

# Evaluasi Kapasitas Kepala Jembatan Akibat Perubahan Bentang Struktur Atas

Albert Hendrik Benaya<sup>1)</sup>, Andi Indianto<sup>2)</sup>

<sup>1),2)</sup> Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. Dr. G.A. Siwabessy, Kukusan, Kecamatan Beji, Kota Depok, Jawa Barat, 16424.

E-mail: albert.hendrikb@gmail.com, andipoltek@gmail.com

## Abstrak

Pada proyek pembangunan Jalan Tol X, terdapat jembatan Flyover Y yang direncanakan dengan panjang 66,5 meter terbagi menjadi 2 bentang. Struktur atas jembatan direncanakan menggunakan Precast Concrete – I Girder (PCI Girder) dengan panjang 40,6 meter. Posisi Pilar 1 jembatan direncanakan berada di tengah bantaran sungai. Dengan adanya larangan pembangunan pilar ditengah bantaran sungai mengakibatkan adanya perubahan perencanaan awal bentang jembatan yaitu dari kepala jembatan A – pilar (P1) dan Pilar 1 (P1) – pilar 2 (P2) menjadi satu bentang dari kepala jembatan A1 – pilar 2 (P2). Perubahan juga dilakukan terhadap desain struktur atas dari rencana awal menggunakan PCI Girder dengan bentang 40,6 meter diubah menjadi *Steel Tub Girder* dengan bentang 66,5 meter. Jadi, perubahan pembebanan dari struktur atas akan berpengaruh pada kapasitas kepala jembatan. Untuk mengevaluasi kapasitas abutment A1, dilakukan analisa struktur menggunakan bantuan *software SAP2000*. Hasil evaluasi kapasitas struktur abutment didapatkan bahwa tulangan yang terpasang pada bagian backwall, wall, pilecap, dan borepile yang terpasang masih memadai. Dikarenakan abutment A1 masih dalam kondisi layak dimana tulangan yang terpasang lebih besar dari tulangan hasil analisa, maka tidak diperlukan perkuatan.

**Kata kunci:** Abutment; Jembatan; Perkuatan.

## Abstract

*In the X Toll Road construction project, there is a Flyover Y bridge which is planned with a length of 66.5 meters divided into 2 spans. The superstructure of the bridge is planned to use Precast Concrete – I Girder (PCI Girder) with a length of 40.6 meters. The position of Pillar 1 of the bridge is planned to be in the middle of the riverbank. With the prohibition on the construction of pillars in the middle of the riverbank, it resulted in a change in the initial planning of the bridge span, namely from the head of the bridge A1 - pillar (P1) and Pillar 1 (P1) - pillar 2 (P2) into one span from the head of the bridge A1 - pillar 2 (P2). Changes were also made to the design of the superstructure from the initial plan using PCI Girder with a span of 40.6 meters to Steel Tub Girder with a span of 66.5 meters. So, changes in load from the superstructure will affect the capacity of the abutment. To evaluate the capacity of the abutment A1, structural analysis was carried out using software SAP2000 assistance. The results of the evaluation of the capacity of the abutment structure show that the longitudinal reinforcement installed on the backwall, wall, pilecap, and borepile is still adequate. Because the abutment A1 is still in serviceable condition where the installed longitudinal reinforcement is larger than the analysis result, there is no need to strengthen the abutment.*

**Keywords:** Abutments; Bridge; Reinforcement.



Copyright © 2022 The Author(s)

This is an open access article under the [CC-NC-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/) license.

## 1. PENDAHULUAN

Jalan tol adalah suatu jalan alternatif dikhususkan untuk kendaraan bersumbu dua atau lebih yang bertujuan untuk mempersingkat jarak dan waktu tempuh serta dapat mengurangi volume lalu lintas dari satu tempat ke tempat lain. Maka dari itu, pembangunan jalan tol memiliki dampak positif yang penting bagi masyarakat.

Pada pembangunan Jalan Tol X, terdapat jembatan *Flyover* Y yang direncanakan dengan panjang 60 meter terbagi menjadi 2 bentang dengan 1 pilar. Struktur atas dari rencana awal menggunakan PCI Girder dengan bentang 40,6 meter dirubah menjadi 1 bentang menggunakan *Steel Tub Girder* dengan bentang 66,5 meter dikarenakan adanya pembatalan pilar ditengah bantaran sungai.

Perencanaan struktur jembatan harus dilakukan dengan sangat teliti dan dibuat sangat kokoh agar mampu menahan beban yang bekerja pada struktur tersebut. Kesalahan perencanaan, terutama pada struktur bawah akan berdampak pada keseluruhan struktur jembatan. Kepala jembatan (*abutment*) merupakan salah satu struktur bawah yang berfungsi sebagai penyangga struktur atas menjadi salah satu faktor utama kekokohan jembatan.

Dalam penelitian (Ummah, R. A, 2016) yang berjudul Perencanaan Ulang Timbunan Oprit Dan *Abutment* Jembatan Plasma Batu Tuguplasma Tanjung Kurung, Palembang (Yang Mengalami Keruntuhan Sebelumnya), terdapat studi kasus dimana terjadi keruntuhan pada *abutment* jembatan pada saat pekerjaan timbunan oprit jembatan. Tekanan tanah oprit menyebabkan *abutment* terdorong ke arah sungai dan *abutment* pada sisi satunya terdorong oleh jembatan yang runtuh sehingga bergeser ke arah timbunan oprit. Kegagalan konstruksi ini menyebabkan kerugian pada pihak pelaksana maupun pihak yang terkait lainnya karena jembatan runtuh saat pelaksanaan dan belum selesai dibangun. Maka dari itu, hal ini perlu diperhatikan betapa pentingnya untuk meminimalisir kesalahan pada saat perencanaan ataupun kegagalan pada pelaksanaannya mengingat *abutment* jembatan memiliki fungsi penting bagi jembatan.

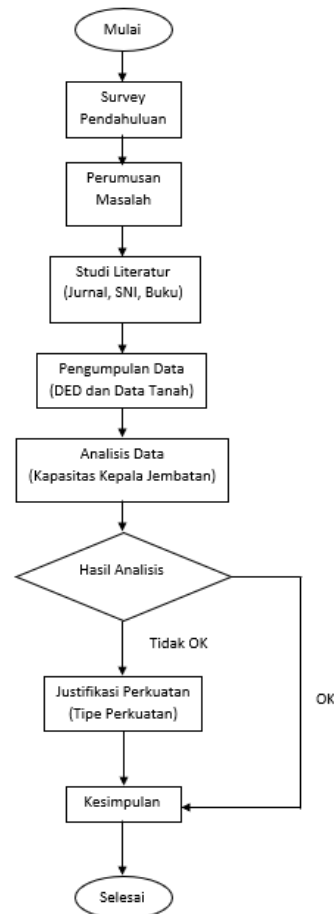
Tujuan dari penelitian ini yaitu mengevaluasi kapasitas kepala jembatan setelah adanya perubahan bentang struktur atas dan jika kapasitasnya tidak memadai, perkuatan tipe apa yang dapat digunakan.

## 2. METODE

Objek studi penelitian ini berada di Jembatan *Flyover X* pada proyek pembangunan *Y* yang terbentang sepanjang 13 Km. Lokasi Jembatan *Flyover X* berada di wilayah Kota Bekasi Provinsi Jawa Barat.

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari Proyek Jalan Tol *X* berupa *Detail Engineering Design* (DED) kepala jembatan *Flyover X* dan data tanah berupa data N-SPT kemudian spesifikasi material yang digunakan dalam perencanaan Jembatan *Flyover X*.

Tahap metode penelitian ini mencakup keseluruhan langkah dalam melaksanakan penelitian yang dapat diuraikan pada gambar 1.



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

Tahap awal analisis dalam penelitian ini melakukan perhitungan pembebanan pada *abutment A1* berupa beban dari struktur atas dan beban gempa serta tekanan tanah lateral yang berpedoman pada SNI 1725 tahun 2016 tentang Pembebanan untuk Jembatan dan SNI 2833 tahun 2016 tentang Perencanaan Jembatan terhadap Beban Gempa. Dengan menggunakan bantuan software SAP2000, dilakukan analisa struktur dengan membuat permodelan *abutment A1*, kemudian memasukan data dimensi, material, dan beban-beban yang bekerja pada *abutment A1*. Hasil keluaran software SAP2000 digunakan untuk memeriksa kapasitas tulangan. Kemudian melakukan pemeriksaan terhadap daya dukung pondasi. Berdasarkan hasil analisa struktur *abutment A1*, jika kapasitasnya tidak memadai maka dilakukan justifikasi tipe perkuatan apa yang dapat digunakan pada *abutment A1*.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Total berat steel tub *girder* merupakan akumulasi dari berat steel tub, berat diafragma, berat sambungan, dan berat shear connector.

$$\begin{aligned} Q_{girder\ exterior} &= Q_{steel\ tub} + Q_{sambungan} + Q_{shearconnector} \\ &\quad + Q_{diafragma} \\ &= 123,77\ ton + 22,20\ ton + 0,573\ ton \\ &\quad + 12,77\ ton \\ &= 159,313\ ton \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{girder\ interior} &= Q_{steel\ tub} + Q_{sambungan} + Q_{shearconnector} \\ &\quad + Q_{diafragma} \\ &= 114,48\ ton + 21,47\ ton + 0,569\ ton \\ &\quad + 12,77\ ton \\ &= 149,289\ ton \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{diafragma\ luar} &= (2 \times Q_{diafragma\ exterior}) + (5 \times Q_{diafragma\ interior}) \\ &\quad + (7 \times Q_{diafragma\ tumpuan}) \\ &= (2 \times 4,883\ ton) + (5 \times 4,113\ ton) \\ &\quad + (7 \times 2,07\ ton) \\ &= 9,766\ ton + 20,585\ ton + 14,49\ ton \\ &= 44,821\ ton \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{total\ steel\ tub\ girder} &= (2 \times Q_{girder\ exterior}) + (6 \times Q_{girder\ interior}) \\ &\quad + Q_{diafragma\ luar} \\ &= (2 \times 159,313\ ton) + (6 \times 149,289\ ton) \\ &\quad + 44,821\ ton \\ &= 318,626\ ton + 895,734\ ton + 44,821\ ton \\ &= 1259,616\ ton \end{aligned}$$

Maka berat total steel tub *girder* bentang A1-P2 yang bekerja pada *abutment* A1 yaitu 629,808 ton.

Plat lantai bentang A1-P2 dibuat menggunakan material beton bertulang dengan ketebalan 0,25 m. kemudian dimensi plat deck yang digunakan yaitu plat deck dengan ketebalan 1 mm, dan berat plat deck deck 9,5 kg/m<sup>2</sup>.

Maka total berat plat lantai dan plat deck yaitu:

$$\begin{aligned} Q_{total} &= Q_{plat\ lantai} + Q_{plat\ deck} \\ &= 1623,3\ ton + 25,704\ ton \\ &= 1657,56\ ton \end{aligned}$$

Berat plat lantai dan plat deck yang bekerja pada *abutment* A1 yaitu 828,78 ton.

Aspal pada bentang A1-P2 dibuat dengan ketebalan 5 cm. Berat aspal tersebut dihitung dengan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} Q &= V \times \text{berat isi aspal} \quad (1) \\ &= (0,05\ m \times 38,886\ m \times 66,5\ m) \\ &\quad \times 2,2\ t/m^3 \\ &= 129,3\ m^3 \times 2,2\ t/m^3 \\ &= 291,926\ ton \end{aligned}$$

Maka berat aspal pada bentang A1-P2 yang bekerja pada *abutment* A1 sebesar 145,963 ton.

Berat parapet dihitung dengan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} Q_{beton} &= V \times \text{berat isi beton} \quad (2) \\ &= 43,23\ m^3 \times 2,4\ t/m^3 \\ &= 103,75\ ton \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{besi} &= V \times \text{berat jenis baja} \quad (3) \\ &= 0,559\ m^3 \times 7,85\ t/m^3 \\ &= 4,39\ ton \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{total} &= Q_{beton} + Q_{besi} \\ &= 103,75\ ton + 4,39\ ton \\ &= 108,14\ ton \end{aligned}$$

Maka berat barrier pada bentang A1-P2 yaitu 43,69 ton, sedangkan berat parapet yaitu 54,07 ton.

Total Berat Struktur Atas Bentang A1-P2 merupakan akumulasi dari berat steel tub *girder*, berat plat lantai, berat aspal, berat barrier dan berat parapet.

$$\begin{aligned} Q_{total} &= Q_{steel\ tub\ girder} + Q_{plat\ lantai} + Q_{aspal} + Q_{barrier} \\ &\quad + Q_{parapet} \\ &= 629,808\ ton + 828,78\ ton + 145,963\ ton \\ &\quad + 43,69\ ton + 54,07\ ton \\ &= 1702,311\ ton \end{aligned}$$

Jadi total berat struktur atas bentang A1-P2 yang bekerja pada *abutment* A1 yaitu 1702,311 ton.

Total beban lalu lintas dihitung berdasarkan penjumlahan antara beban terbagi rata dan beban garis terpusat.

$$\begin{aligned} Q_{bentang\ 66,5\ m} &= (Q_{BTR} \times \text{Lebar} \times \text{Panjang}) + (P \times \text{Lebar}) \\ &= (0,65\ t/m^2 \times 40,686\ m \times 66,5\ m) \\ &\quad + (6,52\ t/m \times 40,686\ m) \\ &= 1758,65\ t + 265,27\ t \\ &= 2027,476\ ton \end{aligned}$$

Maka beban lalu lintas yang bekerja pada *abutment* A1 dari bentang A1-P2 sebesar 1013,738 ton.

Beban total dari struktur atas yang diterima oleh *abutment* A1 yaitu :

$$\begin{aligned} Q_{\text{bentang A1-P2}} &= Q_{\text{struktur atas}} + Q_{\text{jalur lintas}} \\ &= 1702,311 \text{ ton} + \\ &\quad 1013,738 \text{ ton} \\ &= 2716,049 \text{ ton} \end{aligned}$$

Diketahui dari total perhitungan beban mati dan beban hidup dari struktur atas yang diterima oleh *abutment* A1 sebesar 2716,049 ton, maka dari itu *abutment* A1 perlu dievaluasi.

Evaluasi kapasitas *abutment* dilakukan menggunakan *software* SAP2000, dengan pembebanan sebagai berikut

Berat sendiri struktur sudah terhitung secara otomatis pada *software* SAP2000 dengan berat isi beton yaitu  $2,4 \text{ t/m}^3$ .

### Beban Mati dari Stuktur Atas

#### a. Berat Steel Tub Girder

$$\text{Girder tepi} = \frac{159,313 \text{ ton}}{2} = 79,65 \text{ ton}$$

$$\text{Girder tengah} = \frac{149,289 \text{ ton}}{2} = 74,64 \text{ ton}$$

#### b. Berat Diafragma

$$\begin{aligned} \text{tinjauan tepi} &= \frac{\text{berat diafragma tepi}}{2} \times 0,5 \\ &= \frac{4,883 \text{ ton} + 2,07 \text{ ton}}{2} \times 0,5 \\ &= 1,738 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{tinjauan tengah} &= \frac{\text{berat diafragma tengah}}{2} \\ &= \frac{4,113 \text{ ton} + 2,07 \text{ ton}}{2} \\ &= 3,092 \text{ ton} \end{aligned}$$

#### tinjauan girder 2 dan 7

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{berat diafragma tepi+tengah}}{2} \times 0,5 \\ &= \frac{6,953 \text{ ton} + 6,183}{2} \times 0,5 \\ &= 3,284 \text{ ton} \end{aligned}$$

#### c. Berat Plat Lantai Komposit

$$= \frac{\text{berat lantai} + \text{berat plat deck}}{\text{lebar}} \times \frac{\text{lebar tinjauan}}{2}$$

#### Berat plat tinjauan tengah

$$= \frac{1649,004 \text{ ton}}{40,686 \text{ m}} \times \frac{5,01 \text{ m}}{2} = 101,52 \text{ ton}$$

#### Berat plat tinjauan tepi

$$\begin{aligned} &= \frac{1649,004 \text{ ton}}{40,686 \text{ m}} \times \frac{5,424 \text{ m}}{2} \\ &= 109,83 \text{ ton} \end{aligned}$$

#### d. Berat Barrier dan Parapet

$$\begin{aligned} \text{Parapet (1 sisi)} &= \frac{\text{Total berat parapet}}{2} \times 0,5 \\ &= \frac{108,14 \text{ ton}}{2} \times 0,5 \\ &= 27,03 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Barrier} &= \frac{\text{Total berat parapet}}{2} \\ &= \frac{87,38 \text{ ton}}{2} = 44,6 \text{ ton} \end{aligned}$$

### Beban Mati Tambahan

#### Beban aspal

$$\begin{aligned} &= 0,05 \text{ m} \times 5,01 \text{ m} \times \frac{66,5 \text{ m}}{2} \times 2,2 \text{ t/m}^3 \\ &= 18,324 \text{ t (tinjauan tengah)} \end{aligned}$$

#### Beban aspal

$$\begin{aligned} &= 0,05 \text{ m} \times 4,924 \text{ m} \times \frac{66,5 \text{ m}}{2} \times 2,2 \text{ t/m}^3 \\ &= 18,01 \text{ t (tinjauan tepi)} \end{aligned}$$

### Beban Hidup

#### a. Beban Garis Terpusat (BGT)

Besar nilai BGT yaitu  $49 \text{ kN/m}$  dikali faktor beban dinamis. Faktor beban dinamis dengan panjang bentang  $66,5$  meter sebesar  $33\%$ .

$$P = (49 \text{ kN/m} \times (1 + \text{faktor beban})) \quad (4)$$

#### P (tengah)

$$\begin{aligned} &= (49 \text{ kN/m} \times (1 + 0,33)) \times 5,01 \text{ m} \\ &= 326,502 \text{ kN} \\ &= 32,65 \text{ t} \end{aligned}$$

#### P (tepi)

$$\begin{aligned} &= (49 \text{ kN/m} \times (1 + 0,33)) \times 5,242 \text{ m} \\ &= 341,621 \text{ kN} \\ &= 34,162 \text{ t} \end{aligned}$$

#### b. Beban Terbagi Rata (BTR)

$$q = (L > 30 \text{ m}) = 9 \times \left(0,5 + \frac{15}{L}\right) \quad (5)$$

#### Tengah :

$$\begin{aligned} q (L > 30 \text{ m}) &= 9 \times \left(0,5 + \frac{15}{66,5}\right) \\ &= 6,53 \text{ kN/m} \\ &= 0,65 \text{ t/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_{LL} &= 0,65 \times (66,5/2) \times 5,01 \\ &= 108,278 \text{ t} \end{aligned}$$

#### Tepi :

$$\begin{aligned} q (L > 30 \text{ m}) &= 9 \times \left(0,5 + \frac{15}{66,5}\right) \\ &= 6,53 \text{ kN/m} \\ &= 0,65 \text{ t/m} \end{aligned}$$

$$q_{LL} = 0,65 \times (66,5/2) \times 5,242$$

$$= 113,292 \text{ t}$$

c. Gaya Rem Kendaraan

Berat gandar truk sebesar 532,5 ton dan bentang jembatan 66,5 meter terdiri 2 jalur 6 lajur dimana 1 lajur terdapat 4 truk.

$$TB = 25\% \times \text{Berat gandar truk} \quad (6)$$

$$= 133,125 \text{ ton}$$

$$TB = (5\% \times \text{Berat truk}) + q \quad (7)$$

$$P = 4,9 \times \text{lebar lajur}$$

$$= 4,9 \times 20,398$$

$$= 99,95$$

$$q = 0,65 \times 20,398 \times 66,5$$

$$= 881,703$$

$$TB = 5\% \times 99,95 + 881,703$$

$$= 49,082 \text{ ton}$$

Beban Pengereman

$$= TB / \text{jumlah girder}$$

$$= 133,125 / 4$$

$$= 33,281 \text{ ton / girder}$$

**Beban Gempa**

Berdasarkan peta percepatan puncak, peta respon spektra percepatan 0,2 detik dan 1 detik diperoleh :

$$PGA = 0,25$$

$$S_s = 0,4$$

$$S_1 = 0,2$$

Kelas siklus tanah diperoleh berdasarkan nilai N-spt dengan persamaan berikut

$$N = \frac{\sum_{i=1}^m t_i}{\sum_{i=1}^m \frac{t_i}{N}} \quad (8)$$

$$N = \frac{20}{0,831}$$

$$N = 24,06$$

Karena nilai N yaitu 24,06 maka kelas siklus tanah termasuk kategori tanah sedang. Berdasarkan faktor amplifikasi untuk PGA ( $F_{PGA}$ ) dan 0,2 detik ( $F_a$ ) dan untuk periode 1 detik ( $F_v$ ) yang terdapat dalam SNI 2833:2016 dengan kelas situs termasuk kategori tanah sedang, maka diperoleh faktor amplifikasi sebagai berikut :

$$F_{PGA} = 1,3$$

$$F_a = 1,48$$

$$F_v = 2$$

Maka diperoleh :

$$A_s = PGA \times F_{PGA} \quad (9)$$

$$= 0,2 \times 1,3$$

$$= 0,325$$

$$S_{DS} = S_s \times F_a \quad (10)$$

$$= 0,4 \times 1,48$$

$$= 0,592$$

$$S_{D1} = F_v \times S_1 \quad (11)$$

$$= 2 \times 0,2$$

$$= 0,4$$

$$T_s = S_{D1} / S_{DS} \quad (12)$$

$$= 0,4 / 0,592$$

$$= 0,675$$

$$T_o = 0,2 T_s \quad (13)$$

$$= 0,2 \times 0,675$$

$$= 0,135$$

Waktu getar diperoleh dari *software* SAP2000. Waktu getar arah memanjang struktur atas diperoleh sebesar 0,08 (hasil Analisa SAP Modal ke 10) detik. Dikarenakan waktu getar arah memanjang memiliki nilai yang lebih kecil dari  $T_o$ , maka koefisien respons elastik yang digunakan adalah :

$$C_{sm} = (S_{DS} - A_s) \frac{T}{T_o} + A_s \quad (14)$$

$$= (0,592 - 0,325) \times \frac{0,08}{0,135} + 0,325$$

$$= 0,487$$

Berdasarkan faktor modifikasi respon (R) dengan kategori untuk bangunan atas dengan kepala jembatan yang terdapat dalam SNI 2833:2016 yaitu 0,8. Berat struktur atas ( $W_t$ ) sebesar 1702,041 ton. Maka beban gempa dapat dihitung sebagai berikut :

$$EQ_{(x)} = \frac{C_{sm}}{R} \times W_t \quad (15)$$

$$= \frac{0,487}{0,8} \times 1702,041 \text{ ton}$$

$$= 1036,117 \text{ ton}$$

Jumlah girder sebanyak 8 pada bentang A1-P2 Maka beban gempa rencana yang bekerja pada girder sebesar :

$$EQ_{x/\text{girder}} = EQ / \text{jumlah girder}$$

$$= 1027,607 \text{ ton} / 8$$

$$= 129,514 \text{ ton}$$

**Tekanan Tanah Lateral**

Tekanan Tanah yang bekerja di kepala jembatan merupakan tekanan tanah laterat aktif dengan diketahui tinggi tinjauan (h) 6,68 m dan jarak tinjauan (b) 5,78 m.

Mencari beban q :

$$q_{DL} = [(0,3 \times 2,4) + (0,05 \times 2,2)] \times 5,78$$

$$= 4,797 \text{ t/m}$$

$$q_{LL} = 0,9 \times 5,78$$

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

$$\begin{aligned} PH &= P_{LL} \times K & (16) \\ &= 4,9 \times 5,78 \times K \\ &= 28,31 \times 0,39 \\ &= 11,04 \text{ ton} \end{aligned}$$

a. Sebelum terjadi gempa

$$\begin{aligned} Ka &= \tan^2\left(45^\circ - \frac{\phi}{2}\right) & (17) \\ &= \tan^2\left(45^\circ - \frac{17^\circ}{2}\right) \\ &= 0,547 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Pa1 &= (\gamma \cdot h \cdot ka - 2c\sqrt{Ka}) \times 5,78 & (18) \\ &= (39,015 - 9,575) \\ &= 29,44 \text{ t/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Pa2 &= q_{DL} \times ka \\ &= 4,797 \times 0,547 \\ &= 2,623 \text{ t/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Pa3 &= q_{LL} \times ka \\ &= 5,2 \times 0,547 \\ &= 2,844 \text{ t/m} \end{aligned}$$

b. Saat Terjadi Gempa

$$\begin{aligned} K_h &= 0,5 \times A_s & (19) \\ &= 0,5 \times 0,325 \\ &= 0,162 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \theta &= \tan^{-1} k_h & (20) \\ \theta &= \tan^{-1} 0,162 \\ &= 9,2^\circ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_{AE} &= \frac{\cos^2(\theta - \beta_a)}{\cos\theta \cos^2\beta_a \cos(\delta + \theta + \beta_a)} \left( + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \theta)\sin(\theta - \beta_a)}{\cos(\delta + \theta + \beta_a)\cos(\theta - \beta_a)}} \right)^{-2} \\ &= \frac{\cos^2(17^\circ - 9,2^\circ)}{\cos 9,2^\circ \cos^2 0^\circ \cos(0 + 9,2^\circ + 0)} \left( + \sqrt{\frac{\sin(0 + 17^\circ)\sin(17^\circ - 9,2^\circ)}{\cos(0 + 9,2^\circ + 0)\cos(0 - 0)}} \right)^{-2} \\ &= 0,69 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{AE1} &= (\gamma \cdot h \cdot K_{AE}) \cdot b \\ &= (1,85 \times 6,68 \times 0,69) \times 5,78 \\ &= 49,286 \text{ t/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{AE2} &= q_{DL} \times K_{AE} \\ &= 4,797 \times 0,69 \\ &= 3,309 \text{ t/m} \end{aligned}$$

### Perhitungan Konstanta Pegas

$$q_a = \frac{N}{8} \text{ (kg/cm}^2\text{), daya dukung ijin} \quad (21)$$

$$K_{sv} = 40 \times F_s \times q_a \quad (22)$$

$$K_v = K_{sv} \times A \text{ (kg/cm)} \quad (23)$$

$$K_h = 2 \times K_v \text{ (kg/cm)} \quad (24)$$

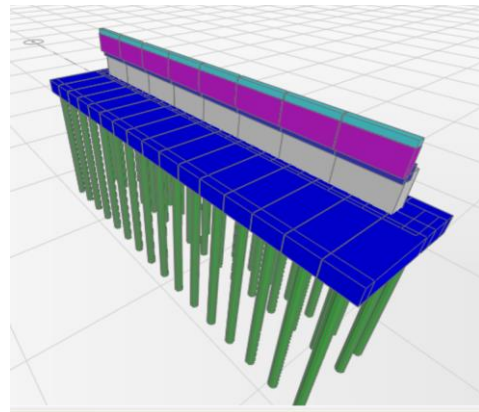
Hasil perhitungan konstanta pegas ( $K_h$ ) dengan faktor keamanan  $F_s = 2$ , ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Perhitungan Konstanta Pegas

Kedalaman (m)	$N_{80}$	$q_a = N_{80}/8$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$K_{sv} = 40 \cdot F_s \cdot q_a$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Pen. Borepile, $A = 1/4 \cdot \pi \cdot d^2$ (cm <sup>2</sup> )	$K_h = 2 \cdot K_{sv} \cdot A$ (kg/cm)
0	0	0.00	0.00	7853.98	0.00
2	4.4	0.55	44.00	7853.98	691150.38
4	5.2	0.65	52.00	7853.98	816814.09
6	8.5	1.06	85.00	7853.98	1335176.88
8	12.35	1.54	123.50	7853.98	1939933.46
10	12.35	1.54	123.50	7853.98	1939933.46
12	24	3.00	240.00	7853.98	3769911.18
14	30	3.75	300.00	7853.98	4712388.98
16	30	3.75	300.00	7853.98	4712388.98
18	30	3.75	300.00	7853.98	4712388.98
20	30	3.75	300.00	7853.98	4712388.98
21	30	3.75	300.00	7853.98	4712388.98

### Analisa Struktur

Permodelan Kepala Jembatan *abutment A1* dibuat dalam bentuk 3D pada *software* SAP2000 terdiri dari *backwall*, *wall*, *pile cap*, dan pondasi *bore pile*.



Gambar 2. Permodelan Kepala Jembatan

Pengecekan kapasitas struktur dilakukan satu per satu pada bagian *back wall*, *wall*, *pile cap* dan pondasi *bored pile* dengan mutu beton  $f'_c$  30 MPa dan mutu baja tulangan  $f_y$  390 MPa.

### Tulangan *Backwall*

Diketahui tebal *backwall* ( $h$ ) = 851 mm, tebal selimut beton ( $p$ ) = 50 mm dengan lebar tinjauan = 5780 mm.

Diameter tulangan longitudinal :  
D16 - 150

Diameter tulangan bagi :

D13 - 150

As per tulangan

$$D16 = \frac{1}{4} \times \pi \times 1,6^2 = 2,001 \text{ cm}^2$$

As per tulangan

$$D13 = \frac{1}{4} \times \pi \times 1,3^2 = 1,326 \text{ cm}^2$$

Lebar tinjauan ( $b$ ) = 5780 mm

Tinggi efektif pelat (d),

$$d = h - p - \frac{\text{diameter tulangan}}{2}$$

$$= 850 - 50 - \frac{16}{2} = 793 \text{ mm}$$

- Tulangan longitudinal

As perlu = 16,818 cm<sup>2</sup>

Diameter tulangan = 16 mm

As per tulangan = 2,001 cm<sup>2</sup>

Jumlah tulangan per 5,78m

$$= \frac{16,818}{2,001}$$

$$= 8,404 \approx 9 \text{ tulangan}$$

Jarak tulangan =  $\frac{578}{8,404} = 68,776 \text{ cm}$   
= 690 mm

Jarak tulangan hasil analisa 690 mm, sehingga digunakan tulangan longitudinal D16 – 690. Tulangan yang terpasang D16-150, sehingga tulangan terpasang memenuhi kelayanan.

- Tulangan sengkang

Berdasarkan hasil analisis, tidak diperlukan sengkang pada *backwall*, tulangan pengekang pada *backwall* yang terpasang D13-150/900 sehingga tulangan pengekang pada *backwall* memenuhi kelayanan.

Tulangan Wall

Tebal wall (h) = 1627 mm, tebal selimut beton (p) = 50 mm lebar tinjauan = 5780 mm.

Diameter tulong = D32 - 150

Diameter tulseng = D13 - 150

As tulangan D32 =  $\frac{1}{4} \times \pi \times 3,2^2$   
= 8,038 cm<sup>2</sup>

As tulangan D13 =  $\frac{1}{4} \times \pi \times 1,3^2$   
= 1,326 cm<sup>2</sup>

Lebar tinjauan (b) = 5780 mm

Tinggi efektif pelat (d),

$$d = h - p - \frac{\text{diameter tulangan}}{2}$$

$$= 1627 - 13 - 50 - \frac{32}{2} = 1561 \text{ mm}$$

- Tulangan longitudinal

As perlu = 143,310 cm<sup>2</sup>

Diameter tulangan = 32 mm

As per tulangan = 8,038 cm<sup>2</sup>

Jumlah tulangan per 5,78m

$$= \frac{143,310}{8,038} = 17,829 \approx 18 \text{ tulangan}$$

Jarak tulangan =  $\frac{578}{17,829} = 32,419 \text{ cm}$

Jarak tulangan hasil analisa 330 mm, sehingga digunakan tulangan longitudinal D32 – 330. Tulangan yang terpasang D32-150, sehingga tulangan terpasang memenuhi kelayanan.

- Tulangan Sengkang

Berdasarkan hasil analisis, tidak diperlukan sengkang pada *wall*, tulangan pengekang pada *wall* yang terpasang D13-150/900 sehingga tulangan pengekang pada *wall* memenuhi kelayanan.

Tulangan *Pilecap*

Kontrol tulangan arah melintang

- Tulangan longitudinal (bottom)

As perlu = 84,473 cm<sup>2</sup>

Diameter tulangan = 32 mm

As per tulangan = 8,038 cm<sup>2</sup>

Jumlah tulangan =  $\frac{84,473}{8,038} = 10,509$

Jarak tulangan =  $\frac{320}{10,509} = 30,923 \text{ cm}$

Jarak tulangan hasil analisa 310 mm, sehingga digunakan tulangan longitudinal D32 – 310. Tulangan yang terpasang D32-150, sehingga tulangan terpasang memenuhi kelayanan.

- Tulangan longitudinal (top)

As perlu = 32,280 cm<sup>2</sup>

Diameter tulangan = 22 mm

As per tulangan = 3,799 cm<sup>2</sup>

Jumlah tulangan =  $\frac{32,280}{3,799}$

= 8,569  
≈ 9 tulangan

Jarak tulangan =  $\frac{320}{8,569} = 37,343 \text{ cm}$

Jarak tulangan hasil analisa 370 mm, sehingga digunakan tulangan longitudinal D22 – 370. Tulangan yang terpasang D22-150, sehingga tulangan terpasang memenuhi kelayanan.

- Tulangan pengekang

As perlu = 28,5 cm<sup>2</sup>/m

Diameter tulangan = 16 mm

As per tulangan = 2,001 cm<sup>2</sup>

Jumlah tulangan  

$$= \frac{28,5}{2,001} = 14,242 \text{ tulangan } (2,5 \times 8)$$

Jarak tulangan  $= \frac{320}{8} = 40 \text{ cm}$

Jarak sengkang hasil analisis 400 mm, sengkang yang terpasang menggunakan D16 – 300 mm, sehingga sengkang yang terpasang dalam kondisi layan.

Kontrol Tulangan Memanjang

- Tulangan longitudinal (bottom)

As perlu  $= 105,713 \text{ cm}^2$   
 Diameter tulangan  $= 32 \text{ mm}$   
 As per tulangan  $= 8,038 \text{ cm}^2$

Jumlah tulangan  

$$= \frac{105,713}{8,038} = 13,151 \approx 14 \text{ tulangan}$$

Jarak tulangan  $= \frac{372}{13,151} = 28,286 \text{ cm}$

Jarak tulangan hasil analisa 280 mm, sehingga digunakan tulangan longitudinal D32 – 280. Tulangan yang terpasang D32-150, sehingga tulangan terpasang memenuhi kelayanan.

- Tulangan longitudinal (top)

As perlu  $= 11,406 \text{ cm}^2$   
 Diameter tulangan  $= 22 \text{ mm}$   
 As per tulangan  $= 3,799 \text{ cm}^2$

Jumlah tulangan  

$$= \frac{11,406}{3,799} = 3,002 \approx 4 \text{ tulangan}$$

Jarak tulangan  $= \frac{372}{3,051} = 123,917 \text{ cm}$

Jarak tulangan hasil analisa 1200 mm, sehingga digunakan tulangan longitudinal D22 – 1200. Tulangan yang terpasang D22-150, sehingga tulangan terpasang memenuhi kelayanan.

- Tulangan pengekang

As perlu  $= 14,1 \text{ cm}^2/\text{m}$   
 Diameter tulangan  $= 16 \text{ mm}$   
 As per tulangan  $= 2,001 \text{ cm}^2$

Jumlah tulangan  

$$= \frac{14,1}{2,001} = 7,046 \approx 8 \text{ tulangan } (3,5 \times 12,5)$$

Jarak tulangan  $= \frac{372}{12,5} = 30 \text{ cm}$

Jarak sengkang hasil analisis 300 mm, sengkang yang terpasang menggunakan D16 – 300 mm, sehingga sengkang yang terpasang dalam kondisi layan.

Tulangan *Borepile*

Diketahui diameter *borepile* 1000 mm dengan panjang 21 meter.

- Tulangan utama

As perlu  $= 78,540 \text{ cm}^2$   
 Diameter  $= 32 \text{ mm}$

As per tulangan  $= 8,384 \text{ cm}^2$   
 Jumlah tulangan  $= \frac{\text{As perlu}}{\text{Ast}} = \frac{78,540}{8,384} = 9,367 \approx 10 \text{ tulangan}$

Jumlah tulangan hasil Analisa 10 D32 , sedangkan yang terpasang 15 D32 , sehingga dinyatakan bahwa tulangan yang terpasang dalam kondisi layan.

- Tulangan geser tumpuan

As perlu  $= 8,8 \text{ cm}^2/\text{m}$   
 Diameter tulangan  $= 13 \text{ mm}$   
 As per tulangan  $= 1,021 \text{ cm}^2$   
 Ash  $= 2,041 \text{ cm}^2$   
 Jumlah sengkang  $= \frac{\text{As perlu}}{\text{Ast}} = \frac{8,8}{2,041} = 4,311$   
 $\approx 5 \text{ tulangan /m}$

Jarak sengkang  $= \frac{100}{5} = 20 \text{ cm}$

Jarak sengkang hasil analisis 200 mm, sengkang yang terpasang menggunakan D13 – 150 mm, sehingga sengkang yang terpasang dalam kondisi layan.

Analisa Kapasitas Daya Dukung

Tabel 2. Perhitungan Nilai  $N_{spt}$  Terkoreksi

No. Lapisan	Deskripsi	Kedalaman (m)	N	Faktor Koreksi Alat Uji SPT				$N_{60}$	$N_{60}$	$c_u = 2/3 N_{60}$ ( $\text{t/m}^2$ )
				$C_e$	$C_b$	$C_s$	$C_r$			
1	Lempung	0	0	0.5	1.0	1.0	0.75	0	4.8	3.20
		2	11	0.5	1.0	1.0	0.80	4.4		
		4	13	0.5	1.0	1.0	0.80	5.2		
		4	13	0.5	1.0	1.0	0.80	5.2		
2	Lempung	6	20	0.5	1.0	1.0	0.85	8.5	9.6	1.82
		8	26	0.5	1.0	1.0	0.95	12.35		
		10	26	0.5	1.0	1.0	0.95	12.35		
		10	26	0.5	1.0	1.0	0.95	12.35		
3	Lempung	12	48	0.5	1.0	1.0	1.00	24	18.175	12.12
		12	48	0.5	1.0	1.0	1.00	24		
		14	60	0.5	1.0	1.0	1.00	30		
4	Pasir	16	60	0.5	1.0	1.0	1.00	30	28	-
		16	60	0.5	1.0	1.0	1.00	30		
		18	60	0.5	1.0	1.0	1.00	30		
5	Pasir	20	60	0.5	1.0	1.0	1.00	30	30	-
		20	60	0.5	1.0	1.0	1.00	30		
		20	60	0.5	1.0	1.0	1.00	30		
6	Pasir	21	60	0.5	1.0	1.0	1.00	30	30	-
		21	60	0.5	1.0	1.0	1.00	30		

Analisa Daya Dukung Pondasi Tiang Tunggal

Tabel 3. Perhitungan Daya Dukung Selimut Tiang

No. Lapisan	Deskripsi	Depth (m)	$N_{60}$	$c_u$ ( $\text{t/m}^2$ )	$q_s$ ( $\text{t/m}^2$ )	$A_s = p \times L_i$ ( $\text{m}^2$ )	$Q_s = q_s A_s$ (ton)
1	Lempung	0 - 4	4.80	3.20	1.76	12.57	22.12
2	Lempung	4 - 10	9.60	1.82	1.00	18.85	18.87
3	Lempung	10 - 12	18.18	12.12	6.66	6.28	41.87
4	Pasir	12 - 16	28.00	-	8.96	12.57	112.59
5	Pasir	16 - 20	30.00	-	9.60	12.57	120.64
6	Pasir	20 - 21	30.00	-	9.60	3.14	30.16
<b>Total =</b>							<b>346.25</b>



### Daya dukung ujung tiang

$$Q_b = q_p \times A_p \rightarrow q_p = 7 \times N_{60} \text{ (t/m}^2\text{)} \quad (25)$$

$$\rightarrow A_p = \pi \cdot d^2 / 4 \text{ (m}^2\text{)} \quad (26)$$

$$N_{60} = 30$$

$$q_p = 210 \text{ t/m}^2$$

$$A_p = 3,14 \text{ m}^2$$

$$Q_b = 659,73 \text{ ton}$$

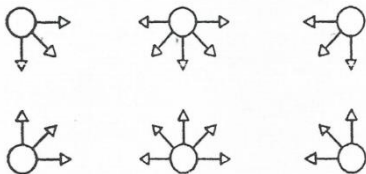
Jadi daya dukung ultimit :

$$\begin{aligned} Q_u &= \Sigma Q_s + Q_b \\ &= 1005,98 \text{ ton} \end{aligned} \quad (27)$$

Daya dukung ijin :

$$\begin{aligned} Q_a &= 1005,98 / 2 \\ &= 502,99 \text{ ton} \end{aligned}$$

Daya dukung ijin tiang tunggal dalam grup (lebar tinjauan 5,78 m). Jumlah tiang dalam grup (n) = 6 buah.



Perhitungan efisiensi dengan metode Feld:

$$E_g = \frac{4 \cdot \frac{13}{16} + 2 \cdot \frac{11}{16}}{6} = 0,771$$

Daya dukung ijin tiang tunggal dalam grup:

$$Q_{a_g} = E_g \times Q_a \quad (28)$$

$$Q_{a_g} = 0,771 \times 502,99$$

$$= 387,86 \text{ ton}$$

$P_{maks}$  yang diterima satu tiang bor diperoleh dari *software* SAP2000 sebesar 314,777 ton <  $Q_{a_g}$ , maka pondasi tiang bor masih kuat menahan beban jembatan.

### Analisis Daya Layan

Setelah dilakukan evaluasi terhadap struktur *abutment* A1 yang menerima beban jembatan yang mengalami penambahan bentang diperoleh hasil seperti tabel 4 dibawah ini :

Tabel 4. Perbandingan Jumlah Tulangan Terpasang Dengan Tulangan Hasil Analisa

Bagian <i>Abutment</i>	Tulangan Longitudinal				Keterangan
	Hasil Analisa		Aktual		
Tulangan <i>Backwall</i> depan dan belakang	D16 – 690		D16 - 150		Layan
Tulangan <i>Wall</i> depan dan belakang	D32 – 330		D32 - 150		Layan
Tulangan <i>Borepile</i>	10 D32		15 D32		Layan
	Top	Bottom	Top	Bottom	
Tulangan <i>Pilecap</i> Arah Melintang	D22 – 370	D32 – 310	D22-150	D32-150	Layan
Tulangan <i>Pilecap</i> Arah memanjang	D22 –1200	D32 –280	D22-150	D32-150	Layan

	Tulangan Pengekang		
	Hasil Analisa	Aktual	Keterangan
Tulangan <i>Backwall</i>	Tidak perlu sengkang	D13-150	Layan
Tulangan <i>Wall</i>	Tidak perlu sengkang	D13-150	Layan
Tulangan <i>Pilecap</i> Arah Melintang	D16 – 400	D16 - 300	Layan
Tulangan <i>Pilecap</i> Arah Memanjang	D16 –300	D16-300	Layan
Tulangan <i>Borepile</i>	D13 – 200	D13 - 150	Layan

## 4. KESIMPULAN

Setelah dilakukan evaluasi berdasarkan data perubahan bentang struktur atas pada jembatan Flyover X, hasil analisa menunjukkan bahwa struktur kepala jembatan A1 masih layan setelah adanya penambahan bentang struktur atas. Dikarnenakan kepala jembatan A1 masih dalam kondisi layan dimana tulangan yang terpasang lebih besar dari tulangan hasil analisa, maka tidak diperlukan perkuatan.

## 5. DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pengatur Jalan Tol. 2021. “Capaian BPJT Kementerian PUPR Tahun 2020.” *Bpjt.Pu.Go.Id*. Retrieved March 5, 2021 (<https://bpjt.pu.go.id/berita/capaian-bpjt-kementerian-pupr-tahun-2020>).
- Badan Standardisasi Nasional Indonesia. 2016. “Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa SNI 2833.” 1–70.
- Badan Standardisasi Nasional Indonesia. 2016. “Standar Pembebanan Untuk Jembatan.”
- Badan Standardisasi Nasional Indonesia. 2005. “Perencanaan Struktur Beton Untuk Jembatan.” 1–140.
- Badan Standardisasi Nasional Indonesia. 2008. “Cara Uji Penetrasi Lapangan Dengan SPT.”
- Bowles, Joseph E. 2005. “Analisis Dan Desain Pondasi II.” *Erlangga, Jakarta* 2:474.
- Das, Braja M. 2011. *Principles of Foundation Engineering 7th*. Australia: Cengage Learning.

- Fikri, Muhammad Sabil Awang, Syukri, and Musbar. 2017. "Perencanaan Box Girder Pada Flyover Simpang Surabaya Kota Banda Aceh." 02:21–27.
- Hardiyatmo, Hary Christady. 2003. "Mekanika Tanah II." *Gadjah Mada University Press* 91(5):1–398.
- Michael W. O'Neil and Lymon C. Reese. 1999. *Drilled Shafts: Construction Procedures and Design Methods*. Federal Highway Administration.
- Nakazawa, Kazuto, and Suyono Sosrodarsono. 1990. *Mekanika Tanah & Teknik Pondasi*.
- Nugraha, Widi, and Riza Chairulloh. 2018. "Analisis Metode Pengangkatan Gelagar Boks Baja Modular Untuk Jembatan Lintas Atas Sungai ( Ereksi Method Analysis of Modular Steel Box Girder for Bridge Over the River )." *Teknik Sipil Dan Perencanaan* 2(2):84–98.
- Suhairiani, and Rudi Iskandar. 2017. "Analisis Perbandingan Daya Dukung Hasil Loading Test Pada Bore Pile Diameter Satu Meter Tunggal Dengan Metode Elemen Hingga Memakai Model Tanah Mohr Coulomb Pada Proyek Crystal Square Medan." *Educational Building* 3(1):84–92. doi: 10.24114/eb.v3i1.7699.
- Sulendra, I. Ketut, and Hilda Listiawaty. 2000. "Redesign and Retrofitting of Sumara Abutment RC Brigde Structure."
- Supriyadi, Bambang., and Agus Setyo Muntohar. 2007. "Jembatan (Edisi Pertama)." 1–34.
- Tanjung, Darlina, Jupriah Sarifah, and Kokoh Salman Rumi. 2019. "Analisis Daya Dukung Pondasi Bored Pile Tunggal Pada Proyek Underpass Katamso Jalan Jenderal Besar A . H . Nasution Medan – Sumatera Utara." *Buletin Utama Teknik* 15.
- Ummah, R. A. 2016. "Perencanaan Ulang Timbunan Oprit Dan Abutment Jembatan Plasma Batu Tuguplasma Tanjung Kurung, Palembang (Yang Mengalami Keruntuhan Sebelumnya)." Institut Teknologi Sepuluh Nopember.