

# **ANALISIS KEKUATAN JEMBATAN BETON PRATEGANG (JEMBATAN TUGU SUHARTO)**

**Bambang Wuritno**

Dosen Teknik Sipil Universitas 17 Agustus 1945 Semarang

## **PENDAHULUAN**

### **Latar Belakang**

Pembangunan saat ini tidak hanya dipusatkan di kota tetapi diharapkan juga sampai daerah – daerah sehingga dampak dan manfaatnya dapat dinikmati oleh seluruh masyarakat Indonesia, Hal tersebut sesuai dengan dengan kebijakan pemerintah untuk memberikan kebebasan seluas – luasnya kepada daerah untuk mengatur kebijakan pemerintah dan pembangunan daerah masing – masing atau lebih dikenal dengan otonomi daerah.

Seiring dengan penambahan dan pertumbuhan penduduk seluruh wilayah Indonesia semakin cepat, yang diikuti oleh pertumbuhan kota, diantaranya pertumbuhan perindustrian, pertumbuhan perekonomian, maupun pertumbuhan pemukiman.

Dengan pertumbuhan dan perkembangan tersebut diatas, berarti meningkat pula aktivitas – aktivitas penduduk untuk memenuhi kebutuhan hidup yang berakibat adanya tuntutan atas tersedianya kualitas sarana dan prasarana yang memadai, antara lain prasarana perhubungan darat sebai upaya pelayanan sirkulasi arus barang dan aktivitas – aktivitas lainnya.

Dalam rangka meningkatkan pelayanan terhadap pengguna jalan terutama yang berkaitan dengan hal kepadatan lalu lintas yang dapat mengurangi daya dukung jalan yang pada akhirnya akan mengurangi kenyamanan, maka

### **Rumusan Masalah**

Bagaimana menganalisis kekuatan jembatan beton prestress agar dapat diketahui apakah jembatan tersebut cukup kuat untuk menahan beban yang bekerja. Dalam hal ini penulis akan menganalisis kekuatan Jembatan Tugu Suharto Banjir Kanal Barat pada bentang I dari segi

struktur jembatan apakah memenuhi syarat syarat konstruksi beton dan pondasi sehingga akan diketahui apakah jembatan tersebut layak untuk dipergunakan.

## **Maksud Dan Tujuan**

Untuk menganalisis kekuatan jembatan sehingga dapat diketahui kekuatan dari struktur jembatan tersebut.

## **Batasan Masalah**

Dalam penulisan penelitian ini, tentang analisis kekuatan Jembatan Tugu Suharto ini dibatasi pada bentang I:

- Analisis Stuktur Atas
  - Analisis pembatas jalan
  - Analisis pelat lantai kendaraan
  - Analisis balok prestress
- Analisis Struktur Bawah
  - Analisis abutment
  - Analisis pilar
  - Analisis pondasi

## **STUDI PUSTAKA**

### **Pedoman Analisis**

Analisis perhitungan perencanaan kontruksi maupun pengamatan terhadap suatu objek di tuntutan mengikuti kaidah – kaidah yang telah di bakukan, untuk menghasilkan suatu karya penulisan yang baik kaidah – kaidah tersebut harus di perhatikan dengan baik supaya tidak terjadi kesalahan di dalam penganalisaan data, perhitungan serta pada pengambilan kesimpulan.

Analisa konstruksi jembatan ini didasarkan pada peraturan dan ketentuan – ketentuan dari Direktorat Jenderal Bina Marga. Departemen Pekerjaan Umum. Pedoman peraturan yang di gunakan tersebut antara lain :

1. Standar Pembebanan Untuk Jembatan (RSNI T-02-2005)

### **1. Pedoman Perencanaan Pembebanan Jembatan.**

Prinsip dasar pembebanan untuk konstruksi jembatan disesuaikan dengan Standar Pembebanan Untuk Jembatan.

Pembebanan – pembebanan pada jembatan tersebut meliputi :

#### A. Aksi Dan Beban Tetap

Beban tetap jembatan terdiri dari :

- a. Berat sendiri
- b. Beban Mati Tambahan
- c. Pengaruh Penyusutan dan Rangkak
- d. Pengaruh Prategang
- e. Tekanan Tanah
- f. Pengaruh Tetap Pelaksanaan

Pengaruh tetap pelaksanaan adalah disebabkan oleh metode dan urutan pelaksanaan jembatan. Metoda dan urutan pelaksanaan mempunyai kaitan dengan aksi-aksi lainnya, seperti pra penengangan dan berat sendiri, dan dalam hal ini pengaruh tetap dikombinasikan dengan aksi-aksi tersebut dengan faktor beban yang sesuai.

#### B. Beban Lalu-Lintas.

Beban Lalu-Lintas untuk perencanaan jembatan terdiri dari :

- a. Muatan T

Pembebanan truk “T” terdiri dari kendaraan truk semi trailer yang mempunyai susunan dan berat as seperti terlihat dalam gambar 2.8. berat dari masing-masing as disebarkan menjadi 2 beban merata sama besar yang merupakan bidang kontrak antara roda dengan permukaan lantai. Jarak antara 2 as tersebut bisa diubah - ubah antara 4.0 m sampai 9.0 m untuk mendapatkan pengaruh terbesar pada arah memanjang jembatan.

- b. Beban D

Beban lajur D terdiri dari beban terbagi rata ( BTR ) yang digabung dengan beban garis ( BGT ). Bagan beban D dapat dilihat pada gambar 2.9.

- Beban terbagi rata mempunyai intensitas mempunyai intensitas  $q$  kPa, dimana besarnya  $q$  tergantung pada panjang total yang dibebani  $L$  seperti berikut :

$q = 0.918 \text{ t/m}$  .....untuk  $30 < L < 60 \text{ m}$

Dimana :

L : Panjang dalam meter

t/m : ton per meter panjang perjalur

Beban "D" harus disusun pada arah melintang sedemikian rupa sehingga menimbulkan momen maksimum. Ketentuan penggunaan beban 'D' untuk jembatan dengan lebar lantai kendaraan lebih besar dari 5,5 meter, beban 'D' sepenuhnya (100%) di bebaskan pada lebar jalur 5,5 meter sedangkan lebar selebihnya dibebani hanya separuh beban 'D' (50 %). Beban hidup per meter lebar jembatan menjadi sebagai berikut

- Beban terbagi rata =  $\frac{q \text{ ton/meter}}{2,75 \text{ meter}}$

- Beban garis =  $\frac{P \text{ ton}}{2,75 \text{ meter}}$

Angka pembagi 2,75 meter diatas selalu tetap dan tidak tergantung pada lebar jalur lalu-lintas.

c. Gaya Rem dan Traksi

Pengaruh percepatan dan pengereman dari lalu-lintas harus di perhitungkan sebagai gaya dalam arah memanjang dan dianggap berkerja pada permukaan lantai kendaraan. Pengaruh ini diperhitungkan senilai dengan pengaruh gaya rem sebesar 5% dari beban 'D' tanpa koefisien kejut yang memenuhi semua jalur lalu lintas yang ada, dan dalam satu jurusan. Gaya rem tersebut di anggap berkerja horizontal dalam arah sumbu jembatan dengan titik tangkap setinggi 1,80 meter di atas permukaan lantai kendaraan.

C. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan beserta bagian-bagian yang ditinjau terhadap kombinasi pembebanan dan gaya yang mungkin berkerja. Sesuai dengan sifat-sifat seta kemungkinan pada tiap beban tegangan yang digunakan dalam pemeriksaan kekuatan yang bersangkutan dinaikkan terhadap tegangan yang di ijinakan sesuai keadaan elastis. Tegangan yang digunakan dinyatakan dalam proses terhadap tegangan yang diijinkan sesuai kombinasi pembebanan.

|               |  |
|---------------|--|
| Kombinasi I   | = 1.4 DL                                     |
| Kombinasi II  | = 1.2 DL + 1.6 LL                            |
| Kombinasi III | = 1.2 DL + 1.6 LL + 0.8 MA + 0.8 MR + 0.8 Ta |

## **Landasan Teori Analisis**

### **Analisis Struktur Atas**

### **Analisis Lining Jembatan**

Analisis lining jembatan yang perlu diperhatikan adalah kekuatan bahan, kemudahan pemasangan, keindahan serta kepraktisan konstruksinya. Pembatas jalan harus mampu menahan beban horizontal sebesar 100 kN yang bekerja pada ketinggian dari pelat lantai.

#### **2.1.1.1. Analisis dari pelat lantai kendaraan**

Beban - beban yang diperhitungkan dalam analisis pelat lantai kendaraan adalah :

- beban P (beban hidup) yaitu beban suatu roda kendaraan sebesar 10 ton
- beban mati

$$W_u = WDL + WLL$$

$$M_U = 1/8 \times W_u \times Lx^2$$

Jenis penulangan yang di pakai apabila :

$L_y / L_x < 2$  maka dipakai tulangan 2 arah

$L_y / L_x > 2$  maka dipakai tulangan 1 arah

### **Analisis Balok Prestress**

Balok girder pada jembatan ini merupakan salah satu elemen struktur yang berguna untuk menahan beban kerja sendiri, pelat lantai dan beban-beban yang bekerja di atasnya. Metoda perhitungan struktur balok girder mulai dari mendimensi sehingga perencanaan yang di pakai adalah sebagai berikut:

1. Diketahui spesifikasi dan material jembatan
2. Hitung section properties balok girder.
3. Analisa penampang balok girder.
4. Hitung beban – beban yang berkerja pada gelagar utama, yaitu :

- a) Beban mati berupa berat sendiri balok
  - b) Beban mati tambahan berupa berat pavement, pelat lantai, aspal, air hujan dan balok diafragma.
  - c) Beban hidup berupa beban lalu lintas dan beban angin
5. Hitung momen – momen yang timbul akibat beban yang berkerja
  6. Hitung gaya lintang yang timbul.
  7. Hitung tegangan pada kabel prestress
    - a) Keadaan saat awal ( saat transfer )

Gaya prategang ( Pt )

$$Pt = \frac{0,6 \cdot \sigma_{bk} \cdot W_b \cdot A}{W_a + W_b}$$

Eksentrisitas (e<sub>s</sub>)

$$e_s = \frac{M_{balok}}{Pt} + \frac{W_a}{A}$$

Gaya prategang awal (Ptl)

$$Ptl = \frac{M_{balok}}{e_s - \frac{W_a}{A}}$$

Dimana :

σ<sub>bk</sub> : mutu beton

W<sub>a</sub> : tegangan serat atas

W<sub>b</sub> : tegangan serat bawah

A : luas tampang balok precast

- b) Keadaan akhir

Tegangan akibat jacking yang bekerja pada tendon prestress ( fsj )

$$fsj = 0,85 \cdot f_u \cdot n_s$$

$$fsj = \frac{Ptl}{A_{st}}$$

dari rumus diatas diperoleh persamaan :

$$n_s = \frac{Ptl}{(0,85 \cdot A_{st} \cdot f_u)}$$

dimana :

n<sub>s</sub> : jumlah strand dibutuhkan

- P<sub>tl</sub> : gaya prategang awal  
 A<sub>st</sub> : luas tampang efektif 1 strand  
 f<sub>u</sub> : ultimate tensile strength  
 P<sub>j</sub> : gaya dongkrak

Gaya dongkrak (jacking force)

$$P_j = p_o \cdot n_s \cdot A_{st} \cdot f_u$$

8. Pilih jenis dan karakteristik kabel yang akan digunakan serta tentukan banyaknya kabel yang akan digunakan.
9. Pilih tipe angker hidup dan angker mati yang akan digunakan.
10. Cari daerah limit kabel sebagai batasan untuk penempatan tendon, kemudian merencanakan penempatan tendon pada balok (layout tendon). Untuk kasus dimana banyak strands harus digunakan, carilah selubung untuk eksentrisitas yang membatasi agar tarik menjadi nol.
11. Hitung kehilangan tegangan untuk jenis prategang yang digunakan.

- a) Kehilangan tegangan akibat gesekan angkur (P<sub>o</sub>)  
 persamaan yang di pakai

$$P_o = 0,97 \cdot P_j$$

- b) Kehilangan tegangan akibat perpendekan elastis

- Kehilangan tegangan pada baja oleh regangan elastik dengan memperhitungkan pengaruh berat sendiri ( $\Delta \sigma_{pe}'$ )  
 persamaan yang di pakai

$$\Delta \sigma_{pe}' = \sigma_{pi} \cdot \frac{n \cdot K_e}{1 + n \cdot K_e}$$

$$K_e = \frac{n_s \cdot A_{st}}{A} \left( 1 + \frac{e_s^2 \cdot A}{I_x} \right)$$

$$\sigma_{pi} = f_u \quad n = \frac{E_s \text{ baja}}{E \text{ balok}}$$

- Tegangan beton pada bajanya oleh pengaruh gaya prategang P<sub>t</sub> ( $\Delta \sigma_{bt}$ )  
 persamaan yang di pakai

$$\Delta \sigma_{bt} = \frac{\Delta \sigma_{pe}'}{n} - \frac{M_{balok} \cdot e_s}{I_x}$$

- Kehilangan tegangan pada baja oleh regangan elastik tanpa memperhitungkan pengaruh berat sendiri ( $\Delta \sigma_{pe}$ )  
persamaan yang di pakai

$$\Delta \sigma_{pe}' = 0,5 \cdot n \cdot \sigma_{bt}$$

- Kehilangan tegangan akibat perpendekan elastik  
persamaan yang di pakai

$$\Delta P_e = \Delta \sigma_{pe} \cdot n_s \cdot A_{st}$$

- c) Kehilangan tegangan akibat gesekan kabel  
persamaan yang dipakai

$$P_x = P_0 \cdot e^{-\mu(\alpha + \beta \cdot L_x)}$$

- d) Kehilangan tegangan akibat slip saat pengangkutan  
Persamaan yang dipakai

$$L_{max} = \sqrt{\frac{\Delta L \cdot E_s \cdot n_s \cdot A_{st}}{m}}$$

- e) Kehilangan tegangan pada tendon akibat rangkai beton ( $\sigma_{cr}$ )  
persamaan yang dipakai

$$\sigma_{cr} = \epsilon_{ct} \cdot E_s$$

- f) Kehilangan prategang akibat susut beton ( $\sigma_{sh}$ )  
persamaan yang dipakai

$$\sigma_{sh} = \Delta \epsilon_{su} \cdot E_s$$

- g) Kehilangan jangka panjang  
persamaan yang dipakai

$$\Delta \sigma_{sc} = \sigma_{sh} + \sigma_{cr}$$

$$\sigma_{pi} = \frac{P_i}{n_s \cdot A_{st}}$$

12. Hitung tegangan pada penampang balok komposit

13. Kontrol tegangan dan lendutan

14. Hitung gaya geser pada balok, penghubung geser ( shear connector ), dan pada end block.

15. Kontrol terhadap gaya angkat ( lifting point ) pada saat pelaksanaan.

## **Analisa Struktur Bawah**

### **Analisa abutment**

Pada perhitungan abutment gaya-gaya yang harus diperhitungkan adalah:

- Beban konstruksi .....M
- Beban Hidup.....H + K
- Gaya akibat rem.....Rm
- Gaya akibat berat abutment.....M
- Gaya akibat gempa.....Gh
- Gaya akibat gesekan pada tumpuan.....Gg
- Gaya akibat tekanan tanah.....Ta
- Gaya angkat air.....Tu

#### **2.2.2.1 Analisa pilar**

Pada perhitungan pilar gaya-gaya yang harus diperhitungkan adalah:

- Beban kontruksi .....M
- Beban hidup.....H + K
- Gaya akibat rem.....Rm
- Gaya akibat berat abutment.....M
- Gaya akibat gempa.....Gh
- Gaya akibat gesekan pada tumpuan.....Gg
- Gaya akibat tekanan tanah.....Ta
- Gaya angkat air.....Tu

#### **Analisa Pondasi Bored Piled**

Pemilihan jenis pondasi yang akan di rencanakan perlu diperhitungkan apakah sesuai dengan kondisi lapangan dan apakah pelaksanaan pekerjaannya sangat ekonomis. Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam pemilihan pondasi adalah jenis tanah dilapangan, batasan-batasan konstruksi diatasnya kemudahan dalam pelaksanaan, biaya pelaksanaan dan waktu pelaksanaan.

## **METODOLOGI**

## **Data Analisis**

Data data yang diperlukan untuk Analisis jembatan beton prestress adalah :

- Gambar layout, potongan memanjang, potongan melintang jembatan, balok girder, abutment, pilar, pondasi, dan gambar pelengkap lainnya pada bentang I dari konsultan yaitu PT. Virama Karya & PT. Tata Guna Patria.
- Hasil penyelidikan tanah dari pihak pelaksana yaitu PT. Adhi Karya bekerja sama dengan Politeknik Negeri Semarang.
- Dokumen pendukung lainnya.

## **PERHITUNGAN**

### **Pendahuluan**

Dalam analisis jembatan ini akan dibahas mengenai analisis struktur konstruksi jembatan yang ditinjau dari struktur atas dan struktur bawah jembatan tersebut, sedangkan bentang yang akan dihitung adalah bentang I (41,351).

### **Data teknis**

Pengumpulan data sangat diperlukan sebelum dilakukan suatu analisis, maka terlebih dahulu dilakukan pengumpulan data sekunder yang berhubungan dengan analisis itu sendiri yang kemudian dianalisa menjadi data teknis yang akan digunakan sebagai langkah analisis.

Data sekunder yang digunakan pada Analisa Jembatan Tugu Suharto meliputi :

- Data DED (Detail Engineering Design )
- Data Tanah
- Rencana Kerja dan Syarat Syarat

### **Analisis Struktur Atas**

Struktur atas merupakan struktur bangunan yang terletak diatas tanah, dimana sama sekali tidak berhubungan dengan tanah dibawahnya. Analisis struktur atas pada Jembatan Tugu Suharto ini meliputi :

Analisis perhitungan lining jembatan

Lining jembatan merupakan balok kantilever tegak yang menahan beban rencana. Berdasarkan Standar Pembebanan Untuk Jembatan pembatas jalan pada setiap tepi jembatan harus diperhitungkan guna menahan beban horizontal sebesar 100 kN yang bekerja sepanjang bagian atas penghalang jalan. Beban menyilang rencana tersebut harus direntangkan dengan jarak memanjang 1.5 m pada bagian atas penghalang.

( Sumber RSNI T-02-2005 )

Mutu beton: 20 MPa

Mutu baja : 400 MPa

$P = 100 * 1.5 = 150 \text{ kN}$

$M = 150 * 1.4 = 210 \text{ kNm}$

Perhitungan analisa tampang bertulang

$A_s = \rho_{\min} * b * d = 0.0035 * 1500 * 1339 = 1987.56 \text{ mm}^2$

Tulangan pokok yang dipakai  $\phi$  16 – 150

$A_s = 1/4 \pi d^2 * 1500 / 150$

$= 2010.619 \text{ mm}^2$

Check rasio tulangan :

$$\rho = \frac{A_s}{b * d} = \frac{2010.619}{1500 * 1339} = 0.010$$

Syarat :  $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max} = 0.0035 < 0.010 < 0.033 \dots\dots\dots \text{aman}$

Tulangan Sengkang / bagi

As tul. bagi =  $0.0018 * b * h$

$= 0.0018 * 1500 * 1399$

$= 360 \text{ mm}^2$

Dipakai tulangan bagi :  $\phi$  13-200

## **PENUTUP**

### **Kesimpulan**

Setelah dilakukan analisis kekuatan Jembatan Beton Prategang pada jembatan Tugu Suharto, dapat disimpulkan bahwa hasil analisis dengan menggunakan acuan pembebanan Standar Pembebanan Untuk Jembatan (RSNI T-02-2005) ternyata secara keseluruhan struktur jembatan CUKUP AMAN. Hasil dari analisis tersebut antara lain :

1. Balok Prestress

Setelah dilakukan analisis kabel prestress minimum yang dibutuhkan adalah 64 buah strands, sedangkan yang digunakan adalah 68 strands. Sehingga sudah cukup aman digunakan.

2. Abutment

Setelah dilakukan analisis Abutment tersebut aman terhadap :

- Guling

$$= \frac{\sum M_v}{\sum M_H} \geq 1.5$$

$$= 11.303 \geq 1.5 \dots \text{AMAN}$$

- Geser

$$= \frac{\sum V * N}{\sum H} \geq 1.5$$

$$= 3.263 \geq 1.5 \dots \text{AMAN}$$

- Daya dukung tanah

$$Q = \frac{\sum M_v}{L * B} \left( 1 + \frac{6 * e}{B} \right) < Q_{all}$$

$$Q = 22.8877 \text{ ton} < 58.275 \text{ ton} \dots \text{AMAN}$$

3. Pilar

- Guling

$$= \frac{\sum M_v}{\sum M_H} \geq 1.5$$

$$= 3.045 \geq 1.5 \dots \text{AMAN}$$

- Geser

$$= \frac{\sum V * N}{\sum H} \geq 1.5$$

$$= 2.96618 \geq 1.5 \dots \text{AMAN}$$

- Daya dukung tanah

$$Q = \frac{\sum M_v}{L * B} \left( 1 + \frac{6 * e}{B} \right) < Q_{all}$$

$$Q = 65.57 \text{ ton} < 69.123 \text{ ton} \dots \text{AMAN}$$

4. Pondasi Pilar (Bored Pile)

$$Q_a = \frac{1}{3} \left[ 40 * N * A \left( \frac{N_s * L_s}{5} + \frac{N_c * L_c}{2} \right) * Y_p \right]$$

$$Q_a = 50809.4 \text{ ton} < V = 13474.613 \dots \text{Aman}$$

Setelah dilakukan semua analisis data data tentang Kekuatan Jembatan Beton Prategang (Jembatan Tugu Suharto) dapat disimpulkan bahwa jembatan ini aman atau kuat.

### **Saran**

1. Untuk analisis selanjutnya yang sama diperlukan ketelitian dan kecermatan baik persiapan maupun pelaksanaan analisis. Sebelum menganalisis diharapkan banyak mengumpulkan literature-literatur atau buku-buku yang mendukung.
2. Saat menganalisis harus teliti dan cermat untuk mendapatkan hasil yang maksimal.