

# **PENDEKATAN *BACKWARD ANALYSIS* DALAM RANGKA MENENTUKAN RENCANA PENANGANAN JEMBATAN BERDASARKAN KERUSAKAN PERMANEN DILAPANGAN**

**David E. Pasaribu<sup>1</sup>, Sjofova Rosliansjah, ST, MM<sup>2</sup>, Ir. Herry Vaza, M.Eng.Sc<sup>3</sup>**

Direktorat Bina Teknik Direktorat Jenderal Bina Marga, Departemen Pekerjaan Umum

## **ABSTRAK**

Perilaku pergerakan horizontal bangunan bawah dan pondasi dari suatu struktur jembatan akan mempengaruhi keamanan jembatan secara menyeluruh. Kajian keamanan pondasi akibat perilaku tersebut mengambil contoh pada kasus Jembatan Tanggulangin (akibat tanah lunak dan penambahan beban endapan) dan Jembatan Keduwang (akibat banjir)

Kajian dilakukan dengan mempertimbangkan kondisi kerusakan permanen di lapangan yang dijadikan acuan dalam melakukan backward analysis sehingga didapatkan kondisi pondasi dan rekomendasi penanganan permanen untuk mempertahankan keamanan dan operasional jaringan jalan.

**Kata kunci** : backward analysis, kondisi pondasi, penanganan permanen.

## **ABSTRACT**

Horizontal movement of sub structure and foundation may influence bridge safety issues. Analysis of safety issues in this paper took Tanggulangin Bridge case (displacement happened due to soft soil surround the bridge and the increment of soil burden) and Keduwang Bridge case (displacement happened because of flood) as a sample

Backward analysis was done by observing the structural damage in the field which became the reference in order to predict the foundation's condition and issue recommendations for the permanent treatment to maintain the safety and to sustain the road network system operation.

**Key words** : backward analysis, foundation, permanent treatment.

## **1. PENDAHULUAN**

Sistem perencanaan teknis jembatan yang ada kita dapat mengetahui gaya-gaya yang bekerja pada suatu elemen

struktur dari aksi-aksi yang bekerja, meliputi gaya normal, lintang, momen dan torsi. Berdasarkan gaya-gaya tersebut pula kita dapat mengetahui respon dari elemen struktur tersebut mencakup tegangan dan deformasi. Dari respon struktur tersebut didapatkan apakah suatu struktur tersebut cukup mampu untuk menerima aksi-aksi yang bekerja.

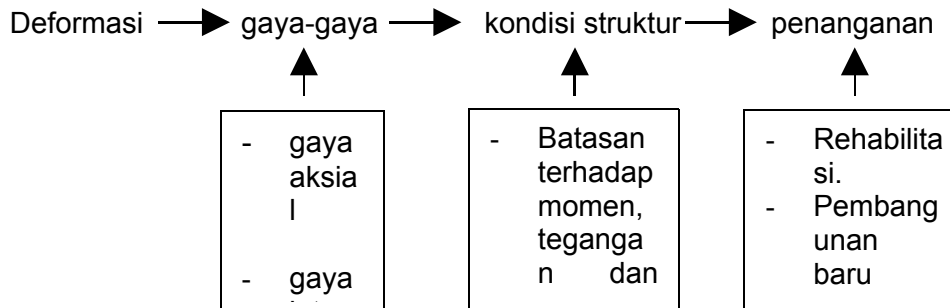
Syarat batas dijadikan sebagai acuan dalam menentukan tipe kerusakan jembatan maupun kapasitas sisa struktur untuk dapat menopang beban-beban yang ada.

Dalam hal-hal tertentu seringkali kondisi desain yang ada tidak sesuai dengan kenyataan di lapangan. Sesuai desain suatu elemen struktur dinyatakan sesuai dengan syarat atau kriteria desain jembatan. Akan tetapi kenyataan di lapangan tidak memberikan hasil yang sesuai dengan kondisi desain. Hal ini menjadikan respon struktur terhadap aksi-aksi yang bekerja tidak lagi valid. Untuk inilah diperlukan backward analysis di mana didapatkan kondisi elemen suatu struktur akibat aksi-aksi yang bekerja.

Penelitian dilakukan pada kondisi tiang pondasi di Jembatan Keduwang dan Tanggulangin. Di mana Jembatan kedua jembatan mengalami permasalahan yaitu pergerakan pilar yang menyebabkan kondisi struktur jembatan tidak lagi stabil.

Pergerakan lateral pada Jembatan Keduwang diakibatkan banjir besar yang membawa hanyutan kayu dan menimbulkan tumbukan pada struktur bangunan atas sehingga mendorong pilar, terjadi pada tanggal 29 Desember 2007. Sedangkan pada Jembatan Tanggulangin pergerakan disebabkan oleh tanah lunak dan penambahan beban akibat endapan.

Dalam hal ini parameter terukur yang dijadikan acuan dalam backward analysis adalah deformasi pada pilar dan struktur bawah jembatan untuk mendapatkan kondisi elemen-elemen struktur bawah jembatan meliputi pilar dan pondasi.



Backward analysis yang dipakai dalam penelitian ini adalah kondisi seperti flowchart di atas.

## 2. JEMBATAN TANGGULANGIN

Data umum jembatan adalah sebagai berikut:

No : 24.086.003.A  
 Ruas Jalan : Demak - Kudus (KM SMG 46+01)  
 Bentang : 160m (50m+50m+60m)  
 Bangunan Atas : RBA, kelas A  
 Lantai : Beton bertulang  
 Bangunan Bawah : Beton bertulang dgn pondasi tiang pancang pipa beton  
 Tahun Bangun : 1993

Beban yang bekerja pada pilar pada saat dilakukan penelitian adalah beban aksial dengan besar  $P_u = 7525.96 \text{ kN} + 10196.42 \text{ kN} = 17722.39 \text{ kN}$ .

## 2.1 Pendekatan terhadap pergerakan pada pilar.

### 2.1.1 Kasus 1. Pilar Berdiri Tegak

Pada kasus ini, belum terjadi pergeseran pada ujung pilar (beban yang diberikan oleh struktur atas bekerja langsung pada titik *centroid* pilar). Maka tahanan pada pilar bergantung pada tahanan aksial saja saja.

Analisis tahanan pilar dilakukan dengan menggunakan bantuan *software* dengan menginputkan data sebagai berikut:

Panjang Pilar: 8.2 m,                       $f_c'$ : 30 MPa,  
 Diameter: 1.7 m,                               $f_y$ : 240 MPa,  
 Tulangan Utama: 60D22,                       $P_u$ : 17722.38 kN.  
 Selimut Beton: 6 cm,

Pada kasus 1, pilar mempunyai *Strength Ratio* sebesar 0.542.

### 2.1.2 Pilar Berdiri dengan Pergeseran Ujung Sejauh 27 cm

Pada kasus ini, telah terjadi pergeseran pada ujung pilar. Selanjutnya akan dicoba menganalisis perilaku tahanan terhadap bekerjanya momen yang akibat pergeseran yang terjadi serta momen tambahan akibat eksentrisitas yang ada (beban yang diberikan oleh struktur atas bekerja dengan eksentrisitas tertentu terhadap titik tangkap (*centroid*) pilar. Momen yang Menyebabkan Pergeseran Ujung pilar

Rumusan perpindahan ( $\Delta$ ) untuk pilar kantilever mengacu pada perhitungan BMS 1992 Pasal

4.9, yaitu 
$$\Delta = \frac{M * L^2}{3 * E * I_{cr}}$$
, dengan:

$\Delta$  : perpindahan ujung pilar,  
 $E$  : modulus elastis bahan, beton = 25000 MPa,  
 $I_{cr}$  : momen inersia efektif retak, untuk penampang bundar diambil  $0.028 * \text{diameter}^4$ . Pada perhitungan dipakai  $I_{cr}$  sebagai kondisi ideal dimana beton belum mengalami retak.  
 $L$  : panjang pilar.

Dari rumusan di atas, dapat diturunkan besarnya momen yang menyebabkan terjadinya pergeseran pada ujung pilar, yaitu  $M = \frac{\Delta * 3 * E * I_{cr}}{L^2}$ . Maka besarnya momen yang menyebabkan pergeseran  $M_u$  : 11886.1 kN.

Pada kasus 2, pilar mempunyai *Strength Ratio* sebesar 2.166.

Perlu ditinjau pula kondisi yang memodelkan pilar jembatan telah miring akibat pergeseran pada tanah pondasi, kemudian pilar telah mencapai kondisi stabil kembali. Maka pembebanan yang terjadi adalah pembebanan aksial akibat struktur atas jembatan ditambah momen akibat eksentrisitas sebesar 4843.2 kNm.

Diperoleh *strength ratio* sebesar 0.845. Pada kondisi ini, struktur pilar masih dalam kondisi aman.

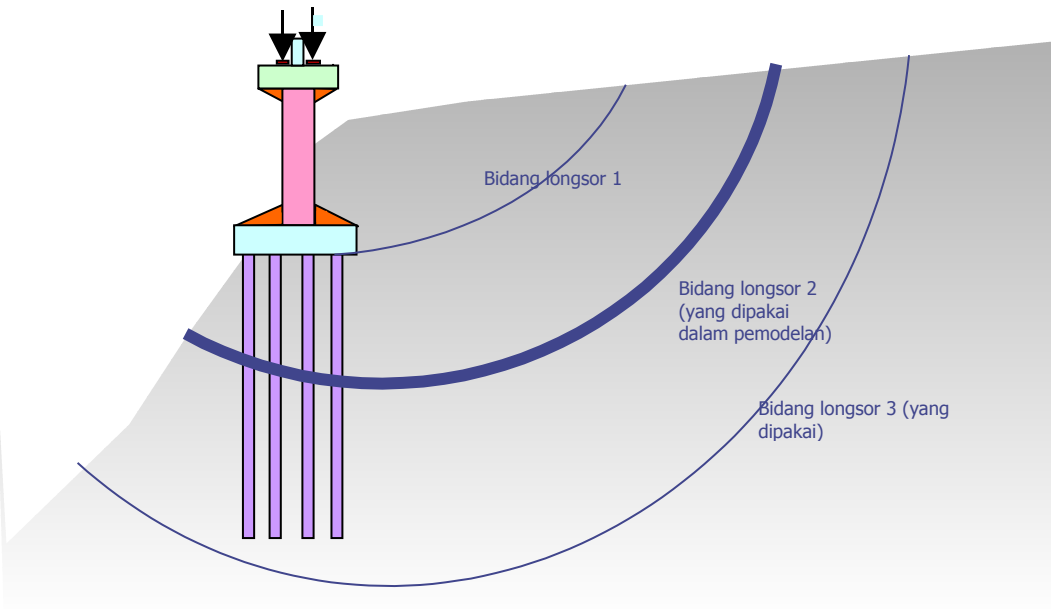
## 2.2 Pendekatan terhadap pergerakan pada pondasi

Deformasi disebabkan tekanan tanah yang tidak seimbang pada pilar berupa endapan pada sisi luar pilar dan gerusan yang terjadi pada sisi dalam pilar, sehingga tanah longsor di permukaan yang memberikan tekanan pada struktur pondasi atau tanah longsor di dalam

yang mengakibatkan struktur pondasi dan pilar bergerak bersama-sama dengan tanah seperti pada gambar 1 berikut.

Endapan dan gerusan tersebut akan mengakibatkan deformasi yang berakibat:

1. Kerusakan pada pondasi akibat longsor permukaan.
2. Kerusakan tanah pijakan pondasi akibat longsor dalam.



Gambar 1. Bidang Longsor Tanah Sekitar Pondasi Jembatan Tanggul Angin

a. Pondasi Tiang Pancang

Tipe = Tiang Pancang Precast  
 Diameter = 0.45 m  
 $f_c$  = 60 mPa  
 L = 30 m

b. Tanah

Dari hasil data tanah pada Bor 1 (lampiran)

DEPTH		N-SPT	C	$\phi$	E	TYPE
TOP	BOTTOM					
6	2	4	9.60	0.00	6512.00	CLAY
2	-5.5	2	4.80	0.00	3256.00	CLAY
-5.5	-12.5	4	9.60	0.00	6512.00	CLAY
-12.5	-16	8	19.20	0.00	19546.00	CLAY
-16	-23.5	24	67.20	0.00	190000.00	CLAY
-23.5	-40	45	96.00	0.00	407001.50	CLAY

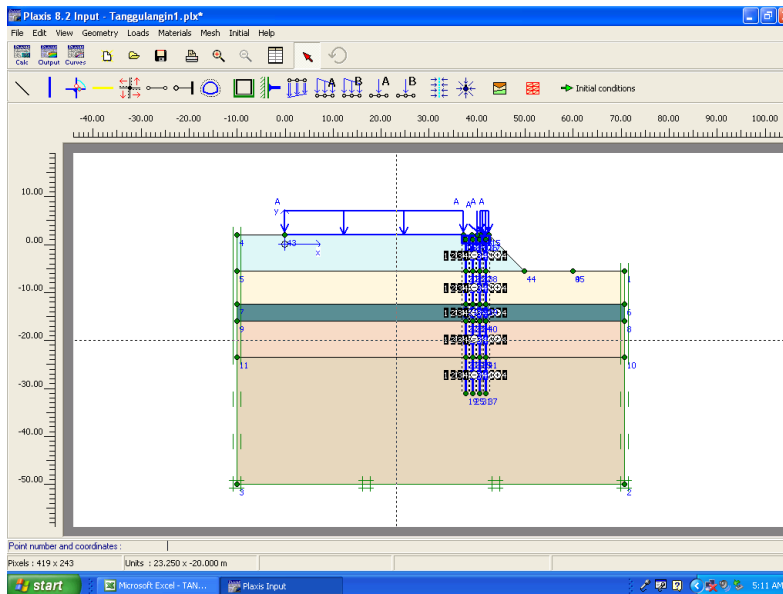
Beban Aksial = beban mati + beban hidup  
 = 17726 kN

Beban Lateral = mendapatkan nilai deformasi =  $27+15/2$  cm  
 = 21 cm.

Kondisi batas pembebananan adalah deformasi yang terjadi pada pilar sebesar 21 cm (ekstrim) akibat beban vertikal yang diberikan pada tanah dasar awal di mana pile cap berada.

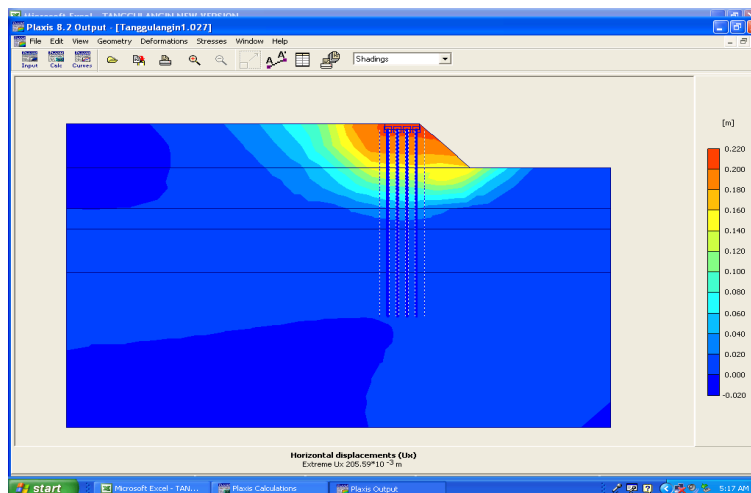
Hasil yang didapatkan adalah

Untuk mencapai deformasi diberikan beban aksial secara perlahan-lahan yang merupakan beban tanah endapan pada elemen-elemen tanah pada di pinggir sungai sehingga didapatkan maximum displacement mendekati 21 cm.

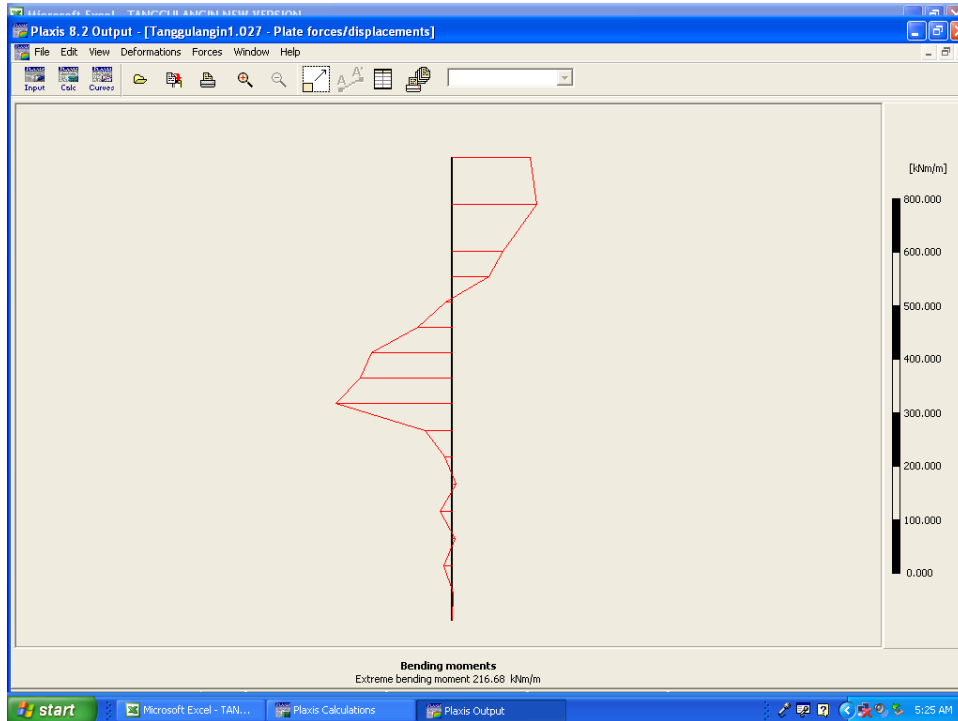


Gambar 2 Pemodelan Pilar Jembatan Tanggulangin

Untuk mengetahui kondisi struktur jembatan hal yang perlu diketahui adalah momen, gaya geser dan maksimum displacement pada tiang pondasi.



Gambar 2 Max horizontal displacement pada kepala pile cap = 0.22 cm.

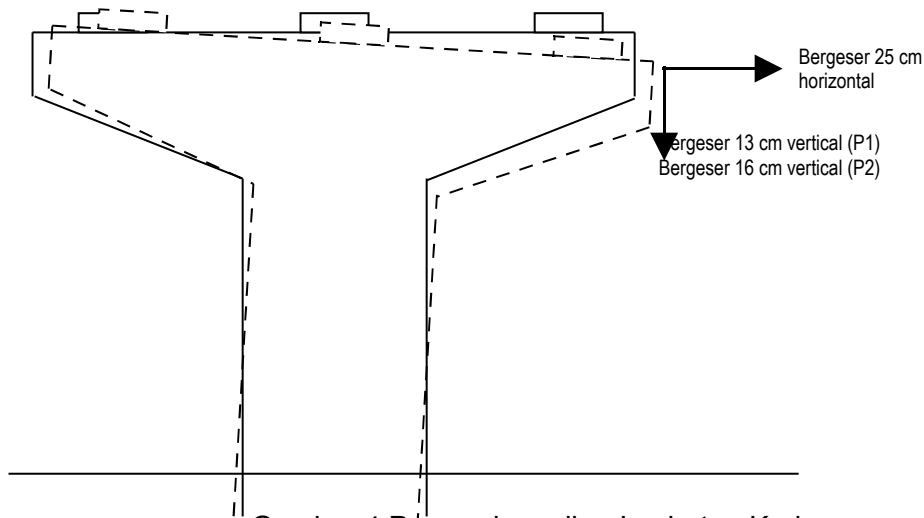


Gambar 3 maks bending momen 216.68 kNm

### 3. JEMBATAN KEDUWANG

#### 3.1 Data

Kondisi pilar (P1 dan P2) berdasarkan hasil pengukuran di lapangan adalah sebagai berikut:



Gambar 4 Pergerakan pilar Jembatan Keduwang

Penyebab deformasi tersebut di atas adalah banjir besar yang membawa hanyutan kayu dan menimbulkan tumbukan pada struktur bangunan atas sehingga mendorong pilar, terjadi pada tanggal 29 Desember 2007.

Berdasarkan kajian yang dilakukan oleh Subdit Teknik Jembatan didapatkan analisa sebagai berikut:

- Kerusakan pada pilar akibat banjir
- Kerusakan pada pondasi.

Beban yang bekerja pada pilar pada saat dilakukan penelitian adalah beban aksial dengan besar  $P_u = 11137.489 \text{ kN}$ .

### 3.2 Pendekatan terhadap pergerakan pada pilar.

#### 3.2.1 Kasus 1. Pilar Berdiri Tegak

Kolom mempunyai tinggi 7 m dengan diameter 1.8 m. Pada kasus ini, belum terjadi pergeseran pada ujung pilar (beban yang diberikan oleh struktur atas bekerja langsung pada titik *centroid* pilar). Maka tahanan pada pilar bergantung pada tahanan aksial saja saja.

Pada kasus 1, pilar mempunyai *Strength Ratio* sebesar 0.304.

#### 3.2.2 Pilar Berdiri dengan Pergeseran Ujung Sejauh 25 cm

Eksentrisitas kolom ( $\phi$ ) adalah: 
$$\arctan\left(\frac{\text{pergeseranujung}}{\text{panjangkolom}}\right) = \arctan\left(\frac{0.25}{7}\right) \approx 2^\circ$$

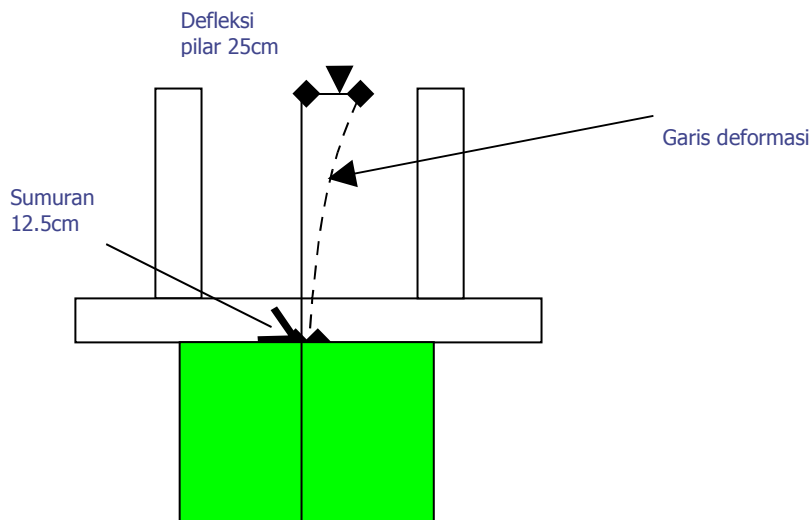
Maka akan diperoleh tambahan momen sebesar  $P \sin\phi$

$M_u = 11137.489 \sin 2^\circ = 2720.85 \text{ kNm}$ . Dan gaya aksial sebesar  $P \cos\phi = 11137.489 \cos\phi = 11130.7 \text{ kN}$ .

Pada kasus 1, pilar mempunyai *Strength Ratio* sebesar 0.348.

### 3.3 Analisa Terhadap Pondasi Jembatan

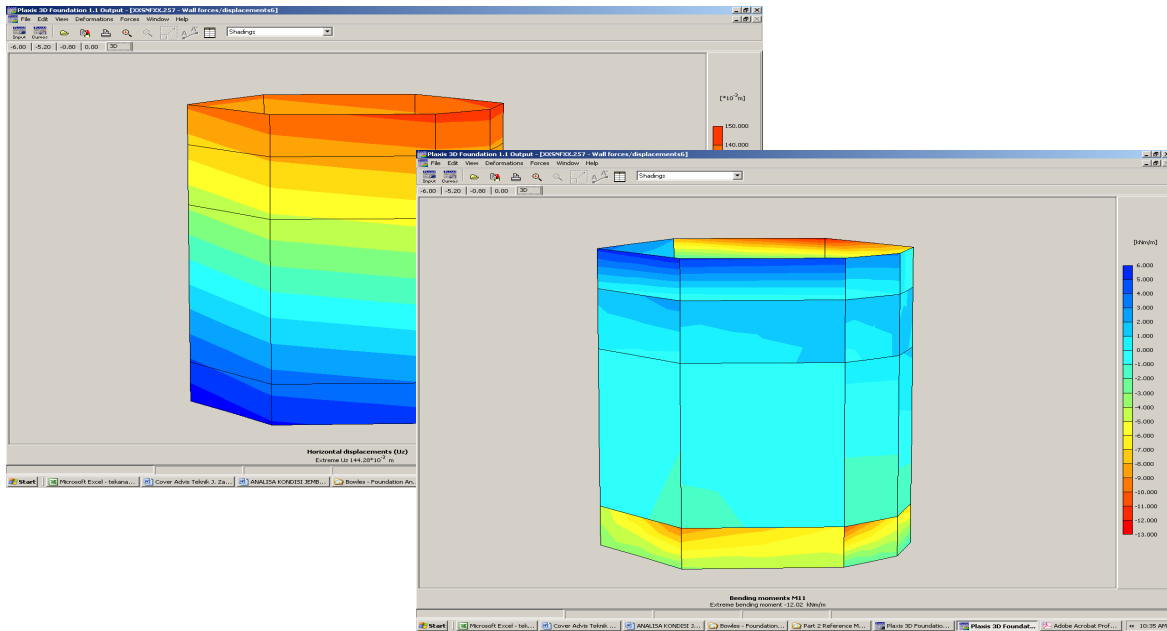
Analisa pondasi yang diperhitungkan adalah kemungkinan terjadinya perbesaran momen terjadi akibat beban banjir.



Gambar 5 Pergerakan pondasi Jembatan Keduwang

Dari penampang sumuran, diketahui bahwa kondisi struktural sumuran mampu menahan momen sebesar  $46,6 \text{ KNm/m}$ .

Dari hasil penelitian yang dilakukan didapatkan bahwa untuk deformasi 22 cm gaya momen yang terjadi adalah: 12,02 KNm/m seperti terlihat pada gambar 5 berikut.



Gambar 6 Bidang momen dan deformasi pada sumuran

### 3.4 Analisa terhadap stabilitas pondasi.

Analisa stabilitas mencakup kondisi terhadap guling dan geser pada saat terjadi banjir.

Pada saat banjir terjadi gaya sebesar 3000 kN yang mengakibatkan momen 18000 kNm pada dasar sumuran.

Geser tahanan	= 2871.33	kN
Momen tahanan	= 4788.44	kNm
Geser terjadi	= 3000+1262.99	
	= 4262.99	kN
Momen terjadi	= 18000+2430.65	
	= 20430.65	kNm
SF guling	= 0.209456	
SF terhadap geser	= 0.673549	

Didapatkan bahwa pada saat banjir, pondasi tahanan tanah terhadap guling dan geser tidak lagi mampu menahan beban-beban yang bekerja.

Pada saat eksisting sekarang di mana beban horizontal tidak lagi bekerja, maka tetapi ada beban tambahan akibat gaya aksial sebesar:

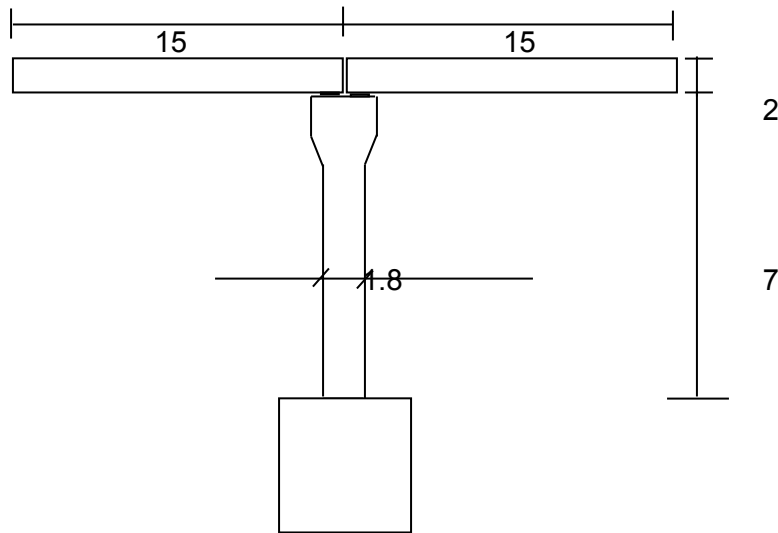
Beban aksial	= 13164.49	kN
Δ	= 0.14	m
Momen	= 1843	kNm
Sumuran	= 471	kN
Δ	= 0.07	m

Mome	= 32	
Total momen tamb.	= 1876	kNm
SF Guling	= 1.111	(rentan terhadap guling)
SF Geser	= 2.27	

### 3.5 Analisa terhadap scouring jembatan

Scouring pada pilar jembatan disebabkan adanya tekanan dari air sungai baik besar maupun kecil yang berlangsung secara terus menerus ke daerah pilar jembatan sehingga mengakibatkan kerusakan.

Salah satu aspek yang mempengaruhi scouring adalah kecepatan air pada saat banjir. Apabila seluruh gaya lateral yang diakibatkan banjir diserap pada pondasi sumuran, maka kecepatan air rata-rata adalah:



$T_e$	=	3000	kN
$C_l$	=	1	
$A_L$	=	72.6	m <sup>2</sup>
$V_s$	=	9.09	m/det

Apabila diambil ketinggian muka air adalah saat banjir = 6.8+2 bilangan Froude untuk kecepatan ini adalah:

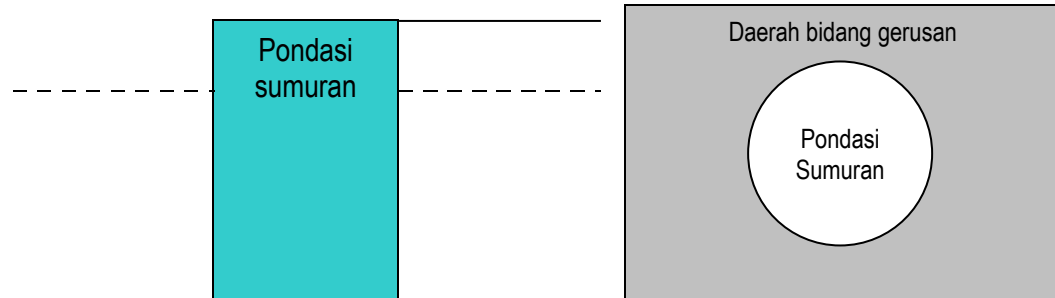
$$Fr = 0.96$$

Untuk eksperimen yang telah dilakukan US Army Corps of Engineer menunjukkan bahwa aliran transisi terjadi pada bilangan Froude antara 0.89 dan 1.13.

Dari hasil kajian untuk kondisi ini, maka kemungkinan terjadi scouring untuk pada kaki pilar/fondasi sumuran sangat mungkin terjadi.

Scouring akan menyebabkan penurunan kapasitas tahanan pondasi yaitu tahanan pasif tanah terhadap gaya lateral dan momen.

Gambaran terjadinya scouring di sekeliling pondasi sumuran pada saat banjir adalah sebagai berikut:



Ket:

- Elevasi normal  
 - - - - - Elevasi akibat banjir

#### 4. KESIMPULAN

##### 4.1 Jembatan Tanggulangin

- Gaya aksial yang dimodelkan sebagai gaya akibat endapan menyebabkan peningkatan gaya terkait dengan pergerakan longsor akibat letak jembatan berada pada tanah lunak menyebabkan perbesaran momen pada pondasi tiang.
- Maksimum deformasi adalah 22 cm, sedangkan maksimum deformasi yang diijinkan pada pondasi adalah 1 inchi = 2,54 cm. Hal ini mengindikasikan bahwa deformasi yang terjadi sudah jauh melebihi ijin.
- Momen maksimum yang terjadi adalah 216.68 kNm dan terjadi kira-kira pada elevasi 12 m di bawah pile cap. Kapasitas momen crack adalah 125 kNm dan momen ultimate 250 kNm. Kemungkinan telah terjadi crack pada tiang-tiang pada elevasi 12 m.
- Deformasi yang terjadi aktual yang terjadi lebih besar dari deformasi aktual yang ada, hal ini disebabkan pergerakan yang terjadi tertahan oleh rangka baja jembatan.

##### 4.2 Jembatan Keduwang

- Pergerakan yang terjadi adalah pergerakan akibat dorongan yang akibat gaya banjir yang bekerja pada sehingga menyebabkan tanah terdorong dan terdeformasi. Pergerakan ini diakibatkan dorongan pada pondasi sumuran.
- Struktur pilar sumuran masih kaku dan baik. Pergerakan terjadi adalah pergerakan secara keseluruhan struktur sumuran.
- Adanya kemungkinan terjadinya scouring pada struktur kaki pilar/fondasi sumuran. Perlu adanya pengamatan untuk mendapatkan besar/ketinggian scouring yang terjadi untuk mendapatkan pengurangan tahanan struktur fondasi jembatan terhadap momen dan geser.
- Perlu dilakukan pembatasan pembebanan (beban hidup) pada jembatan untuk mengurangi beban aksial yang menimbulkan momen guling tambahan pada struktur sumuran agar tidak terjadi guling pada struktur pondasi.

## **5. SARAN**

- 5.1 Mengingat bahwa telah terjadi crack pada struktur pondasi, maka tahanan pondasi terhadap gaya-gaya yang bekerja tidak lagi kuat. Diperlukan perkuatan dengan penambahan pondasi atau pembangunan jembatan baru.
- 5.2 Struktur pondasi sumuran masih baik. Kegagalan struktur terjadi akibat ketidakstabilan struktur akibat beban tambahan dari kemiringan pilar. Diperlukan pembangunan jembatan baru untuk menggantikan jembatan lama.