

KAJIAN KEKUATAN ELEMEN STRUKTUR PELENGKUNG RANGKA BAJA MENERUS PADA JEMBATAN UTAMA TAYAN PROVINSI KALIMANTAN BARAT

Ulfa Septiadi *) Elvira., Aryanto **)

Abstrak

Jembatan merupakan suatu konstruksi yang berfungsi untuk menghubungkan dua bagian jalan yang terputus oleh adanya rintangan-rintangan seperti lembah yang dalam, alur sungai, danau, saluran irigasi, kali, jalan kereta api, jalan raya melintang yang tidak sebidang, dan lain sebagainya. Dalam penyusunan Tugas Akhir ini dilakukan perhitungan pada struktur atas jembatan utama tayan yang melintasi sungai kapuas di Provinsi Kalimantan Barat. Jembatan utama tayan merupakan jembatan rangka baja menerus dengan struktur pelengkung di atasnya. Jembatan utama tayan ini memiliki bentang total 350 m. Peraturan pembebanan yang dipakai dalam perencanaan ini mengacu pada RSNI T-02-2005 yang merupakan pedoman peraturan untuk merencanakan sebuah jembatan. Adanya peraturan pembebanan dimaksudkan untuk memberikan saran dalam perencanaan jembatan di Indonesia yang dapat menjamin tingkat keamanan dan tingkat penghematan yang dapat diterima struktur jembatan. Perhitungan pada struktur atas jembatan mengacu pada peraturan LRFD – AISC. Tahap awal analisa perhitungan dalam tugas akhir ini adalah pengumpulan data perencanaan awal. Kemudian dibuat pemodelan struktur menggunakan program SAP2000 serta memasukkan data dimensi profil dan mutu baja yang digunakan. Setelah itu dibuat pemodelan pembebanan dan kombinasi pembebanan berdasarkan RSNI T-02-2005. Setelah dianalisa oleh program SAP2000 dan didapatkan gaya-gaya dalam dan momen yang bekerja, kemudian dihitung analisa kapasitas penampang terhadap berbagai kondisi batas layan yang menentukan.

Kata-kata kunci: jembatan, rangka baja, struktur pelengkung.

1. PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara kepulauan yang memiliki banyak sungai besar maupun sungai kecil, khususnya yang terdapat di pulau Kalimantan. Dalam upaya mewujudkan sistem transportasi darat di pulau Kalimantan, pemerintah harus berusaha mewujudkannya dengan membangun jalan Trans Kalimantan, namun banyaknya sungai-sungai besar telah menjadi kendala serius dalam merealisasikannya.

Jalan Trans Kalimantan Lintas Selatan yang melintasi provinsi Kalimantan Barat juga masih terputus oleh adanya sungai Kapuas yang mempunyai lebar kira-kira 1.143 meter, sehingga pada ruas jalan ini perlu dilaksanakan pembangunan jembatan Tayan dengan panjang 1.420 meter, yang terdiri dari 2 buah jembatan dengan panjang masing-masing 280 meter dan 1.140 meter, dengan melintasi pulau Tayan.

Jembatan Sei Tayan terletak 112 km dari Kota Pontianak, pada ruas Jalan Lintas

*) Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.

***) Dosen Jurusan Teknik Sipil Universitas Tanjungpura

Selatan Kalimantan yang menghubungkan Provinsi Kalimantan Barat dengan Kalimantan Tengah. Poros Selatan Kalimantan merupakan jalan arteri primer dan lintas utama perekonomian di Kalimantan.

Pembangunan jembatan ini akan meningkatkan fungsi Lintas Selatan Kalimantan secara optimal, diharapkan dapat meningkatkan pelayanan transportasi darat yang akan mendukung pengembangan wilayah, perkembangan perekonomian, sosial dan budaya lebih cepat.

Di dalam suatu perencanaan jembatan selalu diharapkan agar dapat menghasilkan struktur stabil, cukup kuat, mampu layan, awet, dan memenuhi tujuan-tujuan lainnya seperti kemudahan pelaksanaan. Resiko terhadap kegagalan struktur dan hilangnya kemampulayanan selama umur rencana juga diminimalisir dalam batas-batas yang masih bisa diterima.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Jembatan Utama Tayan menggunakan sistem struktur jembatan rangka baja pelengkung menerus. Jembatan pelengkung baja menerus ini didesain dengan pola span 75 m – 200 m – 75 m. Span utama dibuat 200 m untuk mengakomodir pergerakan kapal yang berdasarkan data yang ada, kapal yang terpanjang adalah 65 m dan biasanya jarak bersih horizontal minimum diambil tiga kali pergerakan kapal (3 x 65 m = 195 m). Pada tugas akhir ini tinjauan utamanya adalah pada struktur atas jembatan utama tayan. Dalam perencanaannya elemen struktur atas

jembatan terdiri dari elemen struktur batang tarik, elemen struktur batang tekan dan elemen balok terlentur.

2.1 Elemen struktur batang tarik.

Tahanan nominal untuk komponen struktur yang memikul gaya tarik aksial terfaktor N_u harus memenuhi:

$$N_u \leq \phi \cdot N_n \quad (1)$$

yang ditentukan oleh beberapa kondisi berikut:

- a) Kondisi leleh dari luas penampang bruto.

$$\phi N_n = \phi A_g \cdot F_y \quad (2)$$

dengan faktor tahanan $\phi = 0,9$

- b) Kondisi *fraktur*/putus dari luas penampang efektif/netto pada sambungan.

$$\phi N_n = \phi A_e \cdot F_u \quad (3)$$

dengan faktor tahanan $\phi = 0,75$

- c) Kondisi geser blok.

Jika yang terjadi adalah Geser LeLeh – Tarik Fraktur

$$(f_y \cdot A_{nt} \geq 0,6 \cdot f_u \cdot A_{nv}), \text{ maka} \quad (4)$$

$$N_n = 0,6 \cdot f_y \cdot A_{gv} + f_u \cdot A_{nt} \quad (5)$$

Jika yang terjadi adalah Geser Fraktur – Tarik Leleh

$$(f_y \cdot A_{nt} < 0,6 \cdot f_u \cdot A_{nv}), \text{ maka} \quad (6)$$

$$N_n = 0,6 \cdot f_u \cdot A_{nv} + f_u \cdot A_{gt} \quad (7)$$

- d) Kelangsingan batang tarik.

Kelangsingan komponen struktur tarik, $\lambda = L_x/r$, dibatasi sebesar 240 untuk batang tarik utama, dan 300 untuk batang tarik sekunder, dimana L_x adalah panjang batang tarik, r adalah jari-jari inerti.

2.2 Elemen struktur batang tekan.

Syarat kestabilan dalam mendisain komponen struktur tekan sangat perlu diperhatikan, mengingat adanya bahaya

tekuk (*buckling*) pada komponen-komponen tekan yang langsing.

a) Panjang tekuk.

Panjang tekuk dipengaruhi oleh kondisi tumpuan ujung dan panjang efektifnya. Dihitung sebagai berikut:

$$L_k = k \cdot L \quad (8)$$

dimana k adalah faktor panjang tekuk.

b) Batas kelangsingan batang tekan.

Untuk batang-batang yang direncanakan terhadap tekan, angka perbandingan kelangsingannya adalah sebagai berikut:

$$\lambda = L_k / r < 200 \quad (9)$$

dimana r adalah jari-jari inersia.

c) Tahanan tekan nominal.

Suatu komponen struktur yang mengalami gaya tekan sentries akibat beban terfaktor N_u menurut SNI 03-1729-2002 harus memenuhi:

$$N_u \leq \phi \cdot N_n \quad (10)$$

Dengan faktor reduksi kekuatan

$$\phi = 0,85$$

Daya dukung nominal N_n struktur tekan dihitung sebagai berikut:

$$N_n = A_g \cdot F_{cr} = A_g \cdot \frac{F_y}{\omega_y} \quad (11)$$

dimana ω adalah koefisien tekuk.

d) Tekuk lokal.

Jika tekuk lokal terjadi pada komponen struktur, maka komponen struktur tersebut tidak akan lagi mampu memikul beban tekan secara penuh. SNI 03-1729-2002 membatasi rasio antara lebar dengan ketebalan suatu elemen, dan penampang suatu komponen struktur dapat diklasifikasikan menjadi penampang kompak, tak kompak dan langsing. Untuk profil WF maka

kelangsingan flens dan web dapat dihitung berdasarkan rasio $b_f/2t_f$ dan h/t_w , dengan b_f dan t_f adalah lebar dan tebal dari flens sedangkan h dan t_w adalah tinggi dan tebal dari web. Jika nilai λ lebih besar dari suatu batas yang ditentukan λ_r , maka penampang dikategorikan sebagai penampang langsing dan sangat potensial mengalami tekuk lokal.

2.3 Elemen balok terlentur.

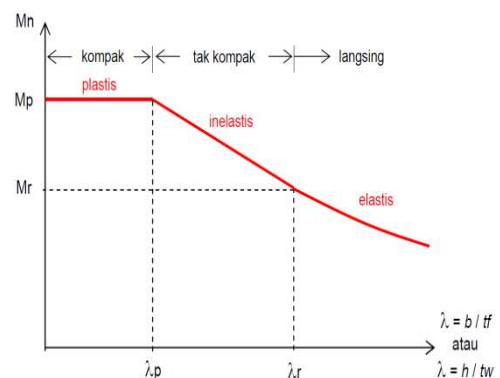
Balok terlentur (*flexural member*) adalah elemen dari struktur yang mayoritas beban yang dipikulnya ialah momen dan gaya lintang, sedangkan gaya aksial sangat kecil. Balok-balok ini sesuai dengan fungsinya dipakai sebagai gelegar memanjang dan melintang pada struktur jembatan.

a) Kekuatan lentur nominal.

Tahanan lentur nominal pada balok dalam desain LRFD harus memenuhi persyaratan:

$$M_u < \phi \cdot M_n$$

dengan faktor tahanan $\phi = 0,9$ dan tahanan momen nominal dibedakan dari kelangsingan penampangnya yaitu penampang kompak, penampang tidak kompak atau penampang langsing.



Gambar 2.1 Hubungan kelangsingan elemen penampang dengan kekuatan lentur nominal

b) Lendutan balok.

Besarnya lendutan pada pembebanan balok yang umum terjadi dihitung sebagai berikut:

$$\Delta = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot EI} = \frac{5 \cdot M \cdot L^2}{48 \cdot EI} \quad (12)$$

Dalam SNI 03-1729-2002 membatasi besarnya lendutan yang terjadi pada balok adalah tidak boleh lebih dari $L/240$. Pembatasan ini dimaksudkan agar balok memberikan kemampuan layan yang baik (*serviceability*).

2.4 Pembebanan jembatan.

a) Beban mati.

Beban mati adalah semua beban tetap yang berasal dari berat sendiri jembatan atau bagian jembatan yang ditinjau, termasuk segala unsur tambahan yang dianggap merupakan satu kesatuan tetap dengannya.

b) Beban mati tambahan.

Beban mati tambahan adalah berat seluruh bahan yang membentuk suatu beban pada jembatan yang merupakan elemen non struktural, dan besarnya dapat berubah selama umur jembatan.

c) Beban hidup.

Beban hidup adalah semua beban yang berasal dari berat kendaraan-kendaraan bergerak/lalu lintas dan atau pejalan kaki yang dianggap bekerja pada jembatan.

d) Beban lalu lintas.

- Beban lalu lintas untuk perencanaan jembatan terdiri atas beban lajur "D" dan beban truk "T".

Beban lajur "D" bekerja pada seluruh lebar jalur kendaraan dan menimbulkan pengaruh pada jembatan yang ekuivalen dengan suatu iring-iringan kendaraan yang sebenarnya. Jumlah total beban lajur "D" yang bekerja tergantung pada lebar jalur kendaraan itu sendiri.

- Bekerjanya gaya-gaya di arah memanjang jembatan, akibat gaya rem dan traksi, harus ditinjau untuk kedua jurusan lalu lintas. Pengaruh ini diperhitungkan senilai dengan gaya rem sebesar 5% dari beban lajur D yang dianggap pada semua jalur lalu lintas, tanpa dikalikan dengan faktor beban dinamis dan dalam satu jurusan.

e) Beban angin.

Gaya nominal ultimit dan daya layan jembatan akibat angin tergantung kecepatan angin rencana seperti berikut:

$$T_{EW} = 0,0006 \cdot C_w \cdot (V_w)^2 \cdot A_b \quad (13)$$

dengan pengertian:

V_w adalah kecepatan angin rencana (m/s) untuk keadaan batas yang ditinjau.

C_w adalah koefisien seret = 1,2.

A_b adalah luas koefisien bagian samping jembatan (m^2).

f) Pengaruh temperatur/suhu.

Variasi temperatur jembatan rata-rata digunakan dalam menghitung pergerakan pada temperatur dan sambungan pelat lantai, dan untuk menghitung beban akibat terjadinya pengekangan dari pergerakan tersebut.

2.5 Kombinasi beban rencana.

- a) Pembebanan rencana terdiri atas kombinasi dari beban mati, beban mati tambahan, beban hidup dan beban lalu lintas.
- b) Kombinasi beban lalu lintas yang digunakan harus diambil dari salah satu kemungkinan susunan pembebanan yang paling berbahaya.
- c) Pengaruh dari beban angin dimasukkan sebagai aksi tetap atau pengaruh temperatur, diambil salah satu mana yang lebih cocok.

3. METODE PENELITIAN

Ada beberapa tahapan yang dilakukan selama penelitian ini berlangsung, diantaranya:

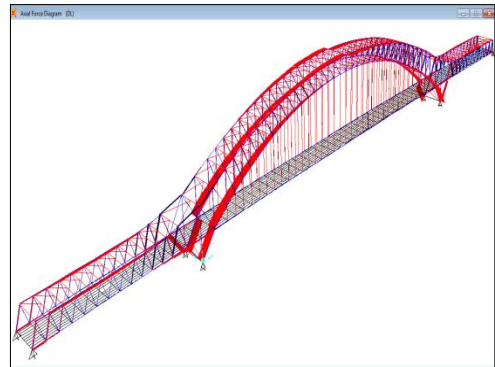
- a) Pengumpulan data perencanaan jembatan tayan.
- b) Membuat pemodelannya dalam program SAP2000 dan memasukkan data elemen struktur serta material baja yang digunakan.
- c) Menjalankan analisa program sehingga didapatkan gaya aksial terfaktor dan momen yang terjadi.
- d) Menganalisa kapasitas penampang batang tarik, batang tekan dan balok terlentur apakah sudah memenuhi persyaratan atau belum.
- e) Menarik kesimpulan dan memberikan solusi.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil perhitungan gaya dalam.

Gaya dalam pada rangka (*axial force*) akibat salah satu beban misalnya beban mati (DL) yang diaplikasikan pada pemodelan struktur jembatan tayan ditampilkan

dengan diagram pada gambar sebagai berikut:



Gambar 4.1 Diagram axial force akibat DL

Berdasarkan gambar di atas, dapat dilihat pengaruh beban ini terhadap rangka. Untuk diagram berwarna merah menunjukkan bahwa batang tersebut adalah batang tekan sedangkan diagram berwarna hitam adalah batang tarik.

Di dalam struktur pelengkung rangka baja menerus pada jembatan utama tayan, terdapat banyak sekali batang-batang penyusun untuk struktur tersebut. Untuk memudahkan dalam perhitungannya, maka besarnya gaya-gaya dalam yang terjadi akibat kombinasi pembebanan dikelompokkan berdasarkan frame section dan diambil nilai maksimum gaya dalam. Berikut adalah gaya dalam maksimum akibat kombinasi pembebanan dalam bentuk tabel:

Tabel 4.1 Pu Maksimum

Frame Section	Pu max (kN)	
	Tarik	Tekan
1	4045,94	
2	3343,22	
3		-10939,57
4	5078,13	-3414,43
5		-4140,77
6		-4690,26
7	5540,24	-8865,00
8	3412,75	-3483,05
9	6495,62	-5899,94
10	7251,34	-7603,44
11		-11539,16
12		-10363,89
13		-7981,05
14		-13416,49
15		-11728,88
16		-14560,55
17		-13804,37
18	1108,70	-2985,88
19		-15969,07
20		-20207,04
21		-18744,79
22		-20252,53
23		-24623,20
24		-22900,21
25		-27098,84
26		-28700,46
27		-30483,67
28		-32555,80
BR1	306,50	-325,13
BR2		-230,64
BR3		-1488,78
BR4		-248,66
CB1	1737,19	-2683,91
CB2	785,53	
G	1312,83	
MG	6846,78	-1615,82
STR1	909,14	-1142,33
STR2		-1374,49

4.2 Analisa kapasitas batang tarik.

Tinjau *frame section 1*:

$$F_y = 365 \text{ Mpa}$$

$$F_u = 490 \text{ Mpa}$$

$$b = 200 \text{ mm}$$

$$h = 450 \text{ mm}$$

$$t_f = 25 \text{ mm}$$

$$t_w = 12 \text{ mm}$$

$$L = 9388 \text{ mm}$$

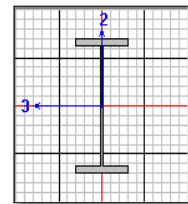
$$r_x = 187 \text{ mm}$$

$$r_y = 48 \text{ mm}$$

$$A_g = 14800 \text{ mm}^2$$

$$E = 200000$$

$$N_u = P_u = 4045,94 \text{ kN}$$



a) Kondisi leleh.

$$\begin{aligned} \phi N_n &= \phi \cdot A_g \cdot F_y \\ &= 0,90 \cdot (14800 \text{ mm}^2) \cdot (365 \text{ Mpa}) \\ &= 4861,8 \text{ kN}. \end{aligned}$$

$$N_u = 4045,94 \text{ kN} < \phi N_n = 4861,8 \text{ kN} \text{ (memenuhi).}$$

b) Kondisi *fraktur*/putus.

dengan $d = 24 \text{ mm} + 2 \text{ mm} = 26 \text{ mm}$.
 maka luas penampang netto dengan $(n=4 \text{ sisi lubang})$ adalah

$$\begin{aligned} A_{net} &= A_g - n \cdot d \cdot t_f \\ &= (14800 \text{ mm}^2) - 4(26 \text{ mm})(25 \text{ mm}) \\ &= 12200 \text{ mm}^2. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Periksa } A_n &\leq 0,85 \cdot A_g \\ &= 0,85 \cdot (14800) = 12580 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Dipakai } A_n \text{ minimum} = 12200 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} A_e &= U \cdot A_{net} \\ &= 0,85(12200 \text{ mm}^2) = 10370 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi N_n &= \phi \cdot A_e \cdot f_u \\ &= 0,75 \cdot (10370 \text{ mm}^2) \cdot (490 \text{ Mpa}) \\ &= 3810,98 \text{ kN}. \end{aligned}$$

$$N_u = 4045,94 \text{ kN} > \phi N_n = 3810,98 \text{ kN} \text{ (tidak memenuhi).}$$

c) Kondisi geser blok.

$$\begin{aligned} A_{gt} &= (47 \text{ mm})(25 \text{ mm}) = 1175 \text{ mm}^2. \\ A_{gv} &= (698 \text{ mm})(25 \text{ mm}) = 17450 \text{ mm}^2. \\ A_{nt} &= 1175 \text{ mm}^2 - \frac{1}{2} \cdot (26 \text{ mm}) \cdot (25 \text{ mm}) \\ &= 850 \text{ mm}^2. \end{aligned}$$

$$A_{nv} = 17450 \text{ mm}^2 - 9,5(26 \text{ mm})(25 \text{ mm}) = 11275 \text{ mm}^2.$$

$$F_u \cdot A_{nt} = (490 \text{ Mpa})(850 \text{ mm}^2) = 416,5 \text{ kN}.$$

$$0,6 \cdot F_u \cdot A_{nv} = 0,6(490)(11275 \text{ mm}^2) = 3314,85 \text{ kN}$$

$$F_u \cdot A_{nt} < 0,6 \cdot F_u \cdot A_{nv}$$

Maka kekuatan tarik nominal,

$$\begin{aligned} N_n &= 0,6 \cdot F_u \cdot A_{nv} + F_y \cdot A_{gt} \\ &= 3314,85 \text{ kN} + (365)(1175 \text{ mm}^2) \\ &= 3743,73 \text{ kN}. \end{aligned}$$

Kekuatan tarik nominal terfaktor,

$$\phi N_n = 0,75(3743,73 \text{ kN}) = 2807,79 \text{ kN}$$

$$N_u/4 = 1011,49 \text{ kN} < \phi N_n = 2807,79 \text{ kN}$$

(memenuhi).

d) Kelangsingan.

Kelangsingan batang tarik dihitung:

$$\lambda = Lk/r = 9388/48 = 195,58 < 240$$

(memenuhi).

4.3 Pembahasan batang tarik.

Pada *frame section 1* dapat dilihat bahwa kegagalan terjadi pada kondisi fraktur sedangkan untuk kondisi leleh dan geser blok telah memenuhi. Sehingga dibuat solusi perhitungan untuk kondisi fraktur tersebut:

a) Kondisi fraktur.

$$N_u = 4045,96 \text{ kN} > \phi N_n = 3810,98 \text{ kN}$$

(kondisi ini tidak memenuhi).

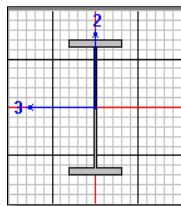
Dicoba dengan menambah tebal flens sebesar 3mm sehingga data profil menjadi:

$$F_y = 365 \text{ Mpa}$$

$$F_u = 490 \text{ Mpa}$$

$$b = 200 \text{ mm}$$

$$h = 450 \text{ mm}$$



$$t_f = 28 \text{ mm}$$

$$t_w = 12 \text{ mm}$$

$$L = 9388 \text{ mm}$$

$$r_x = 188 \text{ mm}$$

$$r_y = 49 \text{ mm}$$

$$A_g = 15900 \text{ mm}^2$$

$$E = 200000$$

$$A_{net} = A_g - n \cdot d \cdot t_f$$

$$= (15900 \text{ mm}^2) - 4(26 \text{ mm})(28 \text{ mm})$$

$$= 12988 \text{ mm}^2.$$

Periksa $A_n \leq 0,85 \cdot A_g$

$$= 0,85 \cdot (15900) = 13515 \text{ mm}^2$$

Dipakai A_n minimum = 12988 mm²

$$A_e = U \cdot A_{net}$$

$$= 0,85(12988 \text{ mm}^2) = 11039,8 \text{ mm}^2$$

$$\phi N_n = \phi \cdot A_e \cdot f_u$$

$$= 0,75 \cdot (11039,8 \text{ mm}^2) \cdot (490 \text{ Mpa})$$

$$= 4057,13 \text{ kN}.$$

$$N_u = 4045,94 \text{ kN} < \phi N_n = 4057,13 \text{ kN}$$

(memenuhi).

b) Kelangsingan.

Akibat penambahan tebal flens pada profil, maka jari-jari gigrasi pun berubah, sehingga perlu dicek terhadap kelangsingan batang tarik sebagai berikut:

$$\lambda = Lk/r = 9388/49 = 191,59 < 240$$

(memenuhi).

4.4 Analisa kapasitas batang tekan.

Tinjau *frame section 3*:

$$F_y = 365 \text{ Mpa}$$

$$F_u = 490 \text{ Mpa}$$

$$b = 250 \text{ mm}$$

$$h = 450 \text{ mm}$$

$$t_f = 25 \text{ mm}$$

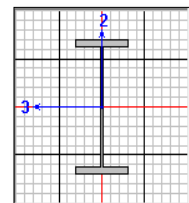
$$t_w = 12 \text{ mm}$$

$$L = 7480 \text{ mm}$$

$$r_x = 190,7 \text{ mm}$$

$$r_y = 61,4 \text{ mm}$$

$$A_g = 17300 \text{ mm}^2$$



$$E = 200000$$

$$Nu = Pu = 10939,57 \text{ kN}$$

Kekuatan tekan nominal terfaktor:

- a) Periksa kelangsingan batang.
Faktor panjang tekuk, $k=1$ (tumpuan sendi-sendi)

- Tekuk ke arah sumbu x,

$$L_{kx} = k.L = 1.(7840 \text{ mm}) = 7480 \text{ mm}$$

$$\lambda_x = L_{kx}/r_x = 7480/190,7 = 39,22 < 200 \text{ (memenuhi).}$$

- Tekuk ke arah sumbu y,

$$L_{ky} = k.L = 1.(7840 \text{ mm}) = 7480 \text{ mm}$$

$$\lambda_y = L_{ky}/r_y = 7480/61,4 = 121,83 < 200 \text{ (memenuhi).}$$

- b) Kekuatan nominal terfaktor batang tekan.

- Ke arah sumbu x,

$$\lambda_{cx} = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{L_{kx}}{r_x} \sqrt{\frac{F_y}{E}}$$

$$= \frac{1}{\pi} \cdot (39,23) \sqrt{\frac{365}{200000}} = 0,534$$

(untuk $\pi = 3,14$)

Untuk $0,25 < \lambda_{cx} < 1,2$

$$\text{maka } \omega_x = \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \cdot \lambda_{cx}}$$

$$\omega_x = \frac{1,43}{1,6 - (0,67 \times 0,534)} = 1,151$$

Kekuatan nominal batang tekan,

$$N_n = A_g \cdot F_{cr}$$

$$= A_g \cdot \frac{F_y}{\omega_x} = (17300 \text{ mm}) \cdot \frac{365 \text{ MPa}}{1,151}$$

$$= 5486,33 \text{ kN}$$

Kekuatan nominal terfaktor,

$$Nu < \phi \cdot N_n = 0,85 \cdot (5486,33 \text{ kN})$$

$$= 4663,38 \text{ kN}$$

$$10939,57 \text{ kN} > 4663,38 \text{ kN}$$

(tidak memenuhi).

- Ke arah sumbu y,

$$\lambda_{cy} = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{L_{ky}}{r_y} \sqrt{\frac{F_y}{E}}$$

$$= \frac{1}{\pi} \cdot (121,82) \sqrt{\frac{365}{200000}} = 1,657$$

(untuk $\pi = 3,14$)

Untuk $\lambda_{cy} > 1,2$ maka $\omega_y = 1,25 \cdot \lambda_{cy}$

$$\omega_y = 1,25 \cdot (1,657)^2 = 3,434$$

Kekuatan nominal batang tekan,

$$N_n = A_g \cdot F_{cr}$$

$$= A_g \cdot \frac{F_y}{\omega_y} = (17300 \text{ mm}) \cdot \frac{365 \text{ MPa}}{3,434}$$

$$= 1838,83 \text{ kN}$$

Kekuatan nominal terfaktor,

$$Nu < \phi \cdot N_n = 0,85 \cdot (1838,83 \text{ kN})$$

$$= 1563,01 \text{ kN}$$

$$10939,57 \text{ kN} > 1563,01 \text{ kN}$$

(tidak memenuhi).

- c) Faktor tekuk lokal.

Periksa kelangsingan penampang,

$$\text{Flens : } \frac{b/2}{T_f} = \frac{250/2}{25} = 5$$

$$\lambda_r = \frac{250}{\sqrt{F_y}} = \frac{250}{\sqrt{365}} = 13,09$$

$$\frac{b/2}{T_f} < \lambda_r \text{ (penampang kompak)}$$

$$\text{Web : } \frac{h}{T_w} = \frac{450}{12} = 37,5$$

$$\lambda_r = \frac{665}{\sqrt{F_y}} = \frac{665}{\sqrt{365}} = 34,81$$

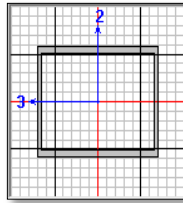
$$\frac{b/2}{T_f} > \lambda_r \text{ (penampang tidak kompak)}$$

Jadi penampang langsing memungkinkan terjadinya tekuk lokal pada web. Apabila terjadi maka kekuatan batang tekan tidak akan mencapai kondisi leleh.

4.5 Pembahasan batang tekan.

Pada *frame section 3* kegagalan batang terjadi akibat kekuatan nominal terfaktor yang tidak memenuhi. Sehingga yang perlu dilakukan adalah perubahan pada dimensinya. Dicoba *frame section 3* dengan data sbb:

$F_y = 365 \text{ MPa}$
 $F_u = 490 \text{ MPa}$
 $b = 550 \text{ mm}$
 $h = 450 \text{ mm}$
 $t_f = 25 \text{ mm}$
 $t_w = 18 \text{ mm}$
 $L = 7480 \text{ mm}$
 $r_x = 185,1 \text{ mm}$
 $r_y = 202,2 \text{ mm}$
 $A_g = 41900 \text{ mm}^2$
 $E = 200000$



- a) Periksa kelangsingan batang.
 Faktor panjang tekuk, $k=1$ (tumpuan sendi-sendii)
 - Tekuk ke arah sumbu x,
 $L_{kx} = k.L = 1.(7480 \text{ mm}) = 7480 \text{ mm}$
 $\lambda_x = L_{kx}/r_x = 7480/185,1 = 40,41 < 200$ (memenuhi).
 - Tekuk ke arah sumbu y,
 $L_{ky} = k.L = 1.(7480 \text{ mm}) = 7480 \text{ mm}$
 $\lambda_y = L_{ky}/r_y = 7480/202,2 = 36,99 < 200$ (memenuhi).

- b) Kekuatan nominal terfaktor batang tekan.

- Ke arah sumbu x,

$$\lambda_{cx} = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{L_{kx}}{r_x} \sqrt{\frac{F_y}{E}}$$

$$= \frac{1}{\pi} \cdot (40,41) \sqrt{\frac{365}{200000}} = 0,550$$

(untuk $\pi = 3,14$)

Untuk $0,25 < \lambda_{cx} < 1,2$

$$\text{maka } \omega_x = \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \cdot \lambda_{cx}}$$

$$\omega_x = \frac{1,43}{1,6 - (0,67 \times 0,550)} = 1,161$$

Kekuatan nominal batang tekan,

$$N_n = A_g \cdot F_{cr}$$

$$= A_g \cdot \frac{F_y}{\omega_x} = (41900 \text{ mm}) \cdot \frac{365 \text{ MPa}}{1,161}$$

$$= 13172,02 \text{ kN}$$

Kekuatan nominal terfaktor,

$$N_u < \phi \cdot N_n = 0,85 \cdot (13172,02 \text{ kN})$$

$$= 11196,22 \text{ kN}$$

$$10939,57 \text{ kN} < 11196,22 \text{ kN}$$

(memenuhi).

- Ke arah sumbu y,

$$\lambda_{cy} = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{L_{ky}}{r_y} \sqrt{\frac{F_y}{E}}$$

$$= \frac{1}{\pi} \cdot (36,99) \sqrt{\frac{365}{200000}} = 0,503$$

(untuk $\pi = 3,14$)

Untuk $0,25 < \lambda_{cy} < 1,2$

$$\text{maka } \omega_y = \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \cdot \lambda_{cy}}$$

$$\omega_y = \frac{1,43}{1,6 - (0,67 \times 0,503)} = 1,132$$

Kekuatan nominal batang tekan,

$$N_n = A_g \cdot F_{cr}$$

$$= A_g \cdot \frac{F_y}{\omega_y} = (41900 \text{ mm}) \cdot \frac{365 \text{ MPa}}{1,132}$$

$$= 13505,19 \text{ kN}$$

Kekuatan nominal terfaktor,

$$N_u < \phi \cdot N_n = 0,85 \cdot (13505,19 \text{ kN})$$

$$= 11479,41 \text{ kN}$$

$$10939,57 \text{ kN} < 11479,41 \text{ kN}$$

(memenuhi).

- c) Faktor tekuk lokal.

Periksa kelangsingan penampang,

$$\text{Flens : } \frac{b/2}{T_f} = \frac{550/2}{25} = 11$$

$$\lambda_r = \frac{250}{\sqrt{F_y}} = \frac{250}{\sqrt{365}} = 13,09$$

$$\frac{b/2}{T_f} < \lambda_r \text{ (penampang kompak)}$$

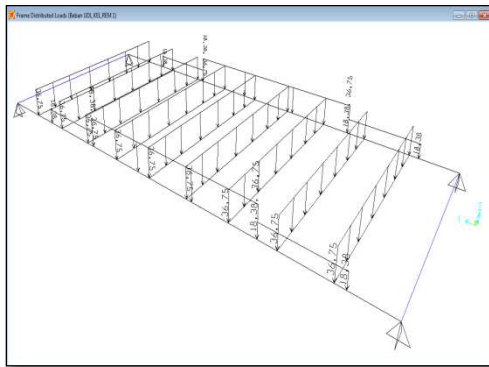
$$\text{Web : } \frac{h}{T_w} = \frac{450}{18} = 25$$

$$\lambda_r = \frac{665}{\sqrt{F_y}} = \frac{665}{\sqrt{365}} = 34,81$$

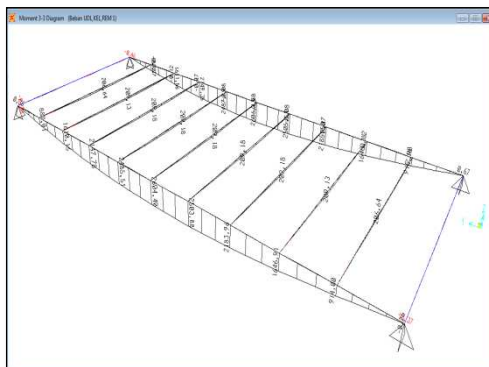
$$\frac{b/2}{T_f} < \lambda_r \text{ (penampang kompak)}$$

Jadi penampang memenuhi.

4.5 Analisa Balok Terlentur.



Gambar 4.2 Pembebanan UDL, KEL dan REM pada CB1 dan STR1



Gambar 4.3 Diagram momen akibat pembebanan pada CB1 dan STR1

Tinjau *frame section CB 1*:

$$F_y = 365 \text{ Mpa}$$

$$F_u = 490 \text{ Mpa}$$

$$b = 300 \text{ mm}$$

$$h = 1100 \text{ mm}$$

$$t_f = 28 \text{ mm}$$

$$t_w = 16 \text{ mm}$$

$$L = 12500 \text{ mm}$$

$$r_x = 435,2 \text{ mm}$$

$$r_y = 61,4 \text{ mm}$$

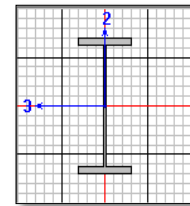
$$A_g = 33500 \text{ mm}^2$$

$$E = 200000$$

$$I_x = 634500 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$$

$$M_u = 2604,4 \text{ kN.m}$$

$$V_u = 731,86 \text{ kN}$$



a) Tinjauan kekuatan lentur berdasarkan tekuk lokal.

- Persyaratan tekuk lokal.

Penampang kompak:

$$\text{Sayap, } \lambda_p = \frac{170}{\sqrt{F_y}} = \frac{170}{\sqrt{365}} = 8,9$$

$$\text{Badan, } \lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{F_y}} = \frac{1680}{\sqrt{365}} = 87,9$$

Penampang tidak kompak:

Sayap,

$$\lambda_r = \frac{370}{\sqrt{F_y - f_r}} = \frac{370}{\sqrt{365 - 70}} = 21,5$$

$$\text{Badan, } \lambda_r = \frac{2550}{\sqrt{F_y}} = \frac{2550}{\sqrt{365}} = 133,5$$

- Tekuk lokal.

Sayap,

$$\lambda_f = \frac{b}{2t_f} = \frac{300}{2 \times 28} = 5,4 < \lambda_p = 8,9$$

(sayap kompak)

Badan,

$$\lambda_w = \frac{h - (2t_f + 2r)}{t_w} = \frac{1100 - (2 \times 28 + 2 \times 36)}{16} = 60,8 < \lambda_p = 87,9$$

(badan kompak)

Cross beam berpenampang kompak.

- Modulus penampang plastis.

$$Z_x = (t_w \cdot h_w^2)/4 + h_f \cdot t_f \cdot b_f$$

Dimana,

$$h_w = h - 2 \cdot t_f = 1100 - 2(28) = 1044 \text{ mm}$$

$$h_f = h - t_f = 1100 - 28 = 1072 \text{ mm}$$

maka,

$$Z_x = (16 \times 1044^2)/4 + 1072 \cdot (28) \cdot (300) = 13364544 \text{ mm}^3.$$

- Kekuatan lentur nominal terfaktor.

Kekuatan nominal,

$$M_n = M_p = F_y \cdot Z_x = (365 \text{ Mpa}) \cdot$$

$$(13364544 \text{ mm}^3) = 4878,06 \text{ kN.m.}$$

Kekuatan nominal terfaktor,

$$M_u \leq \phi \cdot M_n = 0,9 \cdot M_n = 0,9 \cdot$$

$$(4878,06 \text{ kN.m}) = 4390,25 \text{ kN.m.}$$

$$2604,40 \text{ kN.m} < 4390,25 \text{ kN.m}$$

(memenuhi).

- b) Pemeriksaan terhadap lendutan.

$$\Delta = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{348 \cdot EI} = \frac{5 \cdot M \cdot L^2}{48 \cdot EI}$$

$$= \frac{5 \cdot (2604,4 \times 10^6) \cdot (12500^2)}{48 \cdot (200000) \cdot (634500 \times 10^4)}$$

$$= 33,40 \text{ mm} < \frac{L}{240} = 52,1 \text{ mm}$$

(memenuhi).

- c) Tinjauan terhadap kekuatan geser.

- Kekuatan geser nominal.

$$V_n = 0,6 \cdot f_y \cdot A_w$$

dimana, $A_w = h \cdot t_w$

$$= (1100 \text{ mm}) \cdot (16 \text{ mm})$$

$$= 17600 \text{ mm}^2.$$

$$\text{maka, } V_n = 0,6 \cdot (365) \cdot (17600 \text{ mm}^2)$$

$$= 3854,4 \text{ kN.}$$

- Kekuatan geser nominal terfaktor.

$$\phi V_n = 0,9 \cdot (3854,4 \text{ kN}) = 3468,96 \text{ kN}$$

- Syarat.

$$V_u \leq \phi \cdot V_n$$

$$731,86 \text{ kN} < 3468,96 \text{ kN}$$

(memenuhi).

5. KESIMPULAN

- Gaya dalam yang terjadi akibat kombinasi pembebanan pada struktur pelengkung jembatan didominasi oleh gaya tekan.
- Batang tarik yang tidak memenuhi pada kondisi fraktur dapat dicoba solusi dengan menambah tebal flens pada profilnya. Dengan menambah tebal flens maka akan menambah luasan netto efektif dan akan memberikan tahanan nominal terfaktor yang lebih baik daripada sebelumnya.
- Parameter kelangsingan batang tarik telah memenuhi persyaratan.
- Batang tekan yang tidak memenuhi persyaratan kekuatan pada kedua arah sumbunya, maka hanya dapat diberikan solusi untuk mengganti dimensi profil dengan yang lebih besar.
- Untuk balok lentur telah memenuhi persyaratan terhadap kekuatan momen nominal, batas lendutan dan kekuatan geser.

6. SARAN

- Untuk kedepannya sebaiknya ada yang memperhitungkan struktur jembatan ini dengan metode yang lain seperti metode ASD (*Allowable Stress Design*) yang lebih mempertimbangkan desain pada batas tegangan ijinnya.
- Hasil perhitungan ini masih mengacu pada data perencanaan

awal, sehingga diharapkan juga untuk kedepannya akan ada perhitungan yang mengacu pada data dan gambar perencanaan yang paling akhir pula.

DAFTAR PUSTAKA

- AISC. 2010, June 22. *Specification for Structural Steel Buildings*. American Institute of Steel Construction. One East Wacker Drive, Suite 700 Chicago, Illinois 60601-1802.
- Badan Standardisasi Nasional. 2005. *Perencanaan Struktur Baja Untuk Jembatan*. RSNI T-03-2005.
- Buku III Lampiran Perhitungan Jembatan Rangka Baja Pelengkung Menerus*.
- Departemen Pekerjaan Umum. 2005. *Standar Pembebanan Untuk Jembatan*. RSNI T-02-2005.
- Departemen Pekerjaan Umum. 2002. *Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung*. SNI 03-1729-2002.
- Hadi, Bobby Benniardi. 2005. *CD Struktur Bangunan & Jembatan, More Efficient SAP 2000 versi.11*. Penerbit: Bamboomedia, Bali.
- JFE Steel Corporation. *Wide Flange Shape*. Made in Japan. <http://jfe-steel.co.jp/en/>
- Nasution, Thamrin. 2012. *Modul Pembelajaran Struktur Baja 1 s/d 2*. Departemen Teknik Sipil, FTSP. ITM. thamrinst.wordpress.com
- Setiawan, Agus. 2008. *Perencanaan Struktur Baja Dengan Metode LRFD (Berdasarkan SNI 03-1729-2002)*. Penerbit: Erlangga, Jakarta.