

EVALUASI PENILAIAN KAPASITAS SISA JEMBATAN LAWANG TADJI

Oleh :
N. Retno Setiati, Setyo Hardono

RINGKASAN

Jembatan merupakan prasarana transportasi dan penghubung antar beberapa daerah baik di darat, laut, sungai, atau pegunungan harus memenuhi kriteria perencanaan. Di antara kriteria perencanaan suatu jembatan adalah memenuhi syarat kekuatan, kekakuan, stabilitas, keamanan, dan kenyamanan pengguna jembatan. Penilaian kapasitas atau nilai sisa jembatan sangat diperlukan dalam suatu perancangan perbaikan dan rehabilitasi jembatan, atau untuk menilai apakah suatu jembatan masih layak digunakan atau tidak. Balok jembatan pada umumnya menyatu dengan pelat lantai jembatan. Oleh karena itu pendekatan dalam menghitung kapasitas penampang adalah dengan pendekatan penampang balok T. Kapasitas penampang balok T dievaluasi dengan konsep kekuatan batas. Teori ini telah terbukti melalui eksperimen oleh banyak ahli, mendekati pada keadaan sebenarnya.

SUMMARY

Bridge is transportation infrastructure and connection of some areas, either in land, sea, river, or mountain have to fulfill planning criteria. Among bridge planning criteria a i.e. standard of strength, inertia, stability, security, and ride ability. Assessment of bridge residual value or capacities are very important in a scheme of repair and bridge rehabilitation, or whether a bridge is properly used or not. The girder of bridge in general one with slab of bridge. Therefore, the approach used to calculate capacities of cross section is T girder. Capacity of T girder is evaluated with ultimate strength concept. This theory has proven through experiment by many experts, and close to actual condition.

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar belakang

Jembatan yang merupakan prasarana transportasi dan penghubung antar beberapa daerah baik di darat, laut, sungai, atau pegunungan harus memenuhi kriteria perencanaan.

Di antara kriteria perencanaan suatu jembatan adalah memenuhi syarat kekuatan, kekakuan, stabilitas, keamanan, dan kenyamanan pengguna jembatan. Penilaian kapasitas atau nilai sisa jembatan sangat diperlukan dalam suatu perancangan perbaikan dan rehabilitasi jembatan, atau untuk

menilai apakah suatu jembatan tersebut layak digunakan atau tidak. Tata cara perencanaan penilaian kapasitas jembatan pada saat ini masih berupa konsep, sehingga para perencana belum dapat menggunakan atau menjadikannya sebagai dasar atau acuan dalam penentuan kapasitas atau nilai sisa jembatan sesuai dengan kondisinya.

Sampai saat ini acuan untuk perencanaan, pelaksanaan, dan pengajaran di Perguruan Tinggi untuk perencanaan penilaian kapasitas struktur jembatan beton di Indonesia belum ada, sehingga masih menggunakan dasar acuan dari struktur gedung dan dasar acuan dari standar dan peraturan perencanaan negara-negara lain seperti AASHTO, AUSTRROAD, dan EUROCODE.

Untuk menjamin terpenuhinya semua kebutuhan tersebut di atas, perlu kiranya segera dibuat suatu peraturan dan standar spesifikasi yang andal untuk perencanaan penilaian kapasitas jembatan beton sesuai dengan kaidah-kaidah teknik perencanaan struktur, dan bisa diterapkan pada kondisi lokal untuk perencanaan berbagai jenis jembatan di Indonesia.

Untuk menjawab hal itu dalam tulisan ini akan dikaji mengenai penilaian kapasitas jembatan beton bertulang. Tata Cara Perencanaan Penilaian

Kapasitas Jembatan Beton diharapkan dapat dipergunakan sebagai acuan di dalam perencanaan, pelaksanaan, dan pengajaran di Perguruan Tinggi.

1.2. Maksud dan Tujuan

Maksud dari tulisan ini adalah untuk menentukan besarnya nilai kapasitas suatu jembatan dengan memperhatikan persyaratan kekuatan dan kekakuan. Sedangkan tujuannya adalah untuk menyeragamkan dan mempermudah perencana dalam menghitung nilai sisa suatu jembatan berdasarkan kondisinya.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Perhitungan Kapasitas Beban Jembatan

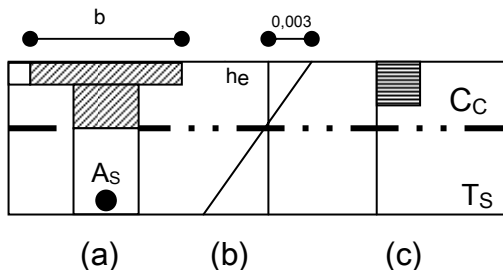
Kekuatan rencana suatu elemen jembatan harus dihitung dengan menggunakan besaran-besaran material yang ditentukan. Kuat tekan beton pada jembatan beton bertulang dapat ditentukan berdasarkan hasil uji bor inti. Bila tidak terdapat hasil uji, maka nilai-nilai dalam Tabel 1. dapat diterapkan.

Tabel 1.
Jembatan Beton – Besaran Anggapan

Tahun Pembangunan Jembatan	Beton Bertulang	
	Tulangan Teg. Leleh (MPa)	Kekuatan Beton (MPa)
Sebelum 1970	210	20
Sesudah 1970	230	22

2.2. Analisis Kapasitas Lentur dari Penampang Balok T

Balok T adalah bentuk penampang balok bukan segiempat yang paling sering digunakan, karena pelat pada umumnya dicor secara monolit dengan baloknya. Kekuatan dan kekakuan balok T akan bertambah dengan adanya kontribusi bagian pelat.



Gambar 1. Distribusi Tegangan dan Regangan pada Penampang Balok T :
 (a) Penampang Melintang ;
 (b) Regangan ;
 (c) Gaya-gaya Bagian

Berdasarkan percobaan dan pengalaman di lapangan, dapat dikatakan bahwa ada bagian pelat yang dapat dianggap berlaku secara monolit sebagai bagian dari balok (menjadi flens dari balok). Penampang gabungan berupa balok dan pelat dapat dianggap bekerja

bersama-sama untuk memikul semua beban, termasuk berat sendiri. Hal ini berlaku untuk penampang gabungan yang ditumpu terus menerus (dengan perancah) pada waktu pelaksanaan. Akan tetapi apabila

baloknya tidak ditumpu dengan perancah, maka balok tersebut harus mampu memikul berat sendiri ditambah dengan berat pelat pada waktu balok mengeras. Sesudah pelat mengeras, balok dan pelat ini keduanya memikul beban-beban lainnya.

Lebar bagian pelat yang dianggap dapat bekerja sama dengan balok dalam membentuk penampang balok berflens harus memenuhi persyaratan berikut (lihat Gambar 1) :

1. Lebar pelat tambahan di satu sisi balok (*effective overhang*) tidak lebih besar dari h_f ;
2. Pada setiap sisi, lebar pelat tambahan ini tidak lebih besar dari $\frac{1}{2}$ jarak bersih badan balok berikutnya ;
3. Lebar flens b tidak lebih besar dari $\frac{1}{4}$ bentang balok ($0,25 L$).

Untuk balok-balok tepi (balok spandrel atau balok dengan pelat hanya pada satu sisi saja) juga harus memenuhi persyaratan berikut :

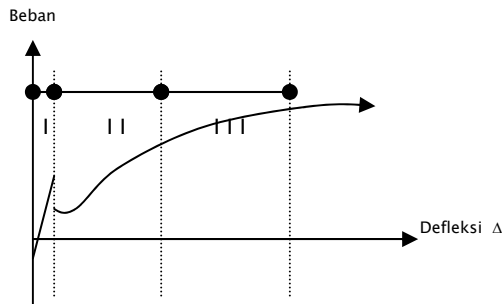
1. Lebar pelat tambahan di satu sisi balok (*effective overhang*) tidak lebih besar dari $6 h_f$;
2. Pada setiap sisi, lebar pelat tambahan ini tidak lebih besar dari $\frac{1}{2}$ jarak bersih badan balok berikutnya ;
3. Lebar flens b tidak lebih besar dari $\frac{1}{12}$ bentang balok.

Balok T terutama digunakan untuk penampang-penampang di lapangan sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 1. Pada lapangan, flens

mengalami tekan, artinya flens mempunyai kontribusi terhadap kekuatan momen pada penampang lapangan. Sedangkan pada tumpuan, flens mengalami tarik; dengan demikian bagian ini diabaikan dalam perhitungan kekuatan momen penampang tumpuan. Dengan perbandingan lain, penampang ini adalah penampang terbalik, bertulangan rangkap, yang mempunyai tulangan tekan As' di bagian bawah dan tulangan tarik As di bagian atas.

2.3. Perilaku Deleksi pada Balok

Hubungan beban-defleksi balok beton bertulang pada dasarnya dapat diidealisasikan menjadi bentuk trilinear seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Hubungan Beban Defleksi Pada Balok

Hubungan ini terdiri atas tiga daerah sebelum terjadinya runtuh (*rupture*) :

- 1 Daerah I (taraf pra-retak), di mana batang - batang structural nya bebas retak ;
- 2 Daerah II (taraf pasca-retak), di mana batang - batang structural nya mengalami retak-retak

terkontrol yang masih dapat diterima, baik distribusi atau lebarnya ;

- 3 Daerah III (taraf pasca-*serviceability*), di mana tegangan pada permukaan tarik sudah mencapai tegangan leleh.

1. Taraf pra-retak: Daerah I

Segmen praretak dari kurva beban-defleksi pada dasarnya berupa garis lurus yang memperlihatkan perilaku elastis penuh. Tegangan tarik maksimum pada balok dalam daerah ini lebih kecil daripada kekuatan tariknya akibat lentur atau lebih kecil dari modulus *rupture* f_r beton. Kekakuan lentur EI balok dapat diestimasi dengan menggunakan modulus Young E_c dari beton dan momen inersia penampang beton bertulang tak retak. Perilaku beban-defleksi sangat tergantung pada hubungan tegangan-regangan beton. Besarnya E_c dapat diestimasi dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$E_c = 4700\sqrt{f'_c} \quad (2.1)$$

Estimasi akurat mengenai momen inersia I memerlukan peninjauan kontribusi tulangan As. Ini dapat dilakukan dengan mengganti luas baja dengan luas beton ekuivalen (E_s/E_c) As karena besarnya modulus Young E_s dari tulangan lebih besar daripada modulus Young E_c dari beton. Daerah pra-retak berhenti pada saat mulainya retak lentur pertama di mana tegangan beton mencapai kekuatan modulus *rupture*-

nya f_r . Untuk keperluan desain, besarnya modulus *rupture* f_r tersebut untuk beton berbobot normal adalah sebagai berikut:

$$f_r = 7,5\sqrt{f_c'} \quad (2.2)$$

Besarnya momen retak M_{cr} pada jarak serat tarik terluar ke pusat berat penampang (y_t) adalah sebagai berikut:

$$M_{cr} = \frac{I_g f_r'}{y_t} \quad (2.3)$$

Perhitungan defleksi untuk daerah ini tidak penting karena hanya sedikit balok beton bertulang yang tidak retak pada beban aktualnya.

2. Taraf pasca-retak : Daerah II

Daerah pra-retak diakhiri dengan mulainya retak pertama dan mulai bergerak menuju daerah II pada diagram beban-defleksi. Hampir semua balok terletak pada daerah ini pada saat beban kerja. Suatu balok dapat mengalami berbagai taraf keretakan di sepanjang bentangnya sesuai dengan taraf tegangan dan defleksi pada masing-masing bagiannya. Untuk suatu balok di atas tumpuan sederhana, retak akan semakin lebar dan semakin dalam pada lapangan, sedangkan pada tumpuan hanya terjadi retak minor yang tidak lebar.

Apabila sudah terjadi retak lentur, kontribusi kekuatan tarik beton sudah

tidak ada lagi. Hal ini berarti kekakuan lentur penampangnya telah berkurang sehingga diagram beban-defleksi di daerah ini akan semakin landai dibandingkan dengan taraf pra-retak. Semakin besar retaknya, akan semakin berkurang kekakuannya sehingga mencapai suatu harga berupa *lower-bound* (batas bawah) sehubungan dengan momen inersia penampang retak. Pada saat mencapai keadaan limit beban retak kerja, kontribusi beton tarik terhadap kekakuan dapat diabaikan.

Asumsi-asumsi yang diambil dalam perhitungan defleksi berdasarkan pembuktian eksperimental adalah sebagai berikut :

1. Distribusi regangan pada tingginya dianggap linier;
2. Beton sama sekali tidak menahan tarik;
3. Beton dan baja masih ada dalam limit elastis;

Untuk menghitung momen inersia, besarnya tinggi garis netral c harus ditentukan dari keseimbangan gaya horisontal:

$$A_s f_s = b.c. \frac{f_c'}{2} \quad (2.4)$$

atau dapat ditulis sebagai berikut:

$$A_s E_s \varepsilon_s = \frac{b.c}{2} E_c \varepsilon_c \quad (2.5)$$

$$\frac{\varepsilon_c}{c} = \frac{\varepsilon_s}{d-c} \quad (2.6)$$

atau :

$$\frac{A_s E_s}{E_c} \left\{ \frac{d}{c} - 1 \right\} = \frac{b \cdot c}{2} \quad (2.7)$$

Dengan menuliskan angka perbandingan modulus E_s/E_c sebagai n , maka nilai c dapat diperoleh dengan memecahkan persamaan kuadrat dari rumus (2.7) sebagai berikut:

$$\frac{b}{2} c^2 + n A_s c - n A_s d = 0 \quad (2.8)$$

Momen inersia retak I_{cr} diperoleh dengan rumus sebagai berikut:

$$I_{cr} = \frac{b c^3}{3} + n A_s \{d - c\}^2 \quad (2.9)$$

Kekakuan aktual balok terletak di antara $E_c I_g$ dan $E_c I_{cr}$, tergantung pada faktor-faktor lain, yaitu :

1. Banyaknya retak ;
2. Distribusi pembebanan ;
3. Kontribusi beton di antara retak yang terjadi.

Umumnya, pada saat beban mencapai taraf yang menyebabkan tulangan baja leleh, besarnya kekakuan mencapai $E_c I_{cr}$. Branson telah mengembangkan suatu persamaan yang sederhana untuk menghitung kekakuan efektif $E_c I_e$

yang diperlukan dalam desain sebagai berikut:

$$I_e = \left\{ \frac{M_{cr}}{M_a} \right\}^3 I_g + \left\{ 1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \right\} I_{cr} \leq I_g \quad (2.10)$$

Persamaan (2.10) dapat ditulis dalam bentuk sebagai berikut:

$$I_e = I_{cr} + \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 (I_g - I_{cr}) \leq I_g \quad (2.11)$$

Momen inersia efektif I_e tergantung pada momen maksimum M_u di sepanjang bentang dan kapasitas momen retak M_{cr} penampangnya.

3. Taraf *post serviceability* : Daerah III

Kurva beban-defleksi pada Gambar 2. untuk daerah III jauh lebih datar daripada daerah-daerah sebelumnya. Hal ini diakibatkan hilangnya kekakuan penampang karena retak yang cukup banyak dan lebar di sepanjang bentang. Jika bebannya terus menerus bertambah, maka regangan ε_s pada tulangan pada sisi yang tertarik akan terus bertambah melebihi regangan lelehnya ε_y tanpa adanya tegangan tambahan. Balok yang tulangan tariknya mulai leleh dikatakan telah runtuh secara struktural. Balok ini terus menerus mengalami defleksi tanpa adanya penambahan beban dan retaknya semakin terbuka sehingga garis

netralnya mendekati serat tepi yang tertekan. Pada akhirnya terjadi keruntuhan tekan sekunder yang dapat mengakibatkan kehancuran total pada beton daerah momen maksimum dan segera diikuti dengan terjadinya *rupture*.

Bertambahnya taraf beban pada balok sederhana mulai dari leleh pertama pada tulangan tarik sampai taraf beban *rupture* bervariasi antara 4 % dan 10 %. Akan tetapi, besarnya defleksi sebelum *rupture* dapat beberapa kali dari besar defleksi pada saat beban yang menyebabkan leleh pertama, hal ini tergantung pada:

1. perbandingan panjang bentang terhadap tinggi balok (L/b) ;
2. persentase tulangan (ρ) ;
3. jenis beban ;
4. derajat kekakuan penampang beton ;

Berdasarkan percobaan-percobaan yang telah dilakukan, diperoleh bahwa besarnya defleksi batas berkisar antara 8 dan 12 kali defleksi pertama.

4. Perhitungan Defleksi Balok T

Defleksi batang-batang struktural merupakan fungsi dari panjang bentang, sistem perletakan, jenis pembebanan, dan kekakuan lentur EI dari elemen. Persamaan umum defleksi maksimum Δ_{maks} . Pada balok elastis adalah sebagai berikut:

$$\Delta_{maks} = K \frac{wL_n^3}{48EI_c} \quad (2.12)$$

di mana:

w = beban total pada bentang ;
 L_n = panjang bersih bentang ;
 E = modulus beton ;
 I_c = momen inersia penampang ;
 K = faktor yang tergantung pada derajat kekakuan tumpuan Rumus (2.12) dapat dinyatakan dalam momen lentur sehingga defleksi pada suatu titik pada balok adalah sebagai berikut :

$$\Delta = k \frac{ML^2}{E_c I_e} \quad (2.13)$$

di mana:

k = faktor yang tergantung pada kekakuan tumpuan dan kondisi pembebanan ;
 M = momen yang bekerja pada penampang ;
 I_e = momen inersia efektif.

Prinsip-prinsip yang sama pada penampang segiempat untuk menghitung defleksi dapat digunakan pula pada penampang bukan segiempat. Kontribusi gaya tahanan tekan dapat diperoleh dengan menggunakan luas beton tertekan. Kontribusi baja tulangan terhadap momen inersia penampang tidak retak dapat diabaikan.

III. METODOLOGI

Metodologi yang dilakukan terdiri dari :

3.1. Studi Literatur ;

Pada bagian ini dilakukan penelusuran ilmiah dari standar dan peraturan perencanaan negara-negara lain seperti AASHTO, AUSTRROAD, EUROCODE dan sebagai masukan akan digunakan juga beberapa literatur yang terkait, sehingga akan dapat dirumuskan tata cara perencanaan dalam penilaian kapasitas nilai sisa jembatan.

3.2. Studi Kasus ;

Studi kasus bertujuan untuk mengetahui nilai sisa kapasitas jembatan beton bertulang yang ada di Indonesia, khususnya daerah Jawa Barat, serta mempelajari penyebab kerusakan-kerusakan yang terjadi pada jembatan tersebut dan cara penanggulangannya. Kegiatan ini dilanjutkan dengan evaluasi dan analisis terhadap salah satu contoh jembatan beton bertulang.

3.3. Analisis Kapasitas Struktur Jembatan Beton Bertulang

Analisis ini terdiri dari analisis struktur jembatan beton bertulang sebelum terjadi penurunan kapasitas dan setelah jembatan tersebut mengalami penurunan kapasitas dengan beberapa metode perbaikan yang dilakukan.

3.4. Diskusi Teknik

Diskusi ini bertujuan untuk mendapatkan masukan-masukan, saran, atau kritikan dari para pakar untuk menyempurnakan Tata Cara Perencanaan Penilaian Kapasitas Jembatan.

IV. STUDI KASUS

Di dalam studi kasus ini dilakukan pemeriksaan detail terhadap jembatan, terutama yang memiliki struktur gelagar hasil desain lama. Adapun kegiatan pemeriksaan detail meliputi pemeriksaan mutu beton, loading, vibrasi, selimut beton, retak serta dimensi dari struktur yang ada di jembatan.

4.1 Jembatan Lawang Tadji

a. Data Teknis Jembatan

Jembatan Lawang Tadji di bangun pada tahun 1954, dan berada di lokasi Bogor – Jasinga , pada Km 98.08 Jakarta. Adapun data teknis dari jembatan Lawang Tadji adalah sebagai berikut :

Panjang : 45,3 meter

Lebar : 6,4 meter

Jumlah bentang : 3 (tiga)

Untuk gelagar memanjang diperoleh data teknis sebagai berikut :

Panjang : 15 meter

Lebar : 0,42 meter

Tinggi : 0,86 meter

Jumlah : 6 buah

Jarak antar gelagar : 5 meter

Adapun data teknis dari diafragma adalah :

Panjang : 4,7 meter
Lebar : 0,3 meter
Tinggi : 0,2 meter
Jumlah : 12 buah
Jarak antar diafragma : 3,0 meter

b. Kondisi Visual Jembatan

Kondisi lingkungan di sekitar jembatan Lawang Tadji dari hasil pemeriksaan secara visual di antaranya :

- Kondisi aspal arah Jasinga banyak yang berlubang. Ketebalan aspal diperkirakan sebesar 10 cm (telah mengalami overlay) ;
- Pagar pengaman jembatan masih dalam kondisi cukup baik walaupun ada yang sedikit gompal pada tiang sandarannya ;
- Drainase jembatan banyak yang berkarat dan berwarna hitam pada bagian bawahnya ;
- Pemeriksaan pada gelagar memanjang tampak terlihat adanya retak melintang dan sedikit mengalami gompal ;
- Pemeriksaan pada lantai jembatan hampir tidak banyak adanya kerusakan walaupun ada sedikit yang mengalami keropos. Ketebalan pelat lantai diperkirakan sebesar 20 cm ;
- Pemeriksaan pada diafragma hampir tidak terlihat adanya retak sehingga struktur masih dalam kondisi cukup baik ;
- Kondisi *expansion joint* tidak terlihat karena tertutup aspal;

- Perletakan tidak ada karena gelagar langsung menyambung pada abutment ;
- Pemeriksaan mutu beton oleh alat *Hammer Test* pada lantai menghasilkan nilai sebesar 248,73 kg/cm² ;
- Pemeriksaan mutu beton oleh alat *Hammer Test* pada gelagar memanjang menghasilkan nilai sebesar 272,80 kg/cm² ;

c. Pemeriksaan Detil

Pemeriksaan Mutu Beton

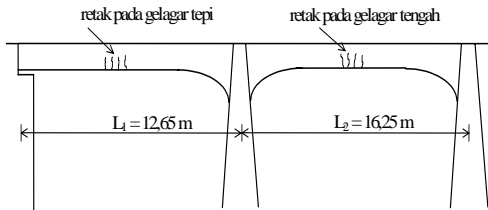
Pemeriksaan mutu beton pada gelagar beton dilakukan dengan menggunakan alat *hammer test* dan *core drill*. Dari hasil pemeriksaan didapat besarnya mutu beton rata-rata untuk gelagar beton adalah sebesar 295,9 kg/cm². Sedangkan besarnya mutu beton rata-rata untuk lantai beton adalah sebesar 155,4 kg/cm² (dari hasil uji tekan silinder yang didapat dari core drill).

Pemeriksaan Gelagar

Pemeriksaan yang dilakukan pada gelagar beton adalah pemeriksaan retak, dimensi, tulangan dan ketebalan selimut beton. Pemeriksaan kedalaman retak dilakukan dengan menggunakan alat pundit, lebar retak dengan alat crackmeter dan panjang retak dengan alat meteran. Pemeriksaan dimensi dilakukan dengan alat meteran. Sedangkan pemeriksaan tulangan dan selimut beton dilakukan dengan menggunakan alat cover meter. Adapun hasil pemeriksaan pada gelagar adalah sebagai berikut :

Pemeriksaan Retak

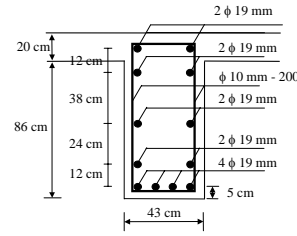
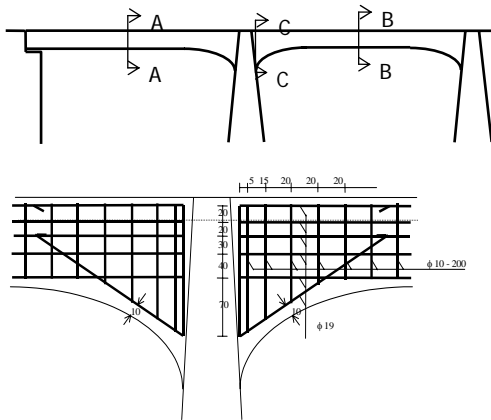
Retakan yang terjadi pada gelagar adalah retak melintang yang banyak terjadi di bagian tengah gelagar baik pada gelagar tengah maupun pada gelagar tepi. Kedalaman dan lebar retak pada gelagar tepi adalah sebesar 65 mm dan 0,2 mm, sedangkan pada gelagar tengah adalah 58 mm dan 0,1 mm (Gambar 3).



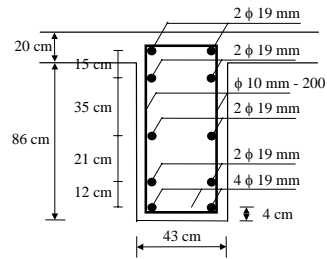
Gambar 3. Retak pada Struktur Gelagar

Pemeriksaan Dimensi, Tulangan dan Selimut Beton

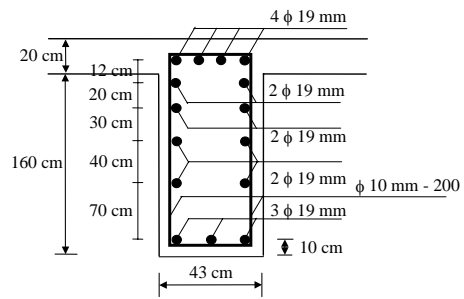
Pemeriksaan dimensi dilakukan untuk mengukur dimensi penampang gelagar pada bagian tengah. Hasil pemeriksaan dimensi dapat dilihat pada Gambar 4.



Potongan A-A



Potongan B-B



Potongan C-C

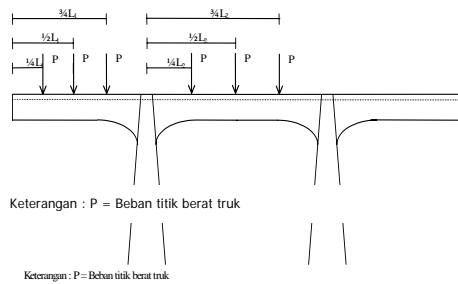
Gambar 4. Tulangan pada Gelagar

Regangan dan Lendutan

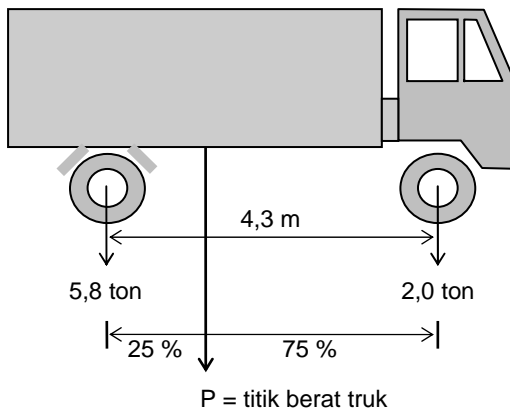
Pengukuran regangan dilakukan dengan menggunakan alat *strain gauge* yang dihubungkan pada alat data taker dan komputer, sedangkan pengukuran lendutan menggunakan alat *dial gauge*.

Pembebanan

Pembebanan dilakukan untuk mendapatkan data mengenai regangan dan lendutan yang terjadi pada jembatan. Pembebanan dilakukan dengan menggunakan truk 2 as yang melintasi jembatan dengan jarak $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, dan $\frac{3}{4}$ bentang baik bentang tepi maupun bentang tengah, sebagaimana ditunjukkan gambar 5 dan gambar 6.



Gambar 5. Lokasi Pembebanan pada Jembatan

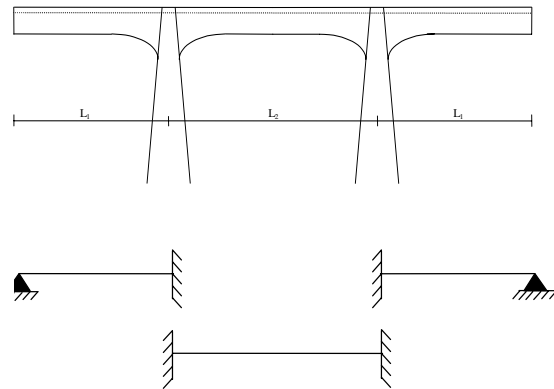


Gambar 6. Truk 2 As yang Digunakan Sebagai Beban di Jembatan

V. ANALISIS DAN EVALUASI PEMBAHASAN

5.1. Pemodelan Struktur

Pemodelan struktur dilakukan untuk memudahkan dalam menganalisis data-data yang telah didapat dari lapangan. Pemodelan struktur pada Jembatan Lawang Tadji bisa dilihat pada gambar 7.



Gambar 7. Pemodelan Struktur Jembatan Lawang Tadji

5.2. Perhitungan Momen Luar

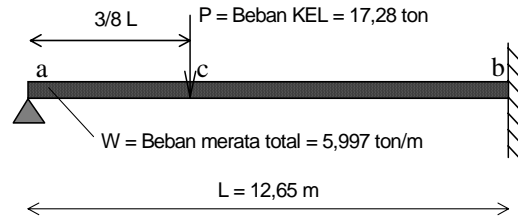
Perhitungan momen luar gelagar jembatan diperlukan untuk mengetahui sisa kekuatan dari gelagar dengan cara membandingkan antara momen luar baik momen lapangan maupun momen tumpuan akibat berat aspal, berat railing, berat trotoar, berat sendiri gelagar, berat lantai, berat air hujan, beban UDL dan KEL dengan momen kapasitas dari penampang gelagar.

Prosedur perhitungan momen luar adalah sebagai berikut :

1. Menghitung berat aspal :
Berat aspal utk satu gelagar adalah 12,5235 ton ;
2. Menghitung berat railing :
Berat railing untuk satu gelagar adalah 0,6325 ton ;
3. Menghitung berat trotoar :
Berat trotoar untuk satu gelagar adalah 3,1625 ton ;
4. Menghitung berat sendiri gelagar:
Berat satu gelagar adalah 14,4147 ton ;
5. Menghitung berat lantai :
Berat lantai untuk satu gelagar adalah 10,9739 ton ;
6. Menghitung berat air hujan :
Berat air hujan adalah 3,795 ton
7. Menghitung beban merata UDL :
Beban UDL untuk satu gelagar adalah 2,4 ton/m ;
8. Menghitung beban terpusat KEL :
Beban KEL untuk satu gelagar adalah 13,091 ton. Beban KEL dengan kejut adalah 17,28 ton ;
9. Menghitung berat sendiri total untuk satu gelagar :
Bila dijumlahkan dengan beban merata UDL, maka beban merata total adalah sebesar 5,997 ton/m.

5.3. Gelagar Beton Bentang Tepi

Pemodelan struktur untuk gelagar tepi bisa dilihat pada gambar 8.

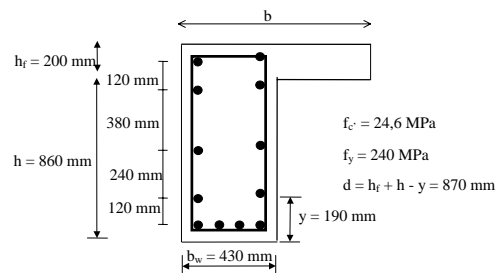


Gambar 8. Pemodelan struktur gelagar tepi

Momen lapangan total adalah sebesar 105,5 ton-m dan momen tumpuan total adalah sebesar 155,18 ton-m.

a. Perhitungan Momen Kapasitas Penampang Gelagar di Tengah Bentang

Penampang gelagar tepi ditengah bentang yang dijadikan perhitungan momen kapasitas diperlihatkan pada gambar 9.



Gambar 9. Penampang struktur gelagar tepi di tengah bentang

Langkah-langkah untuk menghitung momen kapasitas penampang gelagar adalah sebagai berikut :

1. Menentukan lebar flens efektif (b) adalah 1054 mm ;

2. Asumsi tulangan baja tarik leleh sehingga gaya tarik total adalah, $N_T = 544,61 \text{ kN}$;
3. Menentukan gaya tekan yang tersedia apabila hanya daerah flens saja yang menyediakan daerah tekan, $N_D = 4407,8 \text{ kN}$;
4. Apabila $N_T < N_D$, maka balok berperilaku sebagai balok persegi dengan lebar b ;
5. Memeriksa ρ_{\min} dan ρ_{aktual} dimana ρ_{aktual} harus lebih besar dari $\rho_{\min} = 0,00583$ dan $\rho_{\text{aktual}} = 0,00607$;
6. Menghitung rasio penulangan untuk kemudian menentukan k . Dari tabel didapat nilai k (diambil nilai k minimum) = $1,3463 \text{ MPa}$
7. Menghitung momen kapasitas, $M_R = 85,923 \text{ ton.m}$;
8. Memeriksa persyaratan daktilitas dimana $A_{\text{smaks}} > A_s$;

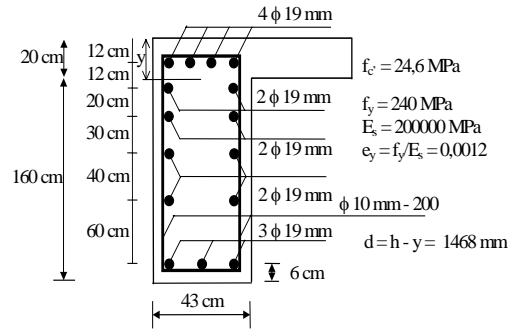
Dari hasil perhitungan di atas, didapat :

M_c = momen lapangan akibat beban hidup KEL dan UDL = $65,02 \text{ ton.m}$.
 M_R = momen kapasitas gelagar di tengah bentang = $85,923 \text{ ton.m}$

Hal ini menunjukkan bahwa pada daerah lapangan, gelagar bentang tepi masih mampu menerima beban standar Bina Marga. Hal ini menunjukkan bahwa pada daerah lapangan, gelagar bentang tepi hanya mampu menerima $81,44 \%$ beban Bina Marga.

b. Perhitungan Momen Kapasitas Penampang Gelagar di Ujung Bentang

Penampang gelagar tepi untuk perhitungan momen kapasitas diperlihatkan pada gambar 10.



Gambar 10. Penampang struktur gelagar tepi di ujung bentang

Langkah untuk menghitung momen kapasitas penampang gelagar di ujung bentang adalah sebagai berikut:

1. Asumsi tulangan baja tarik leleh sehingga gaya tarik total adalah, $N_T = 816,89 \text{ kN}$;
2. Menentukan tebal daerah tekan (a) ;
3. Memeriksa ρ_{\min} dan ρ_{aktual} dimana ρ_{aktual} harus lebih besar dari ρ_{\min} ;
4. Menghitung momen kapasitas, $M_R = 117,434 \text{ ton.m}$

Dari hasil perhitungan di atas, didapat :

M_b = momen tumpuan gelagar jembatan di ujung bentang = $155,18 \text{ ton.m}$.

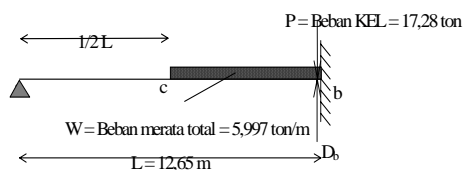
M_R = momen kapasitas gelagar di ujung bentang = 117,434 ton.m.

Hal ini menunjukkan bahwa pada daerah tumpuan, gelagar bentang tepi hanya mampu menerima 75,68 % beban Bina Marga.

c. Kapasitas Gaya Geser

Pemodelan struktur gelagar tepi untuk geser diperlihatkan pada gambar 11.

Kapasitas gaya geser penampang gelagar adalah 35,2 ton.



Gambar 11. Pemodelan struktur gelagar tepi untuk geser

D_b = gaya geser luar gelagar tepi adalah 55,21 ton

Hal ini menunjukkan bahwa pada gelagar bentang tepi, tulangan geser hanya mampu menerima 63,75 % beban Bina Marga.

Prosedur perhitungan gelagar beton untuk bentang tengah adalah sama seperti perhitungan gelagar beton pada bentang tepi.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

- Retakan yang terjadi pada gelagar baik gelagar tepi maupun gelagar tengah umumnya retak melintang (retak momen) ; Kedalaman dan

lebar retak pada gelagar tepi adalah sebesar 65 mm dan 0,2 mm, sedangkan pada gelagar tengah adalah 58 mm dan 0,1 mm.

- Retakan yang terjadi pada lantai adalah retak buaya dengan kedalaman retak rata-rata sebesar 25 cm (retak sudah menembus lantai sampai ke lapisan aspal) dan lebar retakan rata-rata sebesar 0,2 mm.
- Besarnya lendutan maksimum di tengah bentang terbesar yang terjadi pada jembatan akibat beban truk (berat truk 15,6 ton) yang melintasi jembatan adalah sebesar 10,4 mm. Lendutan tersebut jauh lebih kecil dari lendutan yang diijinkan sebesar 40,625 mm. Hal tersebut menunjukkan kekakuan jembatan masih cukup besar.

6.2. Saran

- Disarankan untuk melakukan penutupan retak yang ada pada gelagar dan lantai dengan bahan penutup (joint sealent) bagi retak yang $< 0,3$ mm dan injeksi epoxy untuk retak yang $\geq 0,3$ mm;
- Apabila volume lalu lintas kendaraan berat semakin meningkat, disarankan untuk melakukan upaya perkuatan daya dukung jembatan dengan cara :
 - ✓ perkuatan steel plate bonding pada lantai jembatan
 - ✓ perkuatan external prestressing pada gelagar jembatan
- Perlunya perbaikan pada bagian lain dari jembatan yang mengalami kerusakan seperti aspal, pagar pengaman dan saluran drainase.

DAFTAR PUSTAKA

1. Bungey, J.H., " *The Testing of Concrete in Structure* ", Surrey University Press, London, 1982 ;
2. Departemen Perumahan dan Prasarana Wilayah, " *Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan, Bagian 2 Beban Jembatan* ", BMS 1992 ;
3. Kay, Ted., " *Assessment and Renovation of Concrete Structures* ", Longman Scientific and Technical, England, 1992 ;
4. Raina, V.K., " *Concrete Bridges, Inspection, Repair, Strengthening, Testing and Load Capacity Evaluation* ", Tata Mc Graw – Hill Publishing Company Limited, New Delhi, 1994 ;
5. Transport Research Board No. 301, " *Load Capacity Evaluation of Existing Bridges* ", Washington DC, 1987.

Penulis :

- 1) **N. Retno Setiati, ST, MT**,
Penata Muda Tingkat I Balai Jembatan dan Bangunan Pelengkap Jalan, Pusat Litbang Jalan dan Jembatan, Badan Litbang Departemen Pekerjaan Umum.
- 2) **Ir. Setyo Hardono, MT**,
Peneliti Muda Balai Jembatan dan Bangunan Pelengkap Jalan, Pusat Litbang Jalan dan Jembatan, Badan Litbang Departemen Pekerjaan Umum.