

ALTERNATIF PERENCANAAN SUPERSTRUKTUR JEMBATAN PALU 1 MENGUNAKAN BOX GIRDER SISTEM KANTILEVER

Arzal M. Zain

Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah
achal1808@gmail.com

ABSTRAK

Jembatan Palu 1 yang terletak di tengah-tengah Kota Palu merupakan jembatan yang melayani lalu lintas paling sibuk di Kota Palu. Saat ini pada jam-jam lalu lintas sibuk jembatan Palu 1 sangat padat dengan kendaraan. Dengan dasar itu maka dibuat alternatif perencanaan jembatan dengan jalan yang lebih lebar.

Perencanaan ini dimulai dengan pengumpulan data – data eksisting. Kemudian dilanjutkan dengan pemilihan tipe jembatan. Dasar – dasar perencanaan mengacu pada RSNi T-02-2005 dan RSNi T-12-2004. Setelah itu dilakukan perencanaan awal dengan menentukan dimensi – dimensi utama jembatan. Pada tahap perencanaan awal dilakukan perhitungan terhadap struktur sekunder jembatan. Analisa beban yang terjadi seperti : analisa berat sendiri, beban mati tambahan, beban lalu lintas, dan analisa pengaruh waktu seperti creep dan kehilangan gaya prategang. Kemudian dari hasil analisa tersebut dilakukan kontrol tegangan yang terjadi pada struktur, perhitungan penulangan box girder, dan perhitungan kekuatan dan stabilitas struktur.

Jembatan direncanakan dengan menggunakan box girder dengan sistem konstruksi kantilever. Ketinggian jembatan beragam mulai dari 2 m sampai dengan 3,5 m. Jembatan direncanakan dengan panjang 120 m dengan bentang 30 m, 60 m, dan 30 m.

Kata Kunci : Jembatan Box Girder, Prategang, Pasca Tarik

PENDAHULUAN

Jembatan merupakan bagian dari jalan yang menghubungkan jalan yang terputus karena rintangan seperti sungai, lembah, laut, jalan maupun rel kereta. Jembatan Palu 1 dibuat untuk menghubungkan jalan yang terputus oleh Sungai Palu yang terletak di Kota Palu. Seiring dengan perkembangan zaman serta semakin berkembang dan majunya Kota Palu sehingga pada saat ini Jembatan Palu 1 sangat penuh sesak pada jam – jam sibuk dan tak jarang terjadi kemacetan. Sehingga perlu dipikirkan adanya alternatif perencanaan Jembatan Palu 1 agar bisa melayani arus transportasi sibuk di atasnya.

Beton prategang yang merupakan kombinasi aktif tendon baja mutu tinggi terhadap beton dengan kuat tekan yang tinggi dengan cara memberi tegangan pada beton terlebih dahulu melalui proses *stressing* sebelum dibebani. Ternyata teknik tersebut cukup efektif karena selain beton dapat memikul beban yang lebih besar dari sebelumnya dan dapat memperkecil berat sendirinya dan ukuran penampangnya. Hal ini juga sangat menguntungkan dunia konstruksi karena volume bahan dapat dikurangi sehingga berat profil menjadi lebih ringan dan beban struktur atas yang dipikulkan ke pondasi juga menjadi lebih kecil. Dalam dunia jembatan teknologi beton prategang sangat jelas sekali manfaatnya.

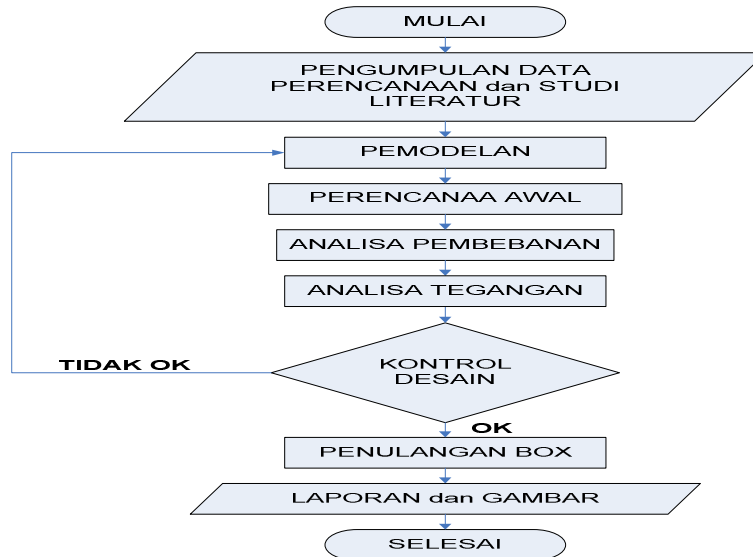
Keadaan tersebut melatarbelakangi ketertarikan peneliti melakukan perencanaan alternatif Jembatan Palu 1 yang semula menggunakan girder beton bertulang profil I dengan tipe jembatan konvensional dimodifikasi menjadi jembatan dengan menggunakan struktur box girder prategang segmental.

BAHAN DAN METODE

Jenis penelitian adalah kuantitatif dan bersifat penelitian berdasarkan batasan masalah yang diteliti. Penelitian ini dilaksanakan di Jembatan Palu 1 Kota Palu sepanjang Ruas jalan Hasanudin – Gajah Mada, Kelurahan Ujuna, Kecamatan Palu Barat, Kota Palu, Provinsi Sulawesi Tengah, pada bulan Oktober 2017.

Alat dan bahan penelitian untuk menjawab rumusan masalah penelitian menggunakan alat hitung sederhana. Prosedur penelitian adalah merupakan cara ilmiah untuk mendapatkan data dengan tujuan dan kegunaan tertentu, data yang diperoleh melalui penelitian adalah data empiris (teramati) dengan kriteria valid, reliabel dan obyektif.

Data penelitian berasal dari Data sekunder dan Data Primer. Data sekunder penelitian merupakan data-data yang diperoleh dari instansi-instansi terkait data Konstruksi Jembatan Eksisting Jembatan Palu 1. Sedang data primer penelitian ini adalah data yang diambil secara langsung di lokasi penelitian dengan cara pengamatan langsung. Untuk lebih jelasnya tahapan – tahapan penelitian dapat dilihat pada gambar berikut dibawah ini.



Gambar 1. Bagan Alir Perencanaan Penelitian

HASIL

Berdasarkan tujuan penelitian dan hasil pengujian yang dilakukan peneliti, diperoleh data awal sebagai berikut :

Konstruksi jembatan eksisting adalah jembatan beton bertulang profil I.

- a. Nama Jembatan : Jembatan Palu 1
- b. Lokasi : Ruas jalan Hasanudin - Gajah Mada, Kelurahan Ujuna, Kecamatan Palu Barat, Kota Palu, Provinsi Sulawesi Tengah
- c. Tipe Jembatan : Beton bertulang Profil I
- d. Fungsi : Menghubungkan ruas jalan Hasanudin – Gajah Mada yang terpisah oleh Sungai Palu
- e. Panjang Total : 117 m, terdiri dari 3 bentang dengan pembagian 39 m – 39 m – 39 m dengan menggunakan struktur beton pratengang tipe *double box*
- f. Lebar Total : 10,4 m

- g. Lebar Lantai Kendaraan : 7,4 m
- h. Lebar Trotoar : $2 \times 1,5$ m
- i. Jumlah Lajur : 2
- j. Lebar Lajur : 3,7 m

Konstruksi jembatan yang direncanakan adalah konstruksi jembatan box girder prategang dengan struktur statis tak tentu.

- a. Nama Jembatan : Jembatan Palu 1
- b. Lokasi : Ruas jalan Hasanudin – Gajah Mada, Kelurahan Ujuna, Kecamatan Palu Barat, Kota Palu, Provinsi Sulawesi Tengah
- c. Tipe Jembatan : Box Girder Prategang Segmental Sistem Kantilever dan jenis beton prategang pasca tarik
- d. Fungsi : Menghubungkan ruas jalan Hasanudin – Gajah Mada yang terpisah oleh Sungai Palu
- e. Panjang Total : 120 m, terdiri dari 3 bentang dengan pembagian 30 m – 60 m – 30 m dengan menggunakan struktur beton pratengan tipe *double box*
- f. Lebar Total : 13 m
- g. Lebar Lantai Kendaraan : 11 m
- h. Lebar Trotoar : $2 \times 0,85$ m
- i. Jumlah Lajur : 4
- j. Lebar Lajur : 2,75 m

Berikut adalah data mutu bahan yang akan digunakan :

a. Beton

- 1) Kuat tekan beton prategang (f'_c) = 60 MPa.
- 2) Kuat tekan beton untuk struktur sekunder (f'_c) = 30 MPa.

b. Baja

- 1) Mutu baja prategang digunakan kabel jenis *strand seven wires stress relieved* (7 kawat untaian) VSL, $A_{strand} = 140 \text{ mm}^2$.
- 2) Mutu baja yang digunakan untuk penulangan plat lantai dan penulangan praktis lainnya adalah baja mutu (f_y) = 400 MPa.
- 3) Mutu baja yang digunakan untuk penulangan struktur sekunder adalah baja mutu (f_y) = 240 MPa.

Tegangan yang terjadi pada bagian-bagian jembatan tidak boleh melebihi dari tegangan izin bahannya.

a. Beton prategang (f'_c) = 60 MPa

1) Pada saat *initial*

Berdasarkan SNI 03-2847-2002 Pasal 11.3 faktor reduksi untuk beton prategang (ϕ) = 0,65.

$$f'_{ci} = 0,65 \times f'_c = 0,65 \times 60 = 39 \text{ MPa}$$

Serat terluar berdasarkan SNI T-12-2004 Pasal 4.4.1.2.2 dan Pasal 4.4.1.2.4 tegangan izin beton prategang saat *initial*.

Untuk tekan :

$$\sigma_{ci} = 0,65 \times f'_{ci} = 0,6 \times 39 = 23,4 \text{ MPa}$$

Untuk tarik :

$$\sigma_{ti} = 0,25 \times \sqrt{f'_{ci}} = 0,25 \times \sqrt{39} = 1,561 \text{ MPa}$$

2) Pada saat *service*

Berdasarkan SNI T-12-2004 Pasal 4.4.1.2.1 dan Pasal 4.4.1.2.3 tegangan izin saat *service*.

Untuk tekan :

$$\sigma_{cs} = 0,45 \times f'_c = 0,45 \times 60 = 27 \text{ MPa}$$

Untuk tarik :

$$\sigma_{ts} = 0,5 \times \sqrt{f'_c} = 0,5 \times \sqrt{60} = 3,873 \text{ MPa}$$

3) Modulus Elastisitas

Berdasarkan SNI T-12-2004 Pasal 4.4.1.5 modulus elastisitas beton (E_c).

Saat transfer :

$$E_{ci} = 4.700 \times \sqrt{f'_{ci}} = 4.700 \times \sqrt{39} = 29.351,491 \text{ MPa}$$

Saat Service :

$$E_{cs} = 4.700 \times \sqrt{f'_c} = 4.700 \times \sqrt{60} = 36.406,043 \text{ MPa}$$

4) Tegangan Retak

Berdasarkan SNI 03-2847-2002 Pasal 11.5.

$$f_r = 0,7 \times \sqrt{f'_c} = 0,7 \times \sqrt{60} = 5,422 \text{ MPa}$$

b. Baja prategang

1) Modulus elastisitas

Berdasarkan SNI T-12-2004 Pasal 4.4.3.3 modulus elastisitas baja prategang jenis *strand*.

$$E_p = 195.000 \text{ MPa}$$

2) Tegangan putus kabel

Berdasarkan Tabel VSL spesifikasi produk.

$$f_{pu} = 1.860 \text{ MPa}$$

3) Tegangan leleh kabel

Berdasarkan SNI T-12-2004 Pasal 4.4.3.1.2 tegangan leleh kabel *strand* dan tendon baja bulat.

$$f_{py} = 0,85 \times f_{pu} = 0,85 \times 1.860 = 1.581 \text{ MPa}$$

4) Tegangan tarik izin kabel (*initial*)

Berdasarkan SNI T-12-2004 Pasal 4.4.3.2.2 tegangan izin saat *initial* gaya prategang.

$$f_{pi} = 0,94 \times f_{py} = 0,94 \times 1.581 = 1.486,14 \text{ MPa}$$

5) Tegangan tarik izin kabel (*service*)

Berdasarkan SNI T-12-2004 Pasal 4.4.3.2.1 tegangan izin setelah penarikan.

$$f_{ps} = 0,7 \times f_{pu} = 0,7 \times 1.860 = 1.302 \text{ MPa}$$

Untuk tafsiran dimensi dilakukan dengan pendekatan untuk bentuk parabola sesuai dengan tafsiran Podolny dan Muller (1982) yang dapat dilihat pada gambar *Pendekatan Tinggi Box Dengan Ketinggian Parabola* (pada lampiran), dengan efisiensi penampang box girder $\rho = 0,6$. Selanjutnya untuk pembebanan direncanakan menggunakan standar SNI T-02-2005.

Berdasarkan data – data awal tersebut diatas, maka diperoleh hasil perhitungan sebagai berikut :

1. Perencanaan Superstruktur

a. Perencanaan Struktur Sekunder

1) Perencanaan Tiang Sandaran

Berdasarkan Dimensi Tiang Sandaran dan Beban Tiang Sandaran Jembatan Palu 1, akan Dipasang tulangan tarik $\rightarrow 2 \text{ } \varnothing 12$ ($A_s = 226,195 \text{ mm}^2$). Untuk tulangan sengkang dipasang $\rightarrow \varnothing 6 - 200 \text{ mm}$.

2) Perencanaan Kerb

Berdasarkan Sketsa Kerb, Trotoar dan Pembebanan Kerb, akan di pasang tulangan tarik $\rightarrow 2 \text{ } \varnothing 12$ ($A_s = 226,195 \text{ mm}^2$). Untuk tulangan sengkang di pasang $\rightarrow \varnothing 6 - 200 \text{ mm}$.

3) Perencanaan Trotoar

Trotoar direncanakan dengan lebar 85 cm dan tebalnya 25 cm. Trotoar terbuat dari beton dan akan membebani gelagar utama karena berfungsi sebagai bangunan pelengkap.

b. Perencanaan Struktur Utama

1) Perencanaan Dimensi Box Girder

Jembatan Palu 1 direncanakan menggunakan box girder prategang sistem kantilever dengan *double box*. Bentang total Jembatan Palu 1 adalah 120 m yang dibagi dalam 3 bentang 30 m + 60 m + 30 m dengan 2 pilar dan 2 abutment. Lebar total Palu 1 adalah 13 m dengan lebar jalan 11 m. Jembatan Palu 1 direncanakan dengan 2 jalur lalu lintas tanpa median.

Berdasarkan pendekatan dan disesuaikan dengan geometri yang ada maka tinggi masing-masing segmen sebagai berikut :

- a) Profil I : Profil box girder dengan panjang 3,25 m dan memiliki tinggi 2 m sampai dengan 3,5 m sebanyak 32 buah.
- b) Profil II : Profil box girder dengan panjang 2 m dan tinggi 2 m sebanyak 4 buah.
- c) Profil III : Profil box girder dengan panjang 2 m dan tinggi 3,5 m sebanyak 4 buah.

2) Perencanaan Jaur Tendon dan Eksentrisitas

a) Tendon Kantilever

Tendon kantilever ditempatkan di bagian atas box girder dengan jarak dari serat terluar box 20 cm untuk tendon lapis atas dan tendon 35 cm untuk tendon lapis kedua.

b) Tendon Menerus

Tendon menerus ditempatkan pada bagian bawah box girder dengan jarak dari serat terluar box adalah 20 cm untuk bentang tepi sedangkan bentang tengah memiliki 2 lapis tendon dengan jarak lapis kedua dari serat terluar 35 cm, sehingga $d = 27,5 \text{ cm}$.

3) Analisa Beban pada Tahap Kantilever

a) Berat Sendiri

Berdasarkan *Pemodelan Berat Sendiri saat Kantilever*, didapatkan momen maksimum, $M_{11} = -151.066,83$ kNm.

b) Berat Form Traveller

Berdasarkan *Pemodelan Beban Form Traveller saat Kantilever*, didapatkan momen maksimum, $M_{11} = -3741$ kNm.

c) Pengaruh Tetap Pelaksanaan

Berdasarkan *Pemodelan Beban Pengaruh Tetap Pelaksanaan saat Kantilever*, didapatkan momen maksimum, $M_{11} = -1282,5$ kNm.

4) Analisa Beban pada Tahap Menerus

a) Berat Sendiri

Berdasarkan *Pemodelan Berat Sendiri saat Kantilever*, didapatkan momen maksimum :

$$\text{Tarik (+)} = M_{21} = 65.213,57 \text{ kNm}$$

$$\text{Tekan (-)} = M_{11} = -85.853,26 \text{ kNm}$$

b) Beban Mati Tambahan

Berdasarkan *Pemodelan Beban Mati Tambahan saat Menerus*, didapatkan momen maksimum :

$$\text{Tarik (+)} = M_{21} = 6320,29 \text{ kNm}$$

$$\text{Tekan (-)} = M_{11} = -8124,71 \text{ kNm}$$

c) Pengaruh Tetap Pelaksanaan

Berdasarkan *Pemodelan Pengaruh Tetap Pelaksanaan saat Menerus*, didapatkan momen maksimum :

$$\text{Tarik (+)} = M_{21} = 561,15 \text{ kNm}$$

$$\text{Tekan (-)} = M_{11} = -721,35 \text{ kNm}$$

d) Beban Lajur D

Berdasarkan *Pemodelan Beban Lajur D Alternatif 1, 2, dan 3 saat Menerus*, didapatkan momen maksimum :

$$M_{\text{maks}} \text{ Tarik (+)} = M_{21} = 23782,17 \text{ kNm (Alternatif 3)}$$

$$M_{\text{maks}} \text{ Tekan (-)} = M_{11} = -26716,36 \text{ kNm (Alternatif 1)}$$

e) Beban Pejalan Kaki

Berdasarkan *Pemodelan Beban Pejalan Kaki saat Menerus*, didapatkan momen maksimum :

$$\text{Tarik (+)} = M_{21} = 669,44 \text{ kNm}$$

$$\text{Tekan (-)} = M_{11} = -860,56 \text{ kNm}$$

f) Gaya Rem

Untuk gaya rem, didapatkan momen maksimum :

$$\text{Tarik (+)} = M_{36} = 1603,18 \text{ kNm}$$

$$\text{Tekan (-)} = M_6 = -1603,18 \text{ kNm}$$

g) Beban Angin

Berdasarkan *Pemodelan Beban Angin saat Menerus*, didapatkan momen maksimum :

$$\text{Tarik (+)} = M_{21} = 238,83 \text{ kNm}$$

$$\text{Tekan (-)} = M_{11} = -307,02 \text{ kNm}$$

h) Beban Gempa

Berdasarkan *Pemodelan Beban Gempa saat Menerus*, didapatkan momen maksimum :

$$\text{Tarik (+)} = M_{21} = 7153,77 \text{ kNm}$$

$$\text{Tekan (-)} = M_{11} = -9398,24 \text{ kNm}$$

5) Gaya Prategang Saat Kantilever Initial

a) Perhitungan gaya prategang kantilever *initial*

Serat atas (tarik)

$$-\frac{F_0}{A} - \frac{F_0 \times e \times y_t}{I} + \frac{M_i \times y_t}{I} \leq \sigma_{ti}$$

$$-\frac{F_0}{1,52 \cdot 10^7} - \frac{F_0 \times 1219 \times 1419}{6,19 \cdot 10^{13}} + \frac{1,56 \cdot 10^{11} \times 1419}{6,19 \cdot 10^{13}} \leq 1,561 \text{ MPa}$$

$$F_0 \geq 2,14 \cdot 10^7 \text{ N}$$

Serat bawah (tekan)

$$-\frac{F_0}{A} + \frac{F_0 \times e \times y_b}{I} - \frac{M_i \times y_b}{I} \geq \sigma_{ci}$$

$$-\frac{F_0}{1,52 \cdot 10^7} + \frac{F_0 \times 1219 \times 2081}{6,19 \cdot 10^{13}} - \frac{1,56 \cdot 10^{11} \times 2081}{6,19 \cdot 10^{13}} \geq -23,4 \text{ MPa}$$

$$F_0 \leq 7,25 \cdot 10^8 \text{ N}$$

Gaya prategang tendon kantilever saat *intial* digunakan $F_0 = 40.000.000 \text{ N}$.

b) Kontrol gaya prategang tendon kantilever *initial*

Serat atas (tarik)

$$-\frac{F_0}{A} - \frac{F_0 \times e \times y_t}{I} + \frac{M_i \times y_t}{I} \leq \sigma_{ti}$$

$$-\frac{4,00 \cdot 10^7}{1,52 \cdot 10^7} - \frac{4,00 \cdot 10^7 \times 1219 \times 1419}{6,19 \cdot 10^{13}} + \frac{1,56 \cdot 10^{11} \times 1419}{6,19 \cdot 10^{13}} \leq 1,561 \text{ MPa}$$

$$-2,63 - 1,12 + 3,58 \leq 1,561$$

$$-0,17 \leq 1,561 \text{ ..OK}$$

Serat bawah (tekan)

$$-\frac{F_0}{A} + \frac{F_0 \times e \times y_b}{I} - \frac{M_i \times y_b}{I} \geq \sigma_{ci}$$

$$-\frac{4,00 \cdot 10^7}{1,52 \cdot 10^7} + \frac{4,00 \cdot 10^7 \times 1219 \times 2081}{6,19 \cdot 10^{13}} - \frac{1,56 \cdot 10^{11} \times 2081}{6,19 \cdot 10^{13}} \geq -23,4 \text{ MPa}$$

$$-2,63 + 1,64 - 5,24 \geq -23,4 \text{ MPa}$$

$$-6,23 \text{ MPa} \geq -23,4 \text{ MPa}$$

6) Gaya Prategang Saat Menerus Initial

a) Perhitungan gaya prategang menerus *initial*

Serat atas (tekan)

$$-\frac{F_0}{A} + \frac{F_0 \times e \times y_t}{I} - \frac{M_i \times y_t}{I} \geq \sigma_{ci}$$

$$-\frac{F_0}{1,29 \cdot 10^7} + \frac{F_0 \times 910 \times 815}{1,57 \cdot 10^{13}} - \frac{6,52 \cdot 10^{10} \times 815}{1,57 \cdot 10^{13}} \geq -23,4 \text{ MPa}$$

$$F_0 \leq 6,59 \cdot 10^8 \text{ N}$$

Serat bawah (tarik)

$$-\frac{F_0}{A} + \frac{F_0 \times e \times y_b}{I} - \frac{M_i \times y_b}{I} \geq \sigma_{ti}$$

$$-\frac{F_0}{1,29 \cdot 10^7} - \frac{F_0 \times 910 \times 1271}{1,57 \cdot 10^{13}} + \frac{6,52 \cdot 10^{10} \times 1271}{1,57 \cdot 10^{13}} \leq 1,561 \text{ MPa}$$

$$F_0 \geq 2,29 \cdot 10^7 \text{ N}$$

Gaya prategang tendon menerus saat *intial* digunakan $F_0 = 100.000.000 \text{ N}$.

b) Kontrol gaya prategang tendon menerus saat *intial*

Serat atas (tekan)

$$-\frac{F_0}{A} + \frac{F_0 \times e \times y_t}{I} - \frac{M_i \times y_t}{I} \geq \sigma_{ci}$$

$$-\frac{1,00 \cdot 10^8}{1,29 \cdot 10^7} + \frac{1,00 \cdot 10^8 \times 910 \times 815}{1,57 \cdot 10^{13}} - \frac{6,52 \cdot 10^{10} \times 815}{1,57 \cdot 10^{13}} \geq -23,4 \text{ MPa}$$

$$-8,33 + 4,72 - 3,38 \geq -23,4 \text{ MPa}$$

$$-6,99 \text{ MPa} \geq -23,4 \text{ MPa} \dots \text{OK}$$

Serat bawah (tarik)

$$-\frac{F_0}{A} - \frac{F_0 \times e \times y_b}{I} + \frac{M_i \times y_b}{I} \leq \sigma_{ti}$$

$$-\frac{1,00 \cdot 10^8}{1,29 \cdot 10^7} - \frac{1,00 \cdot 10^8 \times 910 \times 1271}{1,57 \cdot 10^{13}} + \frac{6,52 \cdot 10^{10} \times 1271}{1,57 \cdot 10^{13}} \leq 1,561 \text{ MPa}$$

$$-8,33 - 7,37 + 5,28 \leq 1,561 \text{ MPa}$$

$$-10,42 \text{ MPa} \leq 1,561 \text{ MPa} \dots \text{OK}$$

7) Perencanaan Tendon

Baja prategang direncanakan menggunakan kabel jenis *strandseven wires stress relieved* (7 kawat untaian). Dengan mengacu pada tabel VSL, berikut adalah jenis dan karakteristik dari baja prategang yang digunakan :

- Diameter = 15,24 mm
- Luas penampang *strand* (A_s) = 140 mm²
- Massa = 0,0125 N/mm
- Minimum *Breaking Load* = 260.665,81 N

☑ Modulus Elastisitas (E_p) = 195.000 MPa

☑ Tegangan-tegangan izin mengacu pada SNI T-12-2004

Tegangan putus kabel, $f_{pu} = 1.860$ MPa

Tegangan leleh kabel, $f_{py} = 0,85 \times f_{pu} = 0,85 \times 1.860 = 1.581$ MPa

Tegangan tarik izin kabel (*Initial*), $f_{pi} = 0,94 \times f_{py} = 0,94 \times 1.581 = 1.486,14$ MPa

a) Perencanaan Tendon Kantilever

Contoh perhitungan joint 10.

➔ Gaya yang bekerja, $F_0 = 35.000.000$ N

➔ Luas perlu untuk 1 web

$$A_{psi} = \frac{F_0/3}{f_{pi}} = \frac{35.000.000/3}{1.486,14} = 7850,31 \text{ mm}^2$$

➔ Jumlah *strand*

$$n_{strand} = \frac{A_{psi}}{A_s} = \frac{7850,31}{140} = 56,07 \text{ strand}$$

➔ Direncanakan menggunakan 2 duct

$$\frac{n_{strand}}{2} = \frac{56,07}{2} = 28,035 \approx 31 \text{ strand}$$

Maka untuk tendon kantilever digunakan **2 VSL 31 GC**

b) Perencanaan Tendon Menerus

Contoh perhitungan joint 21.

➔ Gaya yang bekerja, $F_0 = 100.000.000$ N

➔ Luas perlu untuk 1 web

$$A_{psi} = \frac{F_0/3}{f_{pi}} = \frac{100.000.000/3}{1.486,14} = 22.429,47 \text{ mm}^2$$

➔ Jumlah *strand*

$$n_{strand} = \frac{A_{psi}}{A_s} = \frac{22.429,47}{140} = 160,21 \text{ strand}$$

➔ Direncanakan menggunakan 6 duct

$$\frac{n_{\text{strand}}}{6} = \frac{160,21}{6} = 26,70 \approx 27 \text{ strand}$$

Maka untuk tendon menerus digunakan **6 VSL 27 GC**

8) Kehilangan Prategang Akibat Perpendekan Elastis

Contoh perhitungan pada joint 2 tahap kantilever

$$E_{ci} = 4700 \times \sqrt{f'_{ci}} = 4700 \times \sqrt{39} = 29.351,49 \text{ MPa}$$

$$E_s = 195.000 \text{ MPa}$$

$$f_{\text{cir}} = \frac{F_0}{A} + \frac{F_0 \times e^2}{I} - \frac{M_i \times e}{I} =$$

$$\frac{3,50 \cdot 10^5}{1,29 \cdot 10^7} + \frac{3,50 \cdot 10^5 \times 465^2}{1,57 \cdot 10^{13}} - \frac{7,80 \cdot 10^8 \times 465}{1,57 \cdot 10^{13}}$$

$$0,027 + 0,005 - 0,023 = 0,009 \text{ MPa}$$

$$ES = K_{es} \times E_s \times \frac{f_{\text{cir}}}{E_{ci}} = 0,5 \times 195.000 \times \frac{0,009}{29.351,49} = 0,030 \text{ MPa}$$

$$\% \text{Loss} = \frac{ES}{0,7 \times f_{pu}} \times 100\% = \frac{0,030}{0,7 \times 1860} \times 100\% = 0,002\%$$

9) Kehilangan Prategang Akibat Gesekan Kabel dan Woobli Effect

Contoh perhitungan pada joint 2 tendon kantilever.

$$\alpha = \frac{8 \times y}{x} = \frac{8 \times 0,465}{60} = 0,062 \text{ rad}$$

$$F_x = F_0 \times e^{-(\mu\alpha + KL)} = 3,50 \cdot 10^5 \times 0,465^{-(0,2 \times 0,062 + 0,0026 \times 60)} = 398.170,40 \text{ N}$$

$$\% \text{Loss} = \left| \frac{3,50 \cdot 10^5 - (3,98 \cdot 10^5)}{3,50 \cdot 10^5} \right| \times 100\% = 13,71\%$$

10) Kehilangan Prategang Akibat Slip Angker

Contoh perhitungan pada joint 2 tendon kantilever.

$$X = \sqrt{\frac{E_s \times d}{\sigma_0 \times \left(\frac{\mu \times \alpha}{K + L} \right)}} = \sqrt{\frac{195.000 \times 1}{1302 \times 1000 \times \left(\frac{0,2 \times 0,062}{0,0026 + 60} \right)}} = 26,92 \text{ m}$$

$$\Delta\sigma = 2 \times \sigma_0 \times \left(\frac{\mu \times \alpha}{K + L} \right) \times X$$

$$\Delta\sigma = 2 \times 1.302 \times \left(\frac{0,2 \times 0,062}{0,0026 + 60} \right) \times 26,92 = 14,49 \text{ MPa}$$

$$\%Loss = \frac{14,49}{0,7 \times 1860} \times 100\% = 1,11\%$$

11) Kehilangan Prategang Akibat Rangkak Beton

Contoh perhitungan pada joint 2 tendon kantilever.

$$f_{cds} = \frac{M \times e}{I} = \frac{7,8 \cdot 10^8 \times 465}{1,57 \cdot 10^{13}} = 0,02 \text{ MPa}$$

$$CR = K_{cr} \times \frac{E_s}{E_c} \times (f_{cir} - f_{cds}) = 1,6 \times \frac{195.000}{36.406,04} \times (8,9 \cdot 10^{-3} - 0,02) = 0,12$$

$$\%Loss = \frac{0,12}{0,7 \times 1860} \times 100\% = 0,01\%$$

12) Kehilangan Prategang Akibat Susut Beton

Contoh perhitungan pada joint 2 saat kantilever.

$$SH = 8,2 \cdot 10^{-6} \times K_{sh} \times E_s \times \left(1 - 0,06 \times \frac{V}{S}\right) \times (100 - RH)$$

$$= 8,2 \cdot 10^{-6} \times 0,73 \times 195.000 \times \left(1 - 0,06 \times \frac{12,9}{29,62}\right) \times (100 - 75) = 28,42 \text{ MPa}$$

$$\%Loss = \frac{28,42}{0,7 \times 1.860} \times 100\% = 2,18\%$$

13) Kehilangan Prategang Akibat Relaksasi Baja

Contoh perhitungan pada joint 2 saat kantilever.

$$RE = (K_{re} - J \times (SH + CR + ES)) \times C$$

$$= (138 - 0,15 \times (28,42 + 0,12 + 0,03)) \times 1 = 133,71 \text{ MPa}$$

$$\%Loss = \frac{133,71}{0,7 \times 1.860} \times 100\% = 10,27\%$$

14) Kehilangan Gaya Prategang Total

Gaya prategang awal pada baja dikurangi dengan semua kehilangan gaya prategang disebut gaya prategang efektif atau gaya prategang rencana. Menurut Peraturan ACI tahun 1963 ditetapkan bahwa kehilangan gaya prategang total dari perpendekan elastis, rangkak, susut dan relaksasi baja (tetapi tidak termasuk gesekan dan pergeseran ankur) pada beton normal besarnya 240 MPa (25%) untuk balok-balok pratarik dan 170 MPa (20%) untuk balok pasca tarik.

15) Kontrol Gaya Prategang Setelah Kehilangan Prategang

Kontrol gaya prategang setelah kehilangan prategang menggunakan tegangan efektif dan momen *service*. Gaya efektif merupakan gaya prategang *initial* setelah dikurangi dengan kehilangan gaya prategang dan momen *service* merupakan momen ketika struktur menerus sesuai dengan kombinasi dan faktor pembebebanan berdasarkan RSNI T-02-2005.

Sehingga didapatkan momen-momen maksimum :

Tarik : $M_{21} = 140.137,81$ kN (Kombinasi 3 Alternatif 3)

Tekan : $M_{11} = -173.343,30$ kN (Kombinasi 2 Alternatif 1)

a) Kontrol Gaya Prategang Efektif di Tengah Bentang

Kontrol gaya prategang efektif pada tengah bentang ditinjau pada joint 21 untuk mengecek kemampuan tendon menerus dengan momen tarik maksimum $M_s = 140.137,81$ kN dengan kehilangan prategang 17,52%.

$$F_{\text{eff}} = (100\% - 17,52\%) \times F_0 = (82,48\%) \times 1,00 \cdot 10^8 = 8,25 \cdot 10^7 \text{ N}$$

Serat atas (tekan)

$$-\frac{F_{\text{eff}}}{A} + \frac{F_{\text{eff}} \times e \times y_t}{I} - \frac{M_s \times y_t}{I} \geq \sigma_{\text{cs}}$$

$$-\frac{8,25 \cdot 10^7}{1,29 \cdot 10^7} + \frac{8,25 \cdot 10^7 \times 910 \times 815}{1,57 \cdot 10^{13}} - \frac{1,40 \cdot 10^{11} \times 815}{1,57 \cdot 10^{13}} \geq -27 \text{ MPa}$$

$$-6,39 + 3,90 - 7,27 \geq -27 \text{ MPa}$$

$$-9,76 \text{ MPa} \geq -27 \text{ MPa} \dots \text{OK}$$

Serat bawah (tarik)

$$-\frac{F_{\text{eff}}}{A} - \frac{F_{\text{eff}} \times e \times y_b}{I} + \frac{M_s \times y_b}{I} \leq \sigma_{\text{ts}}$$

$$-\frac{8,25 \cdot 10^7}{1,29 \cdot 10^7} - \frac{8,25 \cdot 10^7 \times 910 \times 1271}{1,57 \cdot 10^{13}} + \frac{1,40 \cdot 10^{11} \times 1271}{1,57 \cdot 10^{13}} \leq 3,873 \text{ MPa}$$

$$-6,39 - 6,08 + 11,33 \leq 3,873 \text{ MPa}$$

$$-1,14 \text{ MPa} \leq 3,873 \text{ MPa} \dots \text{OK}$$

b) Kontrol Gaya Prategang Efektif di Tumpuan

Kontrol gaya prategang efektif pada tumpuan ditinjau pada joint 11 untuk mengecek kemampuan tendon kantilever dengan momen tekan maksimum $M_s = -173.343,39$ kNm dengan kehilangan prategang 13,99%.

$$F_{\text{eff}} = (100\% - 13,99\%) \times F_0 = (86,01\%) \times 4,00 \cdot 10^7 = 3,44 \cdot 10^7 \text{ N}$$

Serat atas (tarik)

$$-\frac{F_{\text{eff}}}{A} - \frac{F_{\text{eff}} \times e \times y_t}{I} + \frac{M_s \times y_t}{I} \leq \sigma_{\text{ts}}$$

$$-\frac{3,44 \cdot 10^7}{1,52 \cdot 10^7} - \frac{3,44 \cdot 10^7 \times 1219 \times 1419}{6,19 \cdot 10^{13}} + \frac{1,73 \cdot 10^{11} \times 1419}{6,19 \cdot 10^{13}} \leq 3,873 \text{ MPa}$$

$$-2,26 - 0,96 + 3,97 \leq 3,873$$

$$0,75 \leq 3,873 \text{ ..OK}$$

Serat bawah (tekan)

$$-\frac{F_{\text{eff}}}{A} + \frac{F_{\text{eff}} \times e \times y_b}{I} - \frac{M_s \times y_b}{I} \geq \sigma_{\text{cs}}$$

$$-\frac{3,44 \cdot 10^7}{1,52 \cdot 10^7} + \frac{3,44 \cdot 10^7 \times 1219 \times 2081}{6,19 \cdot 10^{13}} - \frac{1,73 \cdot 10^{11} \times 2081}{6,19 \cdot 10^{13}} \geq -27 \text{ MPa}$$

$$-2,26 + 1,41 - 5,82 \geq -27 \text{ MPa}$$

$$-6,64 \text{ MPa} \geq -27 \text{ MPa}$$

16) Perhitungan Penulangan Box Girder

a) Perhitungan Pembebanan

- (1) Beban Trotoar : Dapat dilihat digambar *Pemodelan Beban Trotoar* (pada lampiran)
- (2) Beban Mati Tambahan : Dapat dilihat digambar *Pemodelan Beban Mati Tambahan* (pada lampiran)
- (3) Beban Truk : Dapat dilihat digambar *Pemodelan Pemodelan Beban Truk Alternatif 1, 2 dan 3* (pada lampiran)

b) Perhitungan Penulangan

Dengan menggunakan batuan SAP2000 dan faktor pembebanan sesuai RSNI T-02-2005, maka didapatkan momen ultimate untuk masing – masing flens dan web.

(1) Perhitungan Penulangan Struktur Flens Atas

$$M_u = 559.620.000 \text{ Nmm (Momen Kombinasi Alternatif 2)}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{559.620.000}{0,8} = 699.525.000 \text{ Nmm}$$

$$k = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{7,00 \cdot 10^8}{1000 \times 386^2} = 4,698$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{400}{0,85 \times 60} = 7,843$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times f'_c \times \beta_1}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} = \frac{0,85 \times 60 \times 0,65}{400} \times \frac{600}{600 + 400} = 0,05$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,05 = 0,038$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times k}{f_y}} \right) = \frac{1}{7,843} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 7,843 \times 4,698}{400}} \right) = 0,012$$

Dipakai ρ_{perlu}

$$A_s = \rho_{\text{perlu}} \times b \times d = 0,012 \times 1000 \times 386 = 4632 \text{ mm}^2$$

Dalam 1000 mm dipakai tulangan sebanyak

$$\frac{4632}{0,25 \times \pi \times 28^2} = 7,52 \approx 8 \text{ buah}$$

Jarak antar tulangan adalah

$$\frac{1000}{8} = 125 \text{ mm} \approx 100 \text{ mm}$$

Jadi tulangan utama dipasang sejarak 90 mm (D28-90) dan tulangan pembagi sejarak 250 mm (D28-250).

(2) Perhitungan Penulangan Struktur Web Tegak

$$M_u = 158.410.000 \text{ Nmm (Momen Kombinasi Alternatif 1)}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{158.410.000}{0,8} = 198.012.500 \text{ Nmm}$$

$$k = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{1,98 \cdot 10^8}{1000 \times 386^2} = 1,329$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{400}{0,85 \times 60} = 7,843$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times f'_c \times \beta_1}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} = \frac{0,85 \times 60 \times 0,65}{400} \times \frac{600}{600 + 400} = 0,05$$

$$\rho_{maks} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,05 = 0,038$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times k}{f_y}} \right) = \frac{1}{7,843} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 7,843 \times 1,329}{400}} \right) = 0,0034$$

Dipakai ρ_{min}

$$A_s = \rho_{min} \times b \times d = 0,0035 \times 1000 \times 386 = 1351 \text{ mm}^2$$

Dalam 1000 mm dipakai tulangan sebanyak

$$\frac{1351}{0,25 \times \pi \times 28^2} = 2,19 \approx 3 \text{ buah}$$

Jarak antar tulangan adalah

$$\frac{1000}{3} = 333,333 \text{ mm} \approx 250 \text{ mm}$$

Jadi tulangan utama dipasang sejarak 250 mm (D28-250) dan tulangan pembagi sejarak 250 mm (D28-250).

(3) Perhitungan Penulangan Struktur Flens Bawah

$M_u = 40.370.000 \text{ Nmm}$ (Momen Kombinasi Alternatif 1)

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{40.370.000}{0,8} = 50.462.500 \text{ Nmm}$$

$$k = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{4,04 \cdot 10^7}{1000 \times 386^2} = 0,271$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{400}{0,85 \times 60} = 7,843$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times f'_c \times \beta_1}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} = \frac{0,85 \times 60 \times 0,65}{400} \times \frac{600}{600 + 400} = 0,05$$

$$\rho_{maks} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,05 = 0,038$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times k}{f_y}} \right) = \frac{1}{7,843} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 7,843 \times 0,271}{400}} \right) = 0,0007$$

Dipakai ρ_{\min}

$$A_s = \rho_{\min} \times b \times d = 0,0035 \times 1000 \times 386 = 1351 \text{ mm}^2$$

Dalam 1.000 mm dipakai tulangan sebanyak

$$\frac{1351}{0,25 \times \pi \times 28^2} = 2,19 \approx 3 \text{ buah}$$

Jarak antar tulangan adalah

$$\frac{1000}{3} = 333,33 \text{ mm} \approx 250 \text{ mm}$$

Jadi tulangan utama dipasang sejarak 250 mm (D28-250) dan tulangan pembagi sejarak 250 mm (D28-250).

17) Kontrol Lendutan

Lendutan pada komponen jembatan tidak boleh lebih dari $y = \frac{L}{800}$,

dimana L adalah panjang jembatan yang ditinjau. Kontrol lendutan dilakukan pada saat *initial* dimana beban luar belum bekerja dan juga pada saat *service* setelah beban luar bekerja, lendutan yang terjadi pada struktur jembatan diakibatkan oleh beban mati, beban hidup BTR dan BGT dan gaya tendon prategang.

a) Lendutan saat *initial*

Lendutan akibat beban mati

$$\Delta = \frac{5 \times q \times l^4}{384 \times E \times I} = \frac{5 \times 338,63 \times 60.000^4}{384 \times 36406,04 \times 1,57 \cdot 10^{13}} = 99,98 \text{ mm} (\downarrow)$$

Lendutan akibat gaya prategang pada tendon

$$F = 1,00 \cdot 10^8 \text{ N}$$

$$\Delta_{\text{tendon}} = \frac{8 \times F \times e}{L^2} = \frac{8 \times 1,00 \cdot 10^8 \times 910}{36.500^2} = 546,44$$

$$\Delta_{\text{tendon}} = \frac{5 \times q \times l^4}{384 \times E \times I} = \frac{5 \times 546,44 \times 60.000^4}{384 \times 36406,04 \times 1,57 \cdot 10^{13}} = 161,33 \text{ mm} (\uparrow)$$

Total lendutan yang terjadi saat *initial*:

$$\Delta = 99,98 - 161,33 = 61,34 \text{ mm (ke atas)}$$

b) Lendutan saat *service*

Lendutan akibat beban mati

$$\Delta = \frac{5 \times q \times l^4}{384 \times E \times I} = \frac{5 \times 338,63 \times 60.000^4}{384 \times 36.406,043 \times 1,57 \cdot 10^{13}} = 99,98 \text{ mm} (\downarrow)$$

Lendutan akibat gaya prategang pada tendon

$$F = 8,25 \cdot 10^7 \text{ N}$$

$$\Delta_{\text{tendon}} = \frac{8 \times F \times e}{L^2} = \frac{8 \times 8,25 \cdot 10^7 \times 910}{36.500^2} = 450,82$$

$$\Delta_{\text{tendon}} = \frac{5 \times q \times l^4}{384 \times E \times I} = \frac{5 \times 450,82 \times 60.000^4}{384 \times 36.406,043 \times 1,57 \cdot 10^{13}} = 133,03 \text{ mm } (\uparrow)$$

Lendutan akibat beban hidup

$$\begin{aligned} \Delta &= \frac{5 \times q \times l^4}{384 \times E \times I} + \frac{P \times l^3}{48 \times E \times I} \\ &= \frac{5 \times 74,25 \times 60.000^4}{384 \times 36.406,043 \times 1,57 \cdot 10^{13}} + \frac{754.600 \times 60.000^3}{48 \times 36.406,043 \times 1,57 \cdot 10^{13}} \\ &= 21,92 + 5,94 = 27,86 \text{ mm } (\downarrow) \end{aligned}$$

Total lendutan saat service:

$$\Delta = 99,98 - 133,03 + 27,86 = 5,19 \text{ mm (ke atas)} \quad \text{Syarat:}$$

$$\Delta \leq \frac{L}{800} \rightarrow 5,19 \leq \frac{60.000}{800} \rightarrow 5,19 \text{ mm} \leq 75 \text{ mm}$$

PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan peneliti, dimana dasar – dasar perencanaan mengacu pada RSNI T-02-2005 dan RSNI T-12-2004. Diketahui bahwa perencanaan ini dimulai dengan pengumpulan data-data eksisting. Kemudian dilanjutkan dengan pemilihan tipe jembatan. Setelah itu dilakukan perencanaan awal dengan menentukan dimensi-dimensi utama jembatan. Pada tahap perencanaan awal dilakukan perhitungan terhadap struktur sekunder jembatan. Analisa beban yang terjadi seperti : analisa berat sendiri, beban mati tambahan, beban lalu lintas, dan analisa pengaruh waktu seperti creep dan kehilangan gaya prategang. Kemudian dari hasil analisa tersebut dilakukan kontrol tegangan yang terjadi pada struktur, perhitungan penulangan box girder, dan perhitungan kekuatan dan stabilitas struktur.

Sehingga hasil akhir berdasarkan perhitungan pada hasil penelitian direncanakan jika Jembatan Palu 1 menggunakan box girder dengan sistem konstruksi kantilever, ketinggian jembatan akan beragam mulai dari 2 m sampai dengan 3,5 m. Sedang untuk panjang jembatan direncanakan adalah 120 m, dengan bentang 30 m, 60 m, dan 30 m.

KESIMPULAN

Dari hasil pengerjaan tulisan ini dapat diambil beberapa kesimpulan, antara lain sebagai berikut:

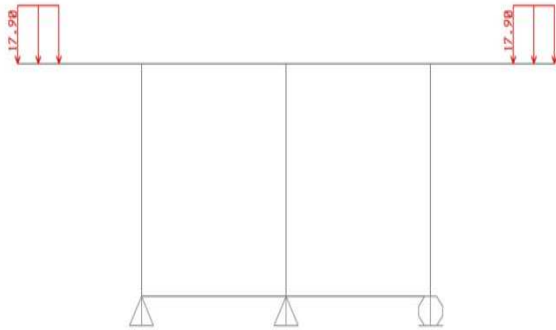
1. Dimensi box girder direncanakan memiliki ketinggian seragam dengan lebar atas 13 m, lebar bawah 7,5 m dan ketinggian mulai dari 2 m sampai dengan 3,5 m. Jembatan Palu 1 direncanakan terdiri dari 3 bentang dengan panjang bentang: 30 m, 60 m, dan 30 m.
2. Metode konstruksi segmental menggunakan dua buah tendon yaitu tendon kantilever dan tendon menerus. Tendon kantilever terletak di slab atas box girder dengan jarak dari serat atas 20 cm untuk lapis pertama dan 35 cm untuk lapis kedua. Tendon menerus terletak di flens bawah box girder dengan jarak dari serat bawah 20 cm untuk lapis pertama dan 35 cm untuk lapis kedua.
3. Gaya prategang awal untuk tendon kantilever beragam pada tiap joint dengan yang terbesar pada joint 11 $F_0 = 40.000.000$ N. Gaya prategang awal untuk tendon menerus terbesar pada joint 21 $F_0 = 100.000.000$ N.
4. Kehilangan gaya prategang terbesar untuk tendon kantilever terjadi pada joint 11 dengan besar kehilangan 13,99%. Kehilangan gaya prategang terbesar untuk tendon menerus terjadi pada joint 21 dengan besar kehilangan 17,52%.
5. Berdasarkan kehilangan prategang maka gaya prategang efektif untuk tendon kantilever joint 11 $F_{eff} = 34.400.000$ N. Gaya prategang efektif untuk tendon menerus joint 21 $F_{eff} = 82.500.000$ N.

DAFTAR PUSTAKA

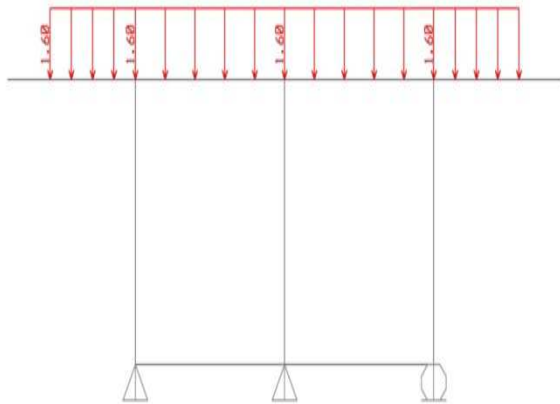
1. Anonim, 2005, ***Standar Pembebanan Untuk Jembatan***, Yayasan Badan Penerbit PU, Jakarta.
2. Anonim, 1987, ***Pedoman Perencanaan Pembebanan Jembatan Jalan Raya***, Badan Penerbit PU, Jakarta.
3. Anonim, 1991, ***Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung***, SK SNI T-15-1991-03, Yayasan LPMB, Bandung.
4. Anonim, 1992, ***Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan dan Penjelasan***, Bridge Management System 1992, Jakarta.
5. Asiyanto, 2005, ***Konstruksi Jembatan Beton***, UI Press, Jakarta.

6. Barker, M.R., & Pucket, A.J., 1997, ***Design of Highway Bridges: Based on AASHTO LRFD Bridge Design Specifications***, John Willey & Sons Inc., New York, USA.
7. Benaim, Robert, 2008, ***The Design of Prestressed Concrete Bridges: Concept and Principles***, Taylor and Francis, New York, USA.
8. Dipohusodo, I, 1994, ***Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SK SNI T-15-1991-03***, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
9. Federal Highway Administration, 2004, ***Post-Tensioning Tendon Installation and Grouting Manual***, USA.
10. Kementrian PU, 2010, ***Perencanaan Teknik Jembatan***.
11. Lin, T.Y., & Burns, N.H., 1982, ***Design of Prestressed Concrete Structures***, John Willey & Sons Inc., New York, USA.
12. Nawy, E. G., 1996, ***Prestressed Concrete: A Fundamental Approach***, Prentice Hall, New Jersey, USA.
13. Podolny Jr., W., & Muller, J.M., 1982, ***Construction and Design of Presressed Concrete Segmental Bridges***, John Willey & Sons Inc., New York, USA.
14. Supriyadi, B., & Muntohar, A.S., 2007, ***Jembatan***, Beta Offset, Yogyakarta.

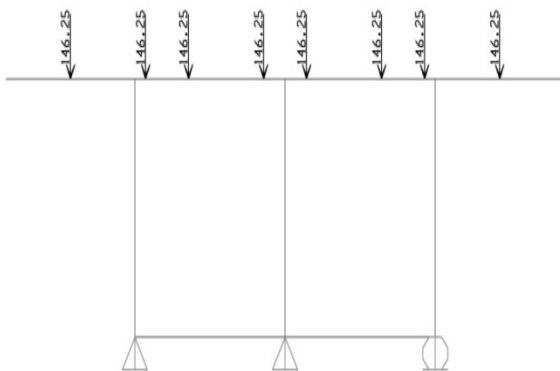
LAMPIRAN



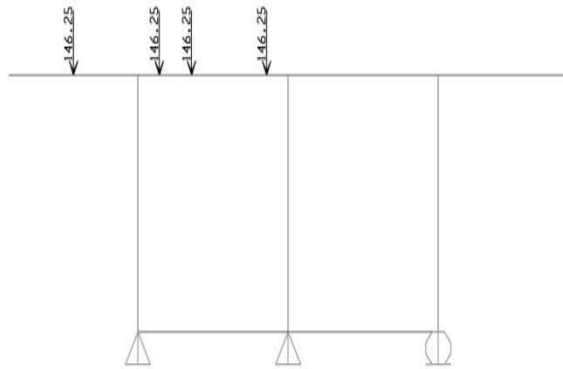
Gambar 1. Pemodelan Beban Trotoar



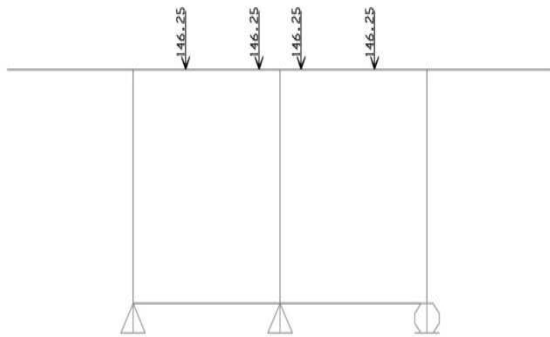
Gambar 2. Pemodelan Beban Mati Tambahan



Gambar 3. Pemodelan Beban Truk Alternatif 1



Gambar 4. Pemodelan Beban Truk Alternatif 2



Gambar 5. Pemodelan Beban Truk Alternatif 3

.:SELAMAT MENULIS.:

Sekretariat SilMO Engenering

Alamat : Ruang Jurnal Jurnal SilMO Engenering FAKULTAS TEKNIK UNISMUH

PALU – Palu 94118

Telp : +6281355585166