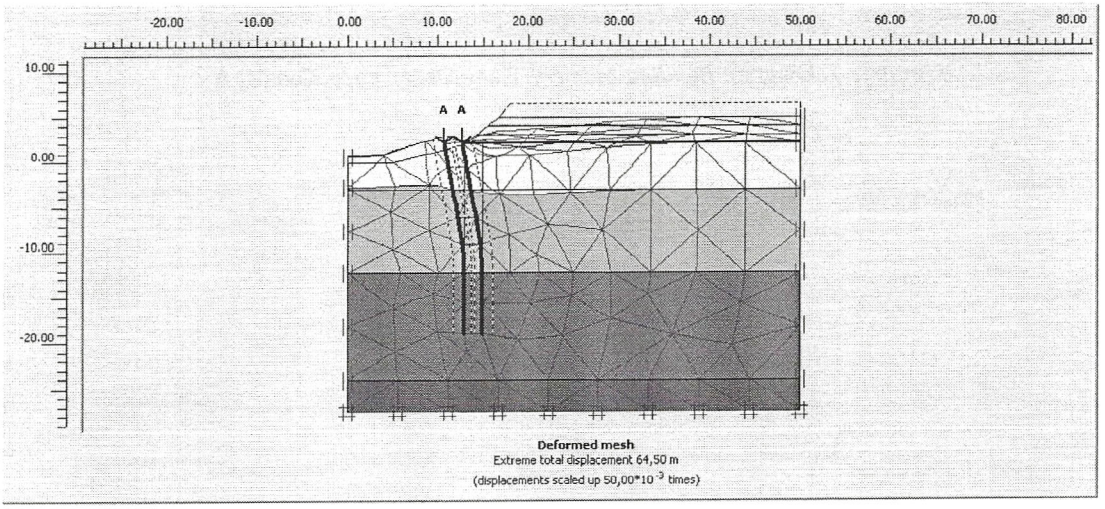
Kondisi	Tinggi Timbunan (m)	Tinggi MAT (m)	Beban *q* (kN/m^2)
A	4,5	29,5	-
B	4,5	27,5	-
c	2	27,5	3

Untuk *bending moment* tiang pancang, didapatkan *bending moment* 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.

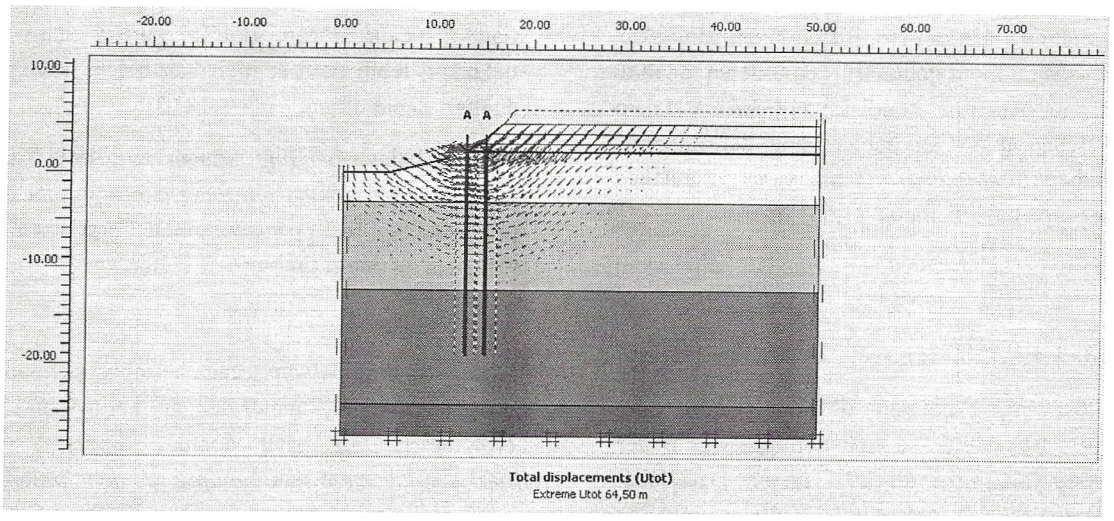
Terlihat bahwa *bending momen* yang terjadi melebihi dari *bending momen* ijin tiang pancang. Hal ini dapat menyebabkan tiang pancang patah. Pergerakan tersebut terjadi pada tinggi timbunan 3 meter.

4.6 Kondisi B

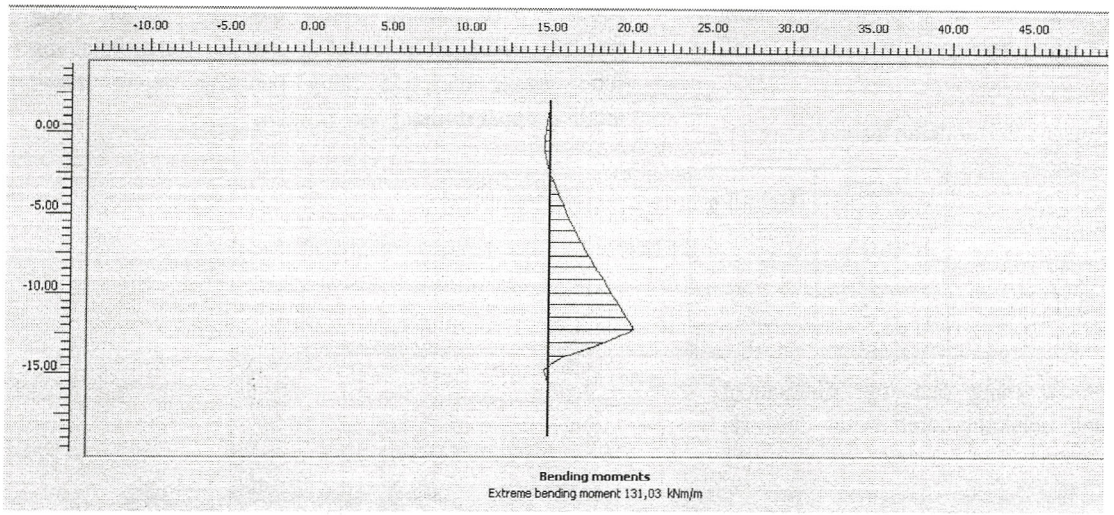
Timbunan dimodelkan secara bertahap per satu meter sampai setinggi 4,5 meter dengan ketinggian muka air 27,4 meter. Dari hasil analisis diperoleh besaran *total displacement* dan *bending momen* seperti pada Gambar 9 sampai dengan Gambar 12. Pada Gambar 10 terlihat arah pergerakan tanah dengan *displacement* 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.



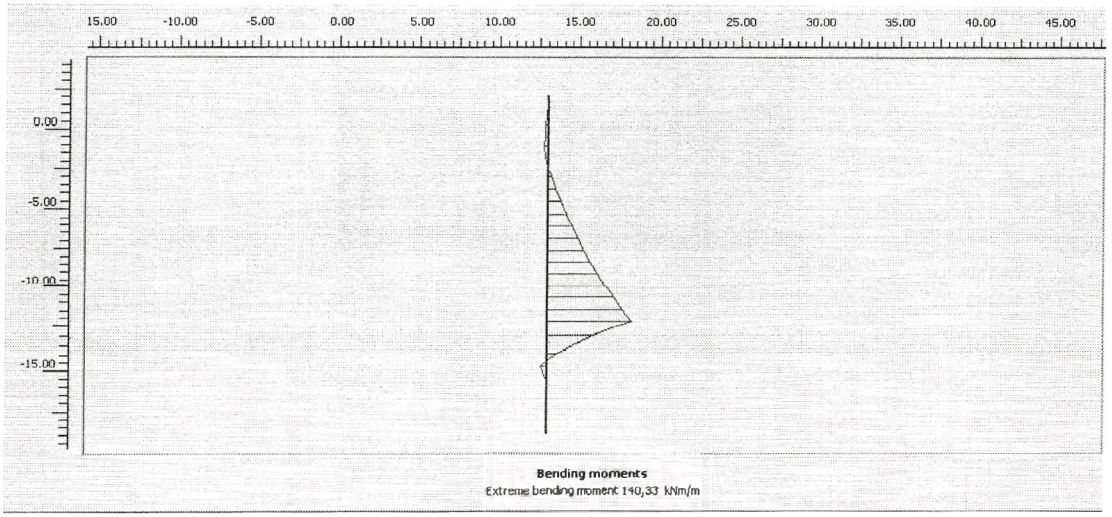
Gambar 5. *Deformed Mesh* Akibat Timbunan pada Kondisi A



Gambar 6. *Deformed Mesh* Arah Pergerakan Tanah pada Kondisi A



Gambar 7. Diagram *Bending Moment* Tiang Depan pada Kondisi A

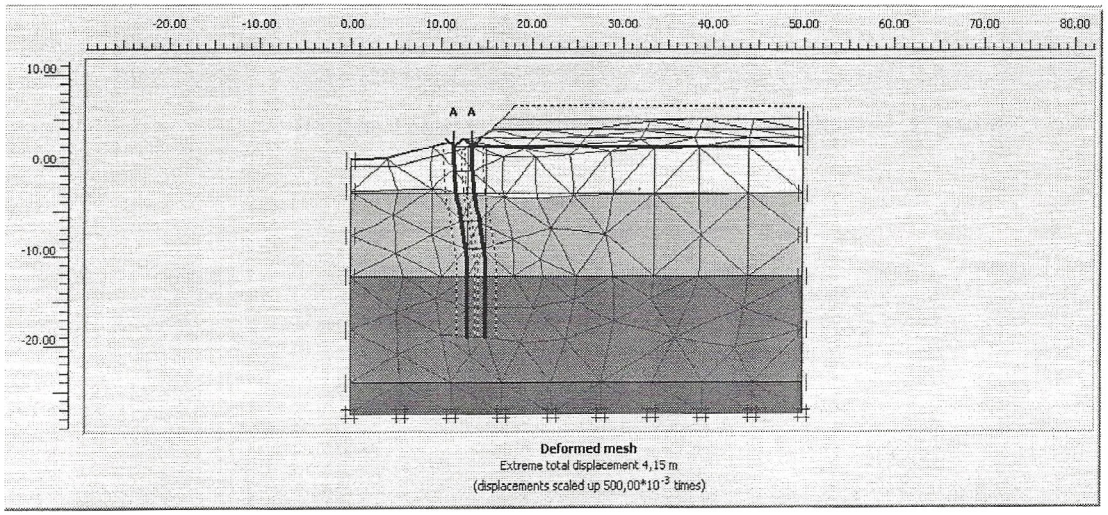


Gambar 8. Diagram *Bending Moment* Tiang Belakang pada Kondisi A

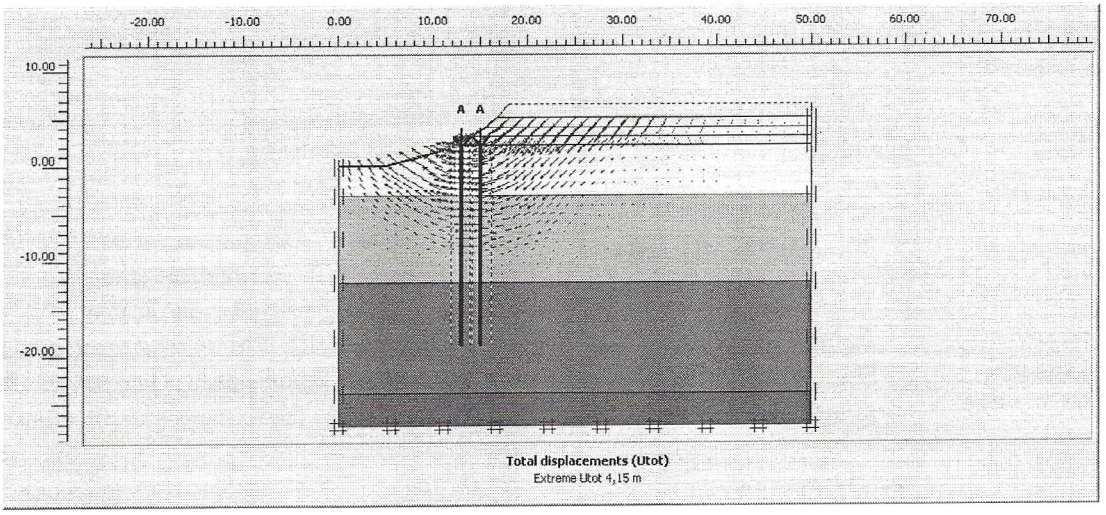
Tabel 3. *Total Displacement* dan *Bending Moment* pada Kondisi A

Keterangan	Satuan	Hasil
Total displacement	m	64,50
Bending moment tiang depan	kNm/m	131,03
Bending moment tiang belakang	kNm/m	140,33
Bending moment ijin	kNm	18,64078

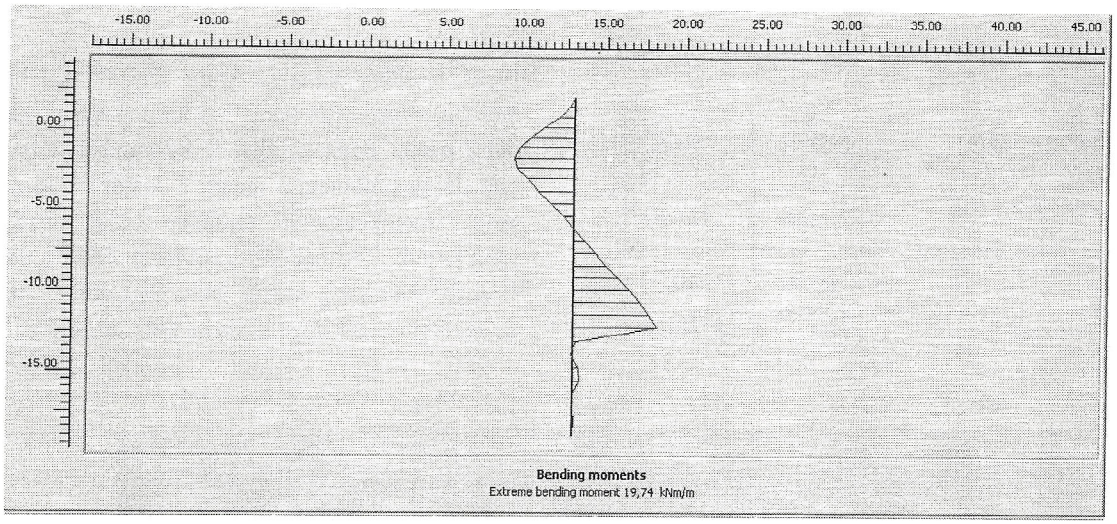
Hasil *bending moment* yang terjadi melebihi dari *bending momen* ijin tiang, hal ini dapat mengakibatkan tiang patah. Pada kondisi B keruntuhan terjadi pada saat tinggi timbunan 3 meter. Kondisi tinggi muka air sangat mempengaruhi terhadap besar *displacement* yang terjadi. Terlihat dari hasil pada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



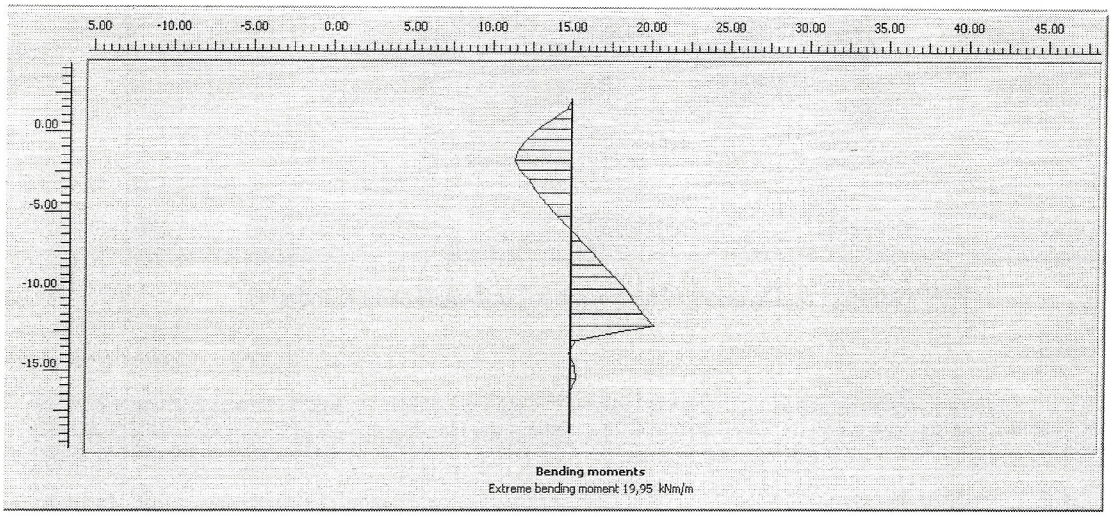
Gambar 9. *Deformed Mesh* Akibat Timbunan pada Kondisi B



Gambar 10. *Deformed Mesh* Arah Pergerakan Tanah pada Kondisi B



Gambar 11. Diagram *Bending Moment* Tiang Depan pada Kondisi B



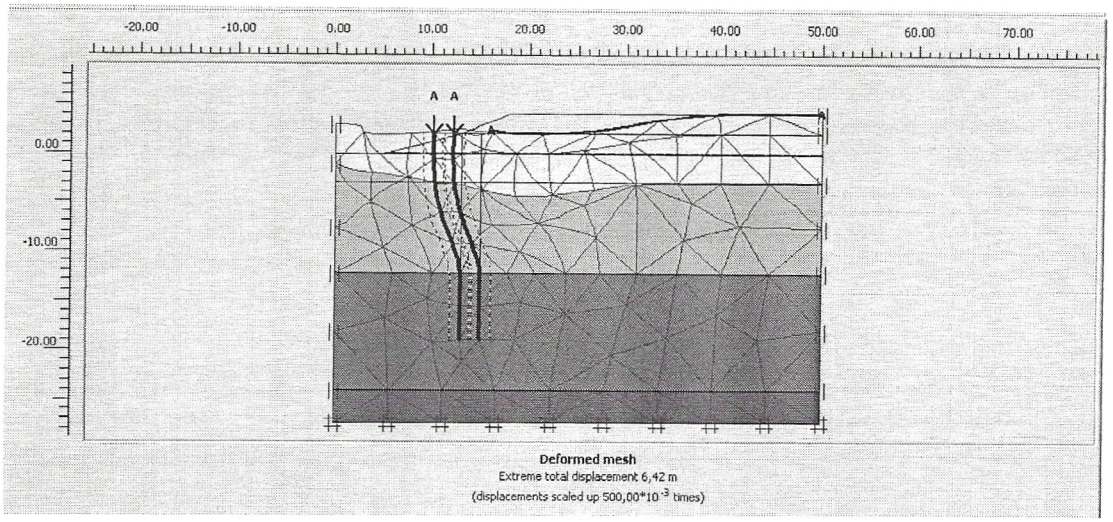
Gambar 12. Diagram *Bending Moment* Tiang Belakang pada Kondisi B

Tabel 4. *Total Displacement* dan *Bending Moment* pada Kondisi B

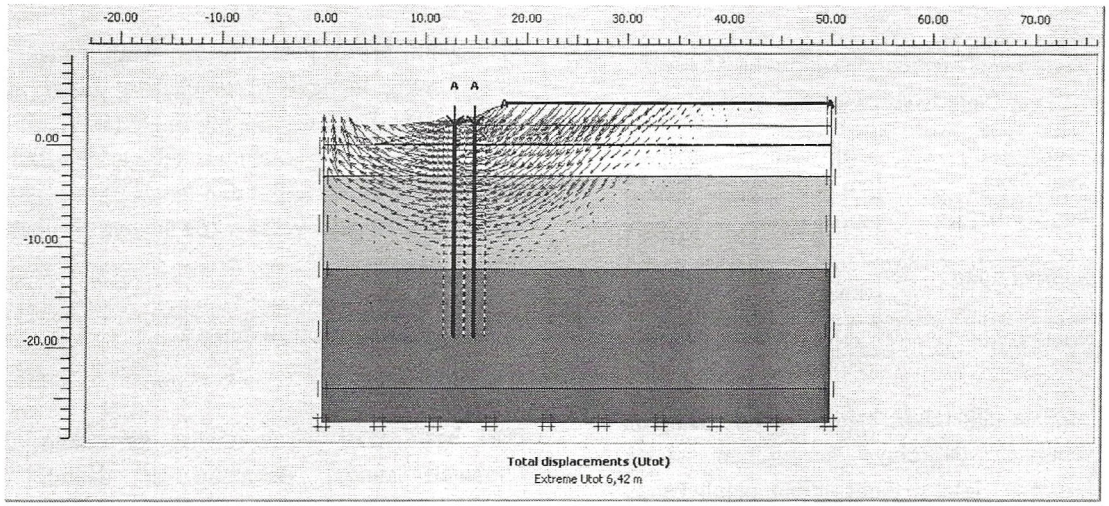
Keterangan	Satuan	Hasil
Total displacement	m	4,15
Bending moment tiang depan	kNm/m	19,74
Bending moment tiang belakang	kNm/m	19,95
Bending moment ijin	kNm	18,64078

4.7 Kondisi C

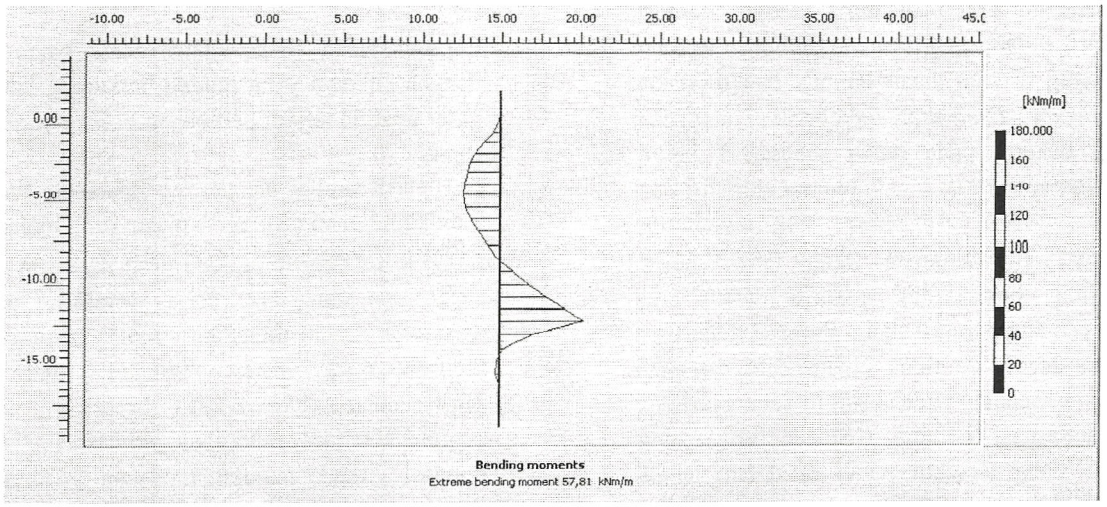
Pada kondisi ini dilakukan pembebanan secara langsung setinggi 2 m yang ditambah beban *preloading* sebesar 3 kN/m^2. Hal ini berdasarkan keadaan di lapangan pada saat sebelum keruntuhan abutmen terjadi, timbunan ditempatkan secara cepat dan langsung dari truk, kemudian diratakan dengan *excavator*. Ketinggian muka air adalah 27,4 meter. Hasil analisis diperoleh besaran *total displacement* dan *bending moment* seperti pada Gambar 13 sampai dengan Gambar 16. Hasil analisis dapat dilihat pada Tabel 5.



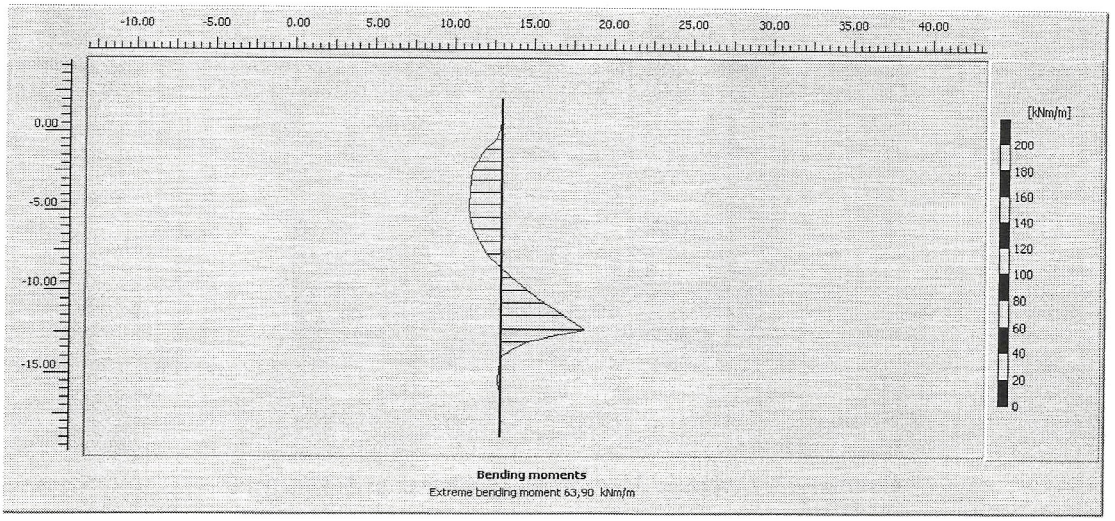
Gambar 13. *Deformed Mesh* Akibat Timbunan pada Kondisi C



Gambar 14. *Deformed Mesh* Arah Pergerakan Tanah pada Kondisi C



Gambar 15. Diagram *Bending Moment* Tiang Depan pada Kondisi C



Gambar 16. Diagram *Bending Moment* Tiang Belakang pada Kondisi C

Tabel 5. *Total Displacement* dan *Bending Moment* pada Kondisi C

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

Dari hasil analisa diketahui bahwa faktor dominan yang menyebabkan terjadinya keruntuhan adalah terjadinya deformasi lateral tiang akibat pembebanan segera sehingga menimbulkan *bending moment* sebesar 63,90 kNm/m pada tiang belakang dan 57,81 kNm/m untuk tiang depan. Hal tersebut diakibatkan tinggi timbunan oprit melampaui tinggi kritisnya, sehingga terjadi keruntuhan timbunan oprit sebagai dampak akibat dari proses langsung di mana 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 extreme total displacement sebesar 6,42 meter yang mendorong bagian tiang yang tertanam pada tanah lunak. Dorongan yang bekerja ini bekerja dalam arah horisontal sepanjang pondasi tiang. Pondasi tiang pipa baja diameter 21,63 cm tidak cukup kuat menahan *bending moment* 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 tanah lunak dengan sifat tanah lempung yang mudah mengalami proses 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 *total displacement* sebesar 6,42 meter. Dengan nilai total 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 moment* yang terjadi setelah ditimbun adalah sebesar 63,90 kNm/m yang nilainya telah melampaui *bending*

moment ijin tiang dan terjadi di kedalaman 14 meter di bawah permukaan. 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 menyampaikan 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 utuk menahan gaya vertikal namun juga harus dapat menahan gaya lateral.

References

[1] J. E. Bowles, *Analisa dan Desain Pondasi,* Erlangga, Jakarta, 1981.