

## ANALISIS PERHITUNGAN GEMPA STUKTUR BANGUNAN BAWAH JEMBATAN

Oleh :  
Zet Mallisa

### ABSTRAK

Negara Indonesia sangat berpotensi atau beresiko terhadap bahaya gempa namun sampai saat ini belum memiliki suatu standar yang baku, keseragaman serta regulasi dalam mendesain bangunan – bangunan Teknik Sipil baik struktur utama ataupun struktur penopang. Dalam tulisan ini akan dianalisis perhitungan gempa pada bangunan bawah jembatan seperti yang diberikan oleh Bridge Management System mengenai peraturan perencanaan teknik jembatan yang dikeluarkan oleh Departemen Pekerjaan Umum Indonesia yang bekerjasama dengan Australia serta beberapa catatan – catatan yang diambil dari beberapa literatur yang mengulas tentang metode perhitungan gempa pada bangunan bawah seperti abutmen, oprit, pondasi, tekanan air pada pilar jembatan kemudian dikaji implementasinya dilapangan apakah dapat diterapkan dan efektif. Dari hasil review ditemui terdapat kesulitan – kesulitan serta kurangnya pemahaman dari pengguna sehingga dilakukan penyederhanaan dalam proses perhitungannya.

**Kata Kunci :** Gempa, Jembatan, Abutmen, Oprit, Pondasi, Review.

### I. PENDAHULUAN

#### *1.1. Latar Belakang*

Indonesia sebagai Negara yang berpotensi atau beresiko gempa maka diperlukan upaya – upaya untuk mitigasi bahaya gempa. Disadari bahwa resiko gempa sulit dihindari namun dapat diminimalkan. Salah satu yang dapat dilakukan untuk meminimalkan resiko bahaya kerusakan yang ditimbulkan oleh gempa pada struktur – struktur bangunan teknik sipil seperti pada bangunan bawah jembatan mulai dari abutmen, oprit (tanah timbunan dibelakang abutmen), pilar dan pondasi adalah dengan mencoba mereview kembali teori – teori ataupun metode perhitungan yang dijadikan standar dalam perencanaan di Indonesia selanjutnya dikaji implementasinya. Salah satu standar dalam mendesain bangunan bawah jembatan yang digunakan di Indonesia adalah Bridge Management System yaitu mengenai peraturan perencanaan teknik jembatan yang dikeluarkan oleh Department Pekerjaan Umum yang bekerja sama dengan Australia.

#### *Review Metode Bridge Management System*

Dalam perencanaan jembatan BMS mengelompokkan jembatan menjadi tiga jenis struktur sesuai dengan perilaku seismik daktailnya yaitu :

1. Struktur jembatan jenis A daktailnya penuh dan monolitik
2. Struktur jembatan jenis B daktail penuh dan terpisah
3. Struktur jembatan jenis C tidak daktail

Selain ketiga jenis tersebut diatas ada jenis jembatan yang tidak dicakup dalam panduan BMS ini seperti :

1. Jenis struktural khusus (jembatan kabel, jembatan lengkung, jembatan dengan menggunakan energi khusus)
2. Jembatan dengan geometri khusus (jembatan pilar tinggi, jembatan kekakuan pilar berbeda dari persyaratan, jembatan dengan kemiringan besar, jembatan lengkung horisontal besar)
3. Jembatan pada lokasi rumit (jembatan dekat patahan aktif, jembatan pada lereng tidak stabil, pondasi pasir lepas)
4. Jembatan sangat penting (jembatan dengan kepentingan ekonomis tinggi)

Untuk mendesain jembatan jenis A dan B ada beberapa tahap diikuti yakni :

<sup>1)</sup> Staf Pengajar pada Prog. Studi. Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Tadulako, Palu

**Tahap 1.** Tentukan jenis jembatan dan jenis pondasi yang sesuai, denah dan lokasi sendi plastis untuk memungkinkan mekanisme plastis agar berkembang.

Pemilihan jenis jembatan seperti jenis A lebih cocok untuk wilayah gempa 1, sedangkan jenis B lebih cocok untuk wilayah gempa 3, untuk jenis C ataupun jembatan kecil tidak tahan pada gempa jika dibandingkan dengan jenis A dan B. Pemilihan jenis pondasi untuk jembatan jenis A dan B sebaiknya didukung oleh pondasi daktail dengan menggunakan pondasi tiang vertikal atau pondasi berputar. Denah dan pendetailan seksama akan membatasi kerusakan sekunder sampai minimal gempa besar.

**Tahap 2.** Pilih ukuran unsur dan perkiraan periode alami dari getaran.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{W_{TP}}{gK_p}} \quad (1)$$

Dimana :  $W_{TP}$  = Berat bangunan atas  
 $g$  = percepatan gravitasi (m/detik<sup>2</sup>)  
 $K_p$  = kekakuan (3 EI /L<sup>3</sup> untuk pilar kantilever, 12 EI/L<sup>3</sup> untuk pilar monolitik)

**Tahap 3.** Periksa simpangan seismik.

$$\Delta_h = 250 K_h T^2 \quad (2)$$

**Tahap 4.** Tentukan wilayah gempa, kondisi tanah, kedalaman jepit, faktor tipe bangunan dan kepentingan jembatan dan tentukan beban lateral ekuivalen.

$$T_{EQ}^* = C I S W_t \quad (3)$$

Dimana  $T_{EQ}^*$  = gaya inersia  
 $C$  = koefisien geser dasar  
 $I$  = faktor kepentingan (1.2 untuk jembatan memikul lebih dari 2000 kendaraan, 1.0 untuk semua jembatan permanent, 0.8 untuk jembatan sementara mis bailey)

$S$  = faktor tipe bangunan (1.0 bila bagian tertanam dapat menahan bangunan,  $S=3$  bila simpangan bagian tertanam tidak dapat menahan bangunan)

$W_t$  = berat nominal struktur yang mengalami gempa

**Tahap 5.s/d tahap15.** adalah tahap analisa struktur akibat beban gempa (pembebanan lateral) yang dihitung pada tahap 1 s/d tahap 5.

Selain tahapan – tahapan diatas juga yang perlu dianalisa adalah pengaruh gempa pada tanah dioprit (timbunan tanah dibelakang abutment) yaitu koefisien tekanan tanah dinamik.

$$K^* aG = \frac{\text{Cos}^2(\phi - \theta)}{\text{Cos}^2(\theta) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\text{Sin}(\phi - \theta)}{\text{Cos}(\theta)}} \right]} \quad (4)$$

$$\theta = \tan^{-1} K_h \quad (5)$$

$$\Delta K^* aG = K^* aG - K_a \quad (6)$$

Dimana :  
 $\Delta K^* aG$  = Koefisien tekanan tanah dinamik  
 $K_h$  = Koefisien geser dasar  
 $K_a$  = Koefisien tekanan tanah normal.

Gaya lainnya adalah gaya Air Horizontal dan untuk menghitungnya tergantung dari tipe bangunan.

Bangunan tipe dinding yang menahan air pada satu sisi,

$$G_{ah} = 0.58 K_h I W_o b h^2 \quad (7)$$

Kolom dimana  $b/h \leq 2$

$$G_{ah} = 0.75 K_h I W_o b^2 h [1 - b/(4h)] \quad (8)$$

Kolom dimana  $2 < b/h \leq 3$

$$G_{ah} = 1.17 K_h I W_o b h^2 \quad (9)$$

## II. ANALISA PERHITUNGAN GEMPA

### Review Analisa Perhitungan Gempa Bangunan Bawah Jembatan Standar BMS

Berikut ini contoh perhitungan bangunan bawah jembatan seperti yang diberikan oleh BMS.

Panjang jembatan = 3 x 20,39 m (tipe A)  
 Lebar = 7,0 m  
 Tinggi pilar = 8,4/8,4 m  
 Faktor tipe bangunan tipe S = 3  
 Wilayah gempa = 4 maka C = 0.15  
 Faktor kepentingan = 1 (jembatan standar)  
 Pondasi sumuran  
 Berat bangunan atas (balok baja = 109 kN,  
 lantai beton 509 kN).  
 Beban mati tambahan = 167 kN  
 Berat balok kepala/abutmen = 740 kN  
 Berat pondasi sumuran = 2080 kN  
 Berat pilar kepala = 560 kN  
 Kolom = 310 kN  
 Balok cap tiang = 1280 kN  
 Tekanan tanah aktif pada pangkal/abutmen  
 = 320 kN  
 Tekanan tanah aktif pada sumuran  
 = 1870 kN  
 Tekanan tanah pasif pada sumuran  
 = 3960 kN

#### **Perhitungan koefisien pembebanan seismik :**

Berat bangunan atas + setengah bangunan  
 bawah  

$$W_{TP} = (109 + 509 + 167) \times 2 \times 3 + (740 + 208 + 560 + 310 + 1280)/2 \times 2$$

$$= 9680 \text{ kN}$$
 Kekakuan pilar (  $K_p$  ) =  $3EI/L^3 = 71,80$   
 kN/m  
 Kekakuan pangkal (  $K_a$  ) = tekanan tanah  
 aktif / 1% tinggi 73,00 kN/m  
 Periode getar T = 0.5 Sec  
 Koefisien pembebanan seismic horisontal  
 (  $K_h$  )  
 $K_h = C S = 0.45$   
 Koefisien tekanan tanah dinamik  $\Delta K^* A_g$   
 $= K_a - K^* a_G = 0.12$   
 Gaya gempa memanjang dari bangunan atas  
 kedalam pangkal atau kedalam pilar  
 Berat bentang punggir =  $(109 + 509 + 167)$   
 $\times 2$   
 $= 1570 \text{ kN}$   
 Gaya seismic =  $K_h I W_T = 710 \text{ kN}$   
 Gaya gempa melintang dari bangunan  
 atas = 355 kN  
 Gaya gempa pada balok kepala :  
 Berat balok kepala = 740 kN  
 Gaya gempa = 330 kN

Gaya gempa pada sumuran (dapat  
 diabaikan karena sumuran bergerak  
 bersama fase tanah, berdasarkan **Artikel**  
**A.2.4. Lampiran A Peraturan**  
**Perencanaan Teknik Jembatan**  
**Persyaratan Tahan Gempa** dapat  
 diabaikan dibawah kedalaman jepit df dalam  
 hal ini df sama dengan kedalaman balok  
 kepala). Tekanan tanah akibat gempa (hanya  
 bekerja pada tembok pangkal karena pada  
 sumuran dianggap bergerak bersama fase  
 tanah ).

Tinggi tembok = 2,4 m  
 Panjang tembok = 9,7 m  
 Gaya tekanan tanah =  $9,7 \times 2,4^2 / 2 \times W_s \times$   
 $\Delta K^* a_G = 60 \text{ kN}$  (Distribusi tegangan adalah  
 segitiga terbalik)  
 Gaya gempa pada kepala pilar  
 $= 0,45 \times 1 \times 560 = 250 \text{ kN}$   
 Gaya gempa pada balok pilar hanya satu  
 $= 0,45 \times 1 \times 310 = 140 \text{ kN}$   
 Gaya gempa pada balok cap tiang  
 $= 0,45 \times 1 \times 1280 = 580 \text{ kN}$ .

#### **Review Analisa Perhitungan Gempa Bangunan Bawah Jembatan dilapangan**

Perhitungan beban gempa pada  
 jembatan Diwit Tipe jembatan kelas B  
 Konvensional.  
 Bentang jembatan = 25m  
 Lebar plat lantai = 7,40 m  
 Beban mati bangunan atas  $W_t = 228,815 \text{ ton}$   
 Berat sendiri abutment  $W_a = 110,496 \text{ ton}$   
 Koefisien gempa = 0.28 (zone III).  
 Beban gempa pada abutmen akibat berat  
 gelagar =  $0.28 \times W_t = 64,07 \text{ ton}$ .  
 Beban gempa pada abutmen akibat berat  
 sendiri abutmen  
 $= 0,28 \times W_a = 35,508 \text{ ton}$   
 Koefisien tekanan tanah aktif dengan gempa  
 $\Delta K^* a_G$   
 $= \cos^2 (\theta - \emptyset) / [\cos^2(\emptyset) \times (1 +$   
 $(\sin\theta) \times \sin(\theta - \emptyset) / \cos(\emptyset) ]$   
 $= 1.232$   
 Gaya tekanan tanah gempa = 27,841 ton  
 Gaya tekanan tanah dengan gempa  
 $= 155,067 \text{ ton}$ .

Dari kedua contoh perhitungan diatas  
 maka dapat dilihat bahwa belum ada  
 keseragaman serta belum sesuai seperti

dalam perhitungan gaya seismic dalam hal penggunaan koefisien gempa, perhitungan gempa pada tekanan tanah dibelakang aboutmen/oprit.

Hal lain juga direkomendasikan oleh BMS adalah pada perhitungan gempa pada pondasi dapat diabaikan sementara dalam teori – teori lain seperti yang terdapat dalam buku Poulos and Davis *Pile Foundation Analysis and Design.1980* yakni menurut Nair 1969 bahwa perhitungan gaya gempa pada pondasi dibawah dapat dihitung dengan 3 pendekatan yakni ekuivalen beban statis dapat diambil 10% dari beban vertikal, ekuivalen beban dinamik dengan asumsi sinusoidal yakni

$F(t) = F_0 \sin \omega t$  dan sebagai beban horisontal atau percepatan gempa pada bedrock dengan mengabaikan beban vertikal. Hal yang sama dengan buku *The Seismic Design Handbook* oleh Farzad Naeim Ph.D.P.E. dalam mendesain pondasi tiang pancang harus mengikuti standar dari SEAOC-86 (UBC-88), NEHRP-85 dan UBC-85.

### III. KESIMPULAN DAN SARAN

#### 3.1. Kesimpulan

Dari hasil pengamatan yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

1. Dalam mendesain bangunan teknik sipil khususnya bangunan bawah jembatan belum adanya suatu standar yang harus diikuti sehingga terjadi perbedaan desain khususnya dalam pengambilan koefisien gempa serta perhitungan pondasi dan tekanan tanah akibat gempa.
2. Diperlukan pengkajian kembali agar supaya dapat dibuat suatu standar tentang bagaimana mendesain bangunan bawah jembatan yang mudah dimengerti serta dapat mengakomodir semua jenis jembatan yang akan didesain di Indonesia.

#### 3.2. Saran

1. Melihat hasil di atas, maka Standar yang dibuat harus didukung oleh suatu aturan hukum yang baik agar tidak terjadi penyimpangan dalam desain.
2. Mengingat adanya pembagian zona wilayah daerah gempa di Indonesia umumnya, maka aturan harus diperketat.

### DAFTAR PUSTAKA

- Bridge Management System. 1992. Sektion 4. Design of Earthquake Resistant Bridge Structures by Directorate General of Highways Ministry of Publik Works Republic of Indonesia, a Project Jointly Funded by Indonesia and Australia.
- Bridge Management System. 1992. Sektion 2. Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan by Directorate of Highways Ministry of Publik Works Republic of Indonesia, a Project Jointly Funded by Indonesia and Australia.
- Bridge Management System. 1992. Design Project by directorate General of Highways Ministry of Publik Works Republic of Indonesia, a Project Jointly Funded by Indonesia and Australia.
- Farzad Naeim, Ph.D.,P>E. 1989 The Seismic Design Hand-book.
- Poulos dan Davis. 1980. Pile Foundation Analysis dan Design.

## LAMPIRAN

### Artikel A.2.4. Kedalaman Jepit

Kedalaman jepit, ditemukan sebagai kedalaman dibawah permukaan tanah, sampai kedalaman padamana stuktur tidak dapat bergerak bebas terhadap tanah. Tidak perlu untuk mengadakan gaya seismik pada stuktur atau bahan pondasi dibawah kedalaman tersebut. Berbagai contoh tipikal untuk diberikankan dalam Gambar A.1.

Tanah lunak dekat permukaan tidak diperhitungkan dalam ketahanan gempa pada pondasi. Kedalaman jepit harus diukur sampai batas lebih bawah dari tanah tersebut, ditentukan sebagai berikut :

1. Tanah kepasiran yang pekah terhadap liquefaction:  
nilai  $d_j$ , diberikan dalam Tabel A.1. Bila faktor ketahanan liquefaction dari pasir telah ditentukan sesuai pasal A.2.2., ketentuan rencana yang dihitung harus direduksi lagi seperti dalam Tabel A.1 (pustaka D).
2. Tanah Kohesif sangat lunak :  $(d_j)_{max} = 3m$ .  
ini terdiri lempung atau silt dengan kekuatan tekan "unconfined" lebih kecil dari 20 kPa (kohesi undrained,  $c_u$  lebih kecil dari 1 OkPa).

Walaupun kekuatan tanah tersebut diabaikan dalam perhitungkan tahan gempa, pengaruh berat tanah tersebut harus diperhitungkan bila menghitung beban-beban pada pondasi.

Tabel A.1 Liquefiable

Tabel A.1 Pasir peka terhadap liquafaction.

$F_L$	Thickness of sand layer Table lapis Pasir $d_s$ (1)	Depth to Fexity Kedalaman Jepit $d_j$	Dynamic Reduction factor Faktor Reduksi dinamik(2)
Not determined Tidak tentukan	$\leq 10$ m $> 10$ m	$d_s$ 10 m	0.0 0.33
$F_L \leq 0.6$	$\leq 10$ m $> 10$ m	$\leq 10$ m $> 10$ m	0.0 0.33
$0.6 < F_L \leq 0.8$	$\leq 10$ m $> 10$ m	0	0.33 0.67
$0.8 < F_L \leq 1.0$	$\leq 10$ m $> 10$ m	0	0.67 1.0
$1.0 < F_L$	-	0	1.0

Catatan :

Tabel diukur terhadap permukaan tanh, biarpun pasir dilapisi oleh suatu lapis tipis dari bahan lain

Faktor reduksi dinamik digunakan pada kekuatan rencana pasir yang dihitung sesuai dengan Bagian 4. Faktor ini diharapkan sebagai suatu reduksi kekuatan lebih yang diperhitungkan kehilangan kekuatan (liquefaction) pada beban dinamik.