

ANALISIS PERHITUNGAN LUAS TULANGAN GELAGAR JEMBATAN PENAMPANG PERSEGI DAN PENAMPANG T MENURUT METODE BMS 1992

Sri Rachmila Manangi

Theo K. Sendow, Audie L.E. Rumayar

Fakultas Teknik, Jurusan Sipil, Universitas Sam Ratulangi Manado

email : srimanangi07@ymail.com

ABSTRAK

Suatu jembatan direncanakan untuk mampu memikul beban baik beban hidup maupun beban mati. Gelagar adalah bagian struktur atas jembatan yang berfungsi mendukung semua beban yang bekerja pada lantai jembatan. Dua tipe penampang gelagar yaitu gelagar penampang persegi dan gelagar penampang T dianalisis untuk mengetahui besarnya perbedaan luas tulangan perlu dari kedua penampang ini, menggunakan metode Bridge Management System 1992 (BMS 1992), dengan bentang jembatan 8.00 m sampai 25.00 dan tinggi gelagar 0.60 m sampai 1.80 m terhadap perencanaan tulangan lentur gelagar yang menggunakan mutu beton (f_c') 30 MPa, mutu baja (f_y) 300 MPa. Hasil analisis menunjukkan perhitungan luas tulangan dengan analisa penampang T akan sedikit lebih ekonomis (paling kecil 85%), dibandingkan dengan perhitungan analisa penampang persegi, pada tinggi gelagar yang relatif rendah. Namun, pada tinggi gelagar yang semakin tinggi, hasil perhitungan luas tulangan kedua metode ini, akan mendekati sama (mendekati 100%). Sehingga perhitungan luas tulangan dengan analisa penampang persegi akan lebih dianjurkan dari pada analisa penampang T untuk tulangan tunggal.

Kata Kunci : Gelagar Persegi, Gelagar T, BMS 1992, Luas Tulangan

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Perencanaan tulangan gelagar induk beton bertulang direncanakan untuk mampu memikul beban yang ada. Dalam metode pembebanan "Bridge Management System 1992" diberikan dua alternatif perhitungan analisa tulangan balok gelagar yaitu dengan menggunakan analisa perhitungan gelagar penampang persegi dan gelagar penampang "T". Gelagar penampang persegi adalah penampang yang slab dan gelagarnya dianalisa tidak monolit, sedangkan gelagar penampang "T" adalah penampang balok persegi yang monolit dengan slab. Dimana, slab pada umumnya dicor secara monolit dengan gelagarnya. Maka kekuatan dan kekakuan gelagar persegi akan bertambah dengan adanya kontribusi dari slab.

Tentunya dengan menggunakan kedua analisa tersebut, akan menghasilkan luas tulangan yang berbeda antara gelagar persegi dan gelagar T. Oleh karena itu, peneliti tertarik untuk menganalisis perbedaan luas tulangan yang diperlukan pada gelagar dengan menggunakan analisa penampang persegi dan analisa

penampang "T" pada jembatan beton sederhana dengan penampang tipikal pada bentang pendek.

Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, akan dihitung berapa besar luas tulangan perlu terhadap gelagar jembatan dengan menggunakan gelagar penampang persegi dan gelagar penampang T.

Batasan Masalah

Dalam penelitian ini pembahasan dibatasi pada:

1. Penelitian dilakukan hanya pada jembatan yang terletak diatas dua perletakan sederhana.
2. Tipikal penampang melintang adalah lebar trotoir 1.00m kiri dan kanan, lebar jalur jalan, 7.00m (1 – 7 – 1) dan tebal lantai jembatan 0.20 m.
3. Panjang bentang dari 8.00 m sampai 25.00 m dengan kenaikan panjang jembatan sebesar 1.00 m.
4. Tidak menghitung gaya geser serta tulangan geser.
5. Mutu beton yang digunakan adalah 30 MPa, mutu baja 300 MPa

6. Perbandingan tinggi gelagar terhadap lebar gelagara adalah 1 : 2.
7. Perencanaan tulangan menggunakan tulangan tunggal metode BMS 1992.

Tujuan Penelitian

Penelitian ini memiliki tujuan:

1. Menentukan variasi tinggi gelagar yang dapat digunakan pada bentang tertentu dengan menggunakan gelagar penampang persegi dan gelagar penampang T.
2. Menentukan tinggi gelagar tertentu yang bisa digunakan pada variasi bentang tertentu dengan menggunakan gelagar penampang persegi dan gelagar penampang T.
3. Membandingkan luas tulangan perlu pada gelagar penampang persegi dan gelagar penampang T yang dapat digunakan pada bentang jembatan yang sama.

Manfaat Penelitian

Dengan adanya penelitian ini, dapat diperoleh manfaat :

1. Untuk memilih tinggi balok dan metode analisa penampang yang akan digunakan pada desain panjang bentang jembatan tertentu.
2. Sebagai informasi besarnya perbedaan tulangan yang diperlukan antara gelagar penampang persegi dan penampang T.
3. Sebagai bahan referensi dalam perencanaan gelagar jembatan dan balok beton bertulang yang terletak diatas dua tumpuan sederhana.

LANDASAN TEORI

Bridge Management System

Bridge management system merupakan panduan perencanaan jembatan memuat tahapan perencanaan struktur jembatan yang terperinci dan umum digunakan di Indonesia. Panduan ini dikumpulkan dari tiga sumber berbeda:

- Praktek di Indonesia—mengingat pada bentuk struktural.
- Panduan penyelidikan – untuk menjamin bahwa rencana berdasarkan besaran yang tepat untuk aliran sungai dan tanah.
- Peraturan jembatan—untuk menjamin struktur jembatan adalah memadai dalam segi kekuatan dan kelayakan.

Pengertian Jembatan

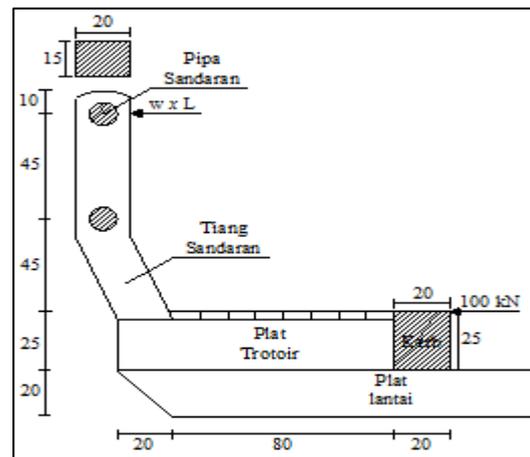
Jembatan merupakan suatu bangunan sipil yang berfungsi untuk menghubungkan dua

bagian jalan yang terputus oleh rintangan–rintangan. Ada juga jembatan yang dibangun selain untuk keperluan transportasi tetapi juga untuk pariwisata. Secara struktural jembatan terbagi atas dua bagian yaitu: Struktur Bangunan Atas dan Struktur Bangunan Bawah.

Struktur Bangunan Atas

Struktur bangunan atas jembatan adalah komponen struktur yang terletak pada bangunan atas jembatan dan berfungsi untuk menampung seluruh beban yang timbul akibat lintasan kendaraan maupun orang, yang nantinya disalurkan ke bangunan bawah. Pada umumnya struktur bangunan atas jembatan terdiri dari:

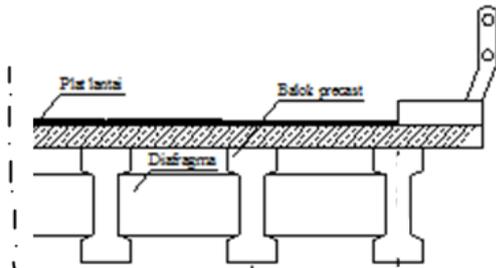
1. Tiang sandaran
Tiang sandaran digunakan untuk member rasa aman bagi kendaraan dan orang yang akan melewati jembatan tersebut. Fungsi dari tiang sandaran adalah sebagai perletakan dari pipa sandaran.
2. Trotoar
Trotoar adalah bagian yang digunakan bagi pejalan kaki. Biasanya memiliki lebar 0.5 m – 2.0 m
3. Lantai kendaraan yang diatasnya terdapat lapis perkerasan jalan.
Lantai kendaraan adalah bagian tengah dari plat jembatan yang berfungsi sebagai pelintasan kendaraan.



Gambar 1. Tiang Sandaran, Trotoar dan Plat Lantai Jembatan

4. Balok diafragma
Balok diafragma merupakan pengaku dari balok-balok memanjang dan tidak memikul beban plat lantai dan diperhitungkan seperti balok biasa.
5. Balok memanjang

Balok memanjang adalah balok utama yang memikul beban dari lantai kendaraan maupun beban kendaraan yang melewati jembatan tersebut dan kemudian beban-beban tersebut didistribusikan menuju pondasi. Besarnya ukuran balok memanjang tergantung panjang bentang.



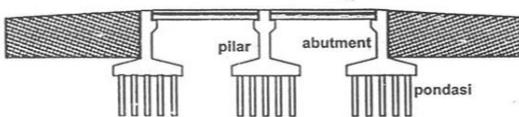
Gambar 2. Balok diafragma dan Balok memanjang

Struktur Bangunan Bawah

Struktur bangunan bawah jembatan adalah komponen struktur yang terletak pada bagian bawah jembatan yang berfungsi untuk memikul seluruh beban yang disalurkan oleh bangunan atas dan beban akibat dari bangunan bawah itu sendiri dan kemudian disalurkan ke pondasi. Selanjutnya beban-beban tersebut disalurkan ke tanah oleh pondasi. Bangunan bawah jembatan meliputi:

1. Pangkal Jembatan (abutment)

Abutment adalah tempat perletakan bangunan bagian atas jembatan. Abutment disesuaikan pada hasil penyelidikan tanah dan sedapat mungkin harus diletakan diatas tanah keras supaya dapat tercapai tegangan tanah yang diinginkan. Dengan memperhitungkan terjadinya erosi maka paling tidak dasar abutment harus berada 2 m dibawah muka tanah asli.



Gambar 3. Abutment, Pilar, dan Pondasi

2. Pilar

Pilar atau pier merupakan struktur pendukung bangunan atas. pilar biasa digunakan pada jembatan bentang panjang, posisi pilar berada diantara kedua abutment.

3. Pondasi

Pondasi adalah dari jembatan yang tertanam didalam tanah. Fungsi dari pondasi adalah untuk menahan beban-beban bangunan yang berada diatasnya dan meneruskannya ketanah dasar, baik kearah vertikal maupun kearah horizontal.

Pemilihan Bentang dan Tipe Gelagar Jembatan

Pemilihan panjang bentang didasarkan pada jenis bangunan atas, untuk jembatan beton bertulang gelagar beton “T” bisa digunakan pada variasi bentang 6.00 m samapai 25.00 m.

Tabel 1. Konfigurasi Bangunan Atas Tipikal

Jenis Bangunan Atas	Bentuk bentang utama	Variasi Bentang	Perbandingan h ₁ /tipikal tinggi/bentang	Penampilan
Jembatan beton bertulang (a) Pelat beton bertulang		5 - 10 m	1/12,5	fungsional
(b) Pelat berongga		10 - 18 m	1/18	fungsional
(c) Kanal pracetak		5 - 13 m	1/15	kurang
(d) Gelagar beton "T"		5 - 25 m	1/12 - 1/15	fungsional
(e) Gelagar beton boks		12 - 30 m	1/12 - 1/15	fungsional

Sumber : Bridge Management system 1992

Jenis Pembebanan pada Gelagar Jembatan

Setiap jembatan yang akan dibangun harus direncanakan mampu untuk menahan beban-beban yang akan bekerja pada jembatan. Beban-beban yang akan bekerja pada jembatan dibagi menjadi 3 bagian, yaitu: Beban Primer, Beban Sekunder, dan Beban Khusus. Namun dalam perencanaan gelagar jembatan, beban yang diperhitungkan adalah beban primer saja.

Beban Primer

Beban primer merupakan beban utama dalam perhitungan tegangan pada setiap perencanaan jembatan. Beban primer terdiri dari:

Beban Mati

Beban mati adalah beban yang timbul akibat berat sendiri jembatan, baik akibat dari bangunan atas maupun bangunan bawah. Masing-masing material bangunan mempunyai *berat volume* yang berbeda-beda. Oleh karena itu, beban mati sangat dipengaruhi oleh material yang digunakan.

Beban Hidup

Beban hidup adalah beban yang timbul akibat dari pergerakan pejalan kaki dan lalu lintas di atas jembatan. Beban hidup akibat dari lalu lintas kendaraan terbagi atas dua bagian, yaitu: Beban Lajur “D” dan Beban Truk “T”.

Beban Sekunder

Beban sekunder adalah beban sementara yang selalu diperhitungkan dalam perhitungan tegangan pada setiap perencanaan tegangan. Beban sekunder terdiri dari:

Beban Angin

Dalam perencanaan jembatan rangka batang, beban angin lateral diasumsikan terjadi dalam dua bidang, yaitu :

- *Beban angin pada rangka utama*
Beban angin ini dipikul oleh ikatan angin atas dan ikatan angin bawah.
- *Beban angin pada bidang kendaraan*
Beban angin ini dipikul oleh ikatan angin bawah saja. Dalam perencanaan untuk jembatan terbuka, beban angin dipikul oleh semua ikatan angin bawah.

Gaya Akibat Perbedaan Suhu

Perbedaan suhu harus ditetapkan sesuai dengan keadaan setempat. Peninjauan diadakan terhadap timbulnya tegangan-tegangan struktural karena adanya perubahan bentuk akibat perbedaan suhu antara bagian-bagian jembatan baik yang menggunakan bahan yang sama maupun dengan bahan yang berbeda. Pada umumnya pengaruh perbedaan suhu tersebut dapat dihitung dengan mengambil perbedaan suhu untuk:

- *Bangunan baja*
 - Perbedaan suhu maksimum-minimum = 30° C
 - Perbedaan suhu antara bagian-bagian jembatan = 15° C
- *Bangunan beton*
 - Perbedaan suhu maksimum-minimum = 15° C
 - Perbedaan suhu antara bagian-bagian jembatan < 15°C tergantung dimensi penampang.

Gaya Rangkak dan Susut

Besarnya pengaruh rangkak dan susut bahan beton terhadap konstruksi apabila tidak ada kekuatan lain, dapat dianggap senilai dengan gaya yang timbul akibat turunya suhu sebesar 15° C.

Gaya Rem

Pengaruh ini diperhitungkan senilai dengan 5% dari beban “D” tanpa koefisien kejut yang memenuhi semua jalur yang ada dan dalam satu jurusan.

Gaya Akibat Gempa Bumi

Gaya akibat gempa bumi perlu diperhitungkan pada jembatan-jembatan yang terletak pada daerah rawan gempa bumi.

Gaya Akibat Gesekan pada Tumpuan-tumpuan Bergerak

Gaya gesek yang timbul hanya ditinjau akibat beban mati saja, sedangkan besarnya ditentukan berdasarkan koefisien gesek pada tumpuan yang bersangkutan dengan nilai sebagai berikut:

- *Tumpuan rol baja*
 - Dengan satu atau dua rol: 0.01
 - Dengan tiga atau lebih rol: 0.05
- *Tumpuan gesekan*
 - Antara baja dengan campuran tembaga keras dan baja: 0.01
 - Antara baja dengan baja atau besi tuang: 0.05
 - Antar karet dengan baja/beton: 0.15-0.18

Beban Khusus

Beban khusus merupakan beban-beban khusus untuk perhitungan tegangan pada perencanaan jembatan. Beban khusus terdiri dari:

- a. Gaya Sentrifugal
- b. Gaya Tumbukan Pada Jembatan Layang
- c. Beban dan Gaya Selama Pelaksanaan
- d. Gaya Akibat Aliran Air dan Tumbukan Benda-benda Hanyutan
- e. Gaya Angkat

Faktor Beban dan Faktor Reduksi Kekuatan

Pada perencanaan keadaan batas, faktor keamanan terbagi antara faktor beban dan faktor reduksi kekuatan.

Faktor Beban

Faktor beban adalah angka yang akan dikalikan dengan beban nominal yang berfungsi untuk mengatasi :

- Adanya perbedaan yang tidak diinginkan pada beban
- Ketidak tepatan dalam memperkirakan pengaruh beban
- Adanya perbedaan ketepatan dimensi dalam pelaksanaan.

Tabel 2. Faktor Beban Keadaan Batas

No.	Jenis Beban	Faktor Beban Keadaan Batas		
		Deskripsi atau Keterangan	Biasa (Max)	Terkurangi (Min)
1	Berat Sendiri	Baja, aluminium	1.1	0.9
		Beton Pracetak	1.2	0.85
		Beton cor ditempat	1.3	0.75
		Kayu	1.4	0.7
2	Beban Mati Tambahan	-	2.0	0.7
2	Beban Lajur “D”	-	2.0	Tidak Ada
3	Beban Truk “T”	-	2.0	Tidak Ada
4	Gaya Rem	-	2.0	Tidak Ada
5	Beban Pejalan Kaki	-	2.0	Tidak Ada

Sumber :Bridge Management system 1992

Faktor Reduksi Kekuatan

Faktor reduksi kekuatan adalah angka yang akan dikalikan dengan kapasitas nominal suatu elemen struktur.

Tabel 3. Faktor Reduksi Kekuatan ULS untuk Beton

No.	Situasi Rencana	Faktor Reduksi Kekuatan
1	Lentur dengan atau tanpa tarik aksial	0.75
2	Kombinasi lentur dan tekan tarik aksial dimana :	
	$Nu \geq Nub$	0.6
	$Nu \geq Nub$ dan $Ku \leq 0.4$ Untuk kekuatan penampang dalam lentur murni	$0.6 + 0.15 (1 - Nu / Nub)$
	$Nu \geq Nub$ dan $Ku > 0.4$ Untuk kekuatan penampang dalam lentur murni	$0.6 + [(0.75Mub/Mu) - 0.6](1 - Nu/Nub)$
3	Geser	0.7
4	Puntir	0.7
5	Tumpuan	0.6
6	Lentur, geser, dan tekan dalam beton polos	0.6
7	Lentur, geser, dan tarik dalam hubungan	0.6
8	Tekanan dan tarik dalam aksi penunjang dan pengikat	0.7

Sumber: Bridge Management system 1992

Perhitungan Pembebanan Gelagar Jembatan

Dalam perhitungan pembebanan jembatan, beban ada yang berupa beban terpusat dan beban terbagi rata yang berada diatas dua perletakan sederhana yaitu sendi-rol. Seluruh perhitungan akan dibuat menjadi persamaan umum dengan menganggap seluruh variabel adalah konstan kecuali bentang jembatan dan tinggi gelagar.

Beban Rencana

Beban rencana adalah beban yang digunakan dalam perhitungan perencanaan jembatan. Karena beban dari gelagar tengah lebih besar dari gelagar tepi maka dipenelitian ini gelagar tepi dibuat seragam dengan gelagar tengah.

Berat Permanen

- Berat sendiri
Berat sendiri merupakan beban mati dari struktur jembatan dan merupakan berat isi atau berat volume dari material jembatan. Berikut ini adalah berat volume nominal dan berat volume terfaktor dari beberapa jenis material yang disarankan oleh BMS 1992.
- Beban mati tambahan
Beban mati tambahan adalah berat semua elemen tidak struktural yang dapat bervariasi selama umur jembatan seperti:
 - Perawatan permukaan khusus
 - Pelapisan ulang dianggap sebesar 50 mm aspal beton hanya digunakan dalam kasus menyimpang dan dianggap nominal 22 kN/m³

- Sandaran, pagar, pengaman, dan penghalang beton
- Pelengkap umum seperti pipa air dan penyaluran (dianggap kosong atau penuh)

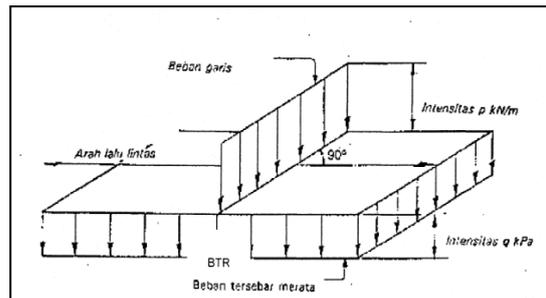
Tabel 4. Berat Bahan Nominal dan ULS

Bahan Jembatan	Berat Sendiri Nominal S.L.S kN/m ³	Berat Sendiri Biasa U.L.S kN/m ³	Berat Sendiri Terkurangi U.L.S kN/m ³
Beton Massa (cor)	24	31.2	18
Beton Bertulang (cor)	25	32.5	18.80
Beton bertulang atau pratekan	25	30	21.30
Baja	77	84.7	69.3
Kayu, Kayu lunak	7.8	10.9	5.50
Kayu, Kayu keras	11.0	15.4	7.7

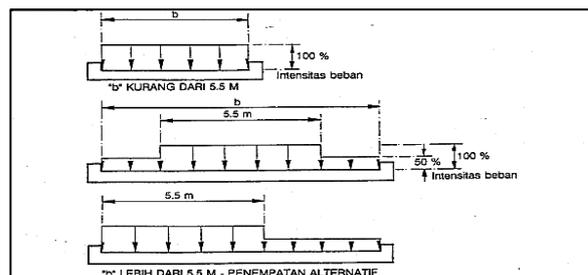
Sumber: Bridge Management System 1992

Beban Lalulintas

- Beban lajur “D”
Beban lajur “D” adalah beban lalu lintas yang bekerja diatas perkerasan jalan jembatan. Beban lajur “D” ditempatkan melintang pada lebar dari jalan kendaraan jembatan yang ekuivalen dengan rangkaian kendaraan sebenarnya. Beban lajur “D” terbagi atas dua, yaitu Beban Terbagi Rata dan Beban Garis. Beban Terbagi Rata adalah beban yang ditempatkan tegak lurus arah lalu lintas dan bekerja disepanjang bentang jembatan. Beban Garis adalah beban lalu lintas yang ditempatkan dalam kedudukan sembarang pada bentang jembatan dan tegak lurus dengan arah lalu lintas. Secara umum, beban “D” akan menjadi beban penentu dalam peritungan jembatan yang mempunyai bentang sedang sampai panjang,



Gambar 4. Beban Lajur “D”



Gambar 5. Penyebaran Beban Lajur “D”

▪ *Beban Terbagi Rata (Uniformly Distributed Load)*

Beban terbagi rata sangat tergantung pada bentang jembatan. Karena beban ini ditempatkan diseluruh bentang jembatan dengan arah tegak lurus arah lalu lintas. Oleh karena itu BMS 1992 memberikan nilai sebagai berikut:

$$L \leq 30 \text{ m} ; q = 8.0 \text{ kPa}$$

$$L > 30 \text{ m} ; q = 8.0 (0.5 + 15/L) \text{ kPa}$$

Dimana, L adalah bentang jembatan dan q adalah beban terbagi rata dengan satuan kPa.

▪ *Beban Garis (Knife Edge Load)*

Beban garis tergantung pada bentang jembatan karena beban ini merupakan beban terpusat yang ditempatkan pada kedudukan sembarang dimana yang menghasilkan nilai yang paling maksimum dengan arah tegak lurus lalulintas. Berikut adalah beban garis yang disarankan oleh BMS 1992:

$$P = 44.0 \text{ kN/m}$$

Dimana, P adalah beban garis dengan satuan kN/m

▪ *Faktor Beban Dinamik (DLA)*

Pada beban lalulintas yang merupakan suatu beban terpusat seperti beban garis (KEL) lajur "D" dan beban Truk "T" berlaku suatu faktor yang muncul akibat dari kejut yaitu Faktor Beban Dinamik (DLA). Faktor beban dinamik berlaku untuk semua bagian struktur sampai pondasi. Faktor dinamik untuk truk adalah 0.3 untuk "KEL" nilai DLA diberikan dalam Tabel 2.5.

Tabel 5. Faktor Beban Dinamik untuk "KEL" Lajur "D"

Bentang Ekuivalen L_E (m)	DLA (untuk kedua keadaan batas)
$L_E \leq 50$	0.4
$50 < L_E < 90$	$0.525 - 0.0025 L_E$
$L_E \geq 90$	0.3

Catatan :

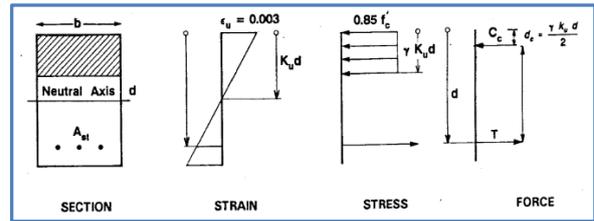
- Untuk bentang sederhana L_E = panjang bentang aktual
- Untuk bentang menerus $L_E = \sqrt{L_{rata-rata} \cdot L_{maks}}$

dengan :

- $L_{rata-rata}$ = panjang bentang rata-rata dari bentang-bentang menerus
- L_{maks} = Panjang bentang maksimum dari bentang-bentang menerus

Sumber: Bridge Management system 1992

Kekuatan Lentur Balok Persegi Tulangan Tunggal



Gambar 6. Diagram Tegangan Regangan Balok Persegi Tulangan Tunggal

Sumber: Bridge Management system 1992

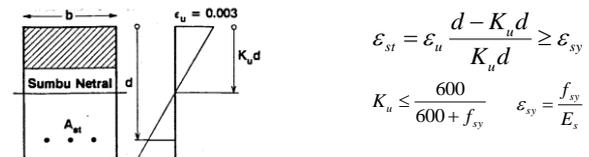
Pada kondisi seimbang yaitu $C_c = T_s$

$$K_u = \left(\frac{A_{st}}{bd} \right) \left(\frac{f_{sy}}{f'_c} \right) \frac{1}{0.85\gamma}$$

Dari gambar diperoleh persamaan momen ultimate desain pada tulangan tunggal:

$$\frac{M_{ud}}{bd^2} \leq 0.75 \left[\left(\frac{A_{st}}{bd} \right) f_{sy} \right] \left[1 - 0.6 \left(\frac{A_{st}}{bd} \right) \left(\frac{f_{sy}}{f'_c} \right) \right]$$

Dari diagram regangan:



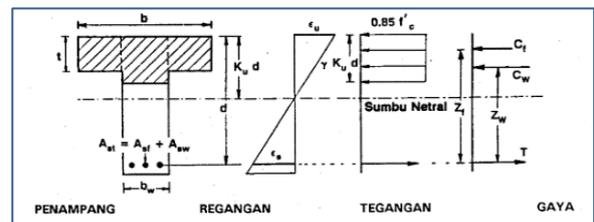
$$\epsilon_{st} = \epsilon_u \frac{d - K_u d}{K_u d} \geq \epsilon_{sy}$$

$$K_u \leq \frac{600}{600 + f_{sy}} \quad \epsilon_{sy} = \frac{f_{sy}}{E_s}$$

$$K_{u(max)} = 0.75 \left(\frac{600}{600 + f_{sy}} \right) \left(\frac{A_{st}}{bd} \right)_{min} = \frac{1.4}{f_{sy}}$$

$$\left(\frac{A_{st}}{bd} \right)_{max} = 0.75 \left(\frac{600}{600 + f_{sy}} \right) \left(\frac{f'_c}{f_{sy}} \right) 0.85\gamma$$

Kekuatan Lentur Balok T Tulangan Tunggal



Gambar 7. Diagram Tegangan Regangan Balok T Tulangan Tunggal

Sumber: Bridge Management system 1992

$\gamma K_u d > t$ perhitungan balok T

$\gamma K_u d < t$ perhitungan balok persegi

$$\gamma K_u = 1 - \left[1 - \frac{\left(\frac{M^*}{bd^2} \right)}{0.425 K_c^R f'_c} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Kondisi seimbang, $C_f + C_w = T$

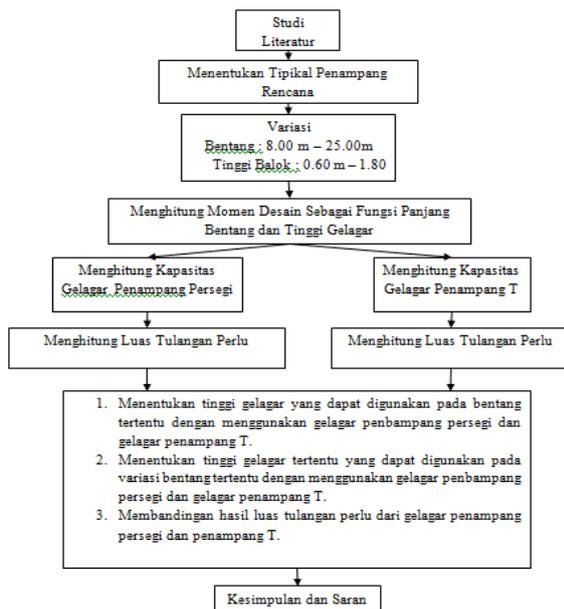
$$K_u = \left(\frac{1}{0.85\gamma} \right) \left(\frac{A_{st}}{b_w d} \right) \left(\frac{f_{sy}}{f_c'} \right) - \frac{1}{\gamma d} \left(\frac{b}{b_w} - 1 \right) t$$

Dari gambar diperoleh persamaan momen ultimate desain pada tulangan tunggal :

$$\frac{M_{ud}}{b_w d^2} = 0.75 \left\{ (0.85f_c') \left(\frac{b}{b_w} - 1 \right) \left(\frac{t}{d} \right) \left(1 - \frac{1}{2} \left(\frac{t}{d} \right) \right) \right\} + \left\{ (0.85f_c') (\gamma K_u) \left(1 - \frac{1}{2} \gamma K_u \right) \right\}$$

METODOLOGI PENELITIAN

Prosedur penelitian diberikan dalam bentuk diagram alir pada Gambar 8.



Gambar 8. Bagan Alir Penelitian

Metode Analisis

1. Menentukan Tipikal Penampang Melintang Jembatan
 Dalam menentukan tipikal jembatan didasarkan pada standar jembatan gelagar beton bertulang Bina Marga.
2. Menghitung Persamaan Umum Momen Maksimum
 Seluruh perhitungan momen dibuat menjadi suatu persamaan umum sehingga dapat dibuat tabel dan grafik hubungan antara bentang jembatan dan momen maksimum.
3. Menghitung Kapasitas Gelagar
 Perhitungan kapasitas penampang gelagar dibagi 2 bagian yaitu berdasarkan gelagar penampang persegi dan gelagar penampang T. Kapasitas dari tiap dimensi gelagar dihitung berdasarkan rumus kapasitas penampang yang dibatasi dengan rasio tulangan maksimum dan tulangan minimum.

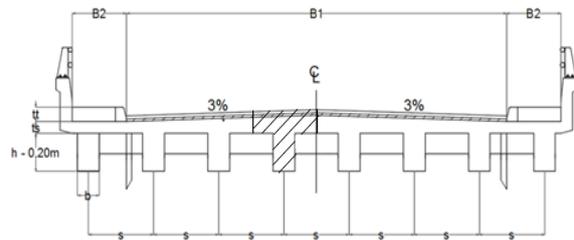
4. Perencanaan Tulangan Gelagar
 Perencanaan tulangan dibagi 2 bagian yaitu berdasarkan gelagar penampang persegi dan gelagar penampang T. Penulangan gelagar jembatan dihitung berdasarkan metode perencanaan tulangan BMS 1992 dan hanya dilakukan pada tinggi gelagar dan panjang bentang jembatan yang bisa menggunakan gelagar penampang persegi dan gelagar penampang T secara bersamaan. Selanjutnya akan dihitung besarnya presentase selisih dari kedua penampang tersebut.

5. Kesimpulan dan Saran
 Dari seluruh perhitungan yang akan dibuat ditarik kesimpulan tentang besarnya perbedaan kapasitas dan presentase selisih tulangan pada masing-masing dimensi gelagar terhadap panjang bentang dengan menggunakan gelagar penampang persegi dan gelagar penampang T.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Presentasi Data

Penampang Melintang Jembatan



Gambar 9. Sketsa Penampang Melintang Rencana

Dimensi Jembatan

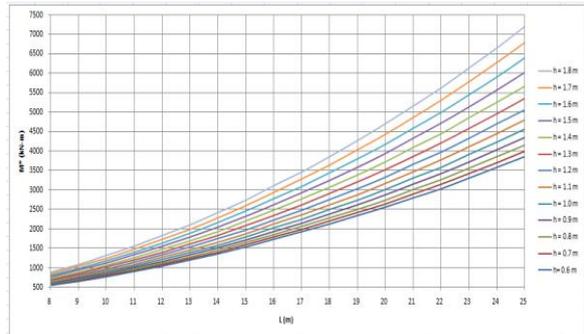
Tabel 6. Dimensi Jembatan

URAIAN DIMENSI	NOTASI	NILAI	SATUAN
Panjang bentang jembatan	L	8 - 25	m
Lebar gelagar	b	1/2h	m
Tinggi gelagar	h	0.6 - 1.8	m
Jumlah gelagar	n	8.00	buah
Jarak antar gelagar	s	1.20	m
Lebar total jembatan	B	9.00	m
Lebar jalan (jalurlalu-lintas)	B1	7.00	m
Lebar trotoar (pejalan kaki)	B2	1.00	m
Lebar sandaran	B3	0.22	m
Tinggi sandaran	hl	0.90	m
Tebal slab lantai jembatan	ts	0.20	m
Tebal lapisan aspal + overlay	ta	0.10	m
Tebal trotoar	tt	0.25	m
Tebal genangan air hujan	tw	0.05	m
BERAT ISI		NOTASI	BESAR SATUAN
Beton bertulang	yc	25	kN/m ³
Beton tidak bertulang (beton rabat)	yc'	24	kN/m ³
Aspal	ya	22	kN/m ³
Air	yv	9.8	kN/m ³

Jarak dan Dimensi Diafragma

Tabel 7. Jarak dan Dimensi Diafragma

Bentang L (m)	Jumlah n _d (buah)	Lebar b _d (m)	Tinggi h _d (m)	Jarak a (m)
8	3.00	0.20	0.35	4.00
9	3.00	0.20	0.35	4.50
10	3.00	0.20	0.35	5.00
11	3.00	0.25	0.40	5.50
12	4.00	0.25	0.40	4.00
13	4.00	0.25	0.45	4.33
14	4.00	0.25	0.45	4.67
15	4.00	0.30	0.50	5.00
16	5.00	0.30	0.50	4.00
17	5.00	0.30	0.55	4.25
18	5.00	0.30	0.60	4.50
19	5.00	0.30	0.60	4.75
20	5.00	0.30	0.60	5.00
21	6.00	0.30	0.65	4.20
22	6.00	0.30	0.65	4.40
23	6.00	0.35	0.70	4.60
24	6.00	0.35	0.75	4.80
25	6.00	0.35	0.80	5.00



Gambar 10. Grafik Hubungan M*, h, dan L

Tabel 10. Kapasitas Penampang Gelagar Persegi Minimum dan Maksimum

h (m)	A _{st/bd}		M _{ud} (kN.m)	
	Min	Max	Min	Max
1.80	0.0047	0.0355	2656	16447
1.70	0.0047	0.0355	2222	13760
1.60	0.0047	0.0355	1838	11382
1.50	0.0047	0.0355	1501	9295
1.40	0.0047	0.0355	1208	7481
1.30	0.0047	0.0355	956	5919
1.20	0.0047	0.0355	741	4591
1.10	0.0047	0.0355	562	3478
1.00	0.0047	0.0355	414	2561
0.90	0.0047	0.0355	294	1821
0.80	0.0047	0.0355	200	1239
0.70	0.0047	0.0355	129	797
0.60	0.0047	0.0355	77	474

Tabel 8. Beban Terpusat Diafragma

h (m)	L (m)																			
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25		
	M _{max} (kN.m)																			
1.80	3.898	4.385	4.872	7.656	11.136	13.572	14.616	20.880	32.408	39.048	43.101	47.606	50.112	68.403	71.660	94.127	105.235	116.628		
1.70	3.914	4.404	4.893	7.689	11.184	13.631	14.679	20.970	32.553	39.214	43.295	47.812	50.328	68.698	71.969	94.533	105.689	117.432		
1.60	3.931	4.423	4.914	7.722	11.232	13.689	14.742	21.060	32.696	39.382	43.490	48.017	50.544	68.993	72.278	94.938	106.142	117.956		
1.50	3.948	4.442	4.935	7.755	11.280	13.748	14.805	21.150	32.840	39.531	43.644	48.222	50.700	69.287	72.587	95.344	106.596	118.440		
1.40	3.965	4.460	4.956	7.788	11.328	13.806	14.868	21.240	32.984	39.719	43.798	48.427	50.876	69.582	72.896	95.750	107.050	118.944		
1.30	3.982	4.479	4.977	7.821	11.376	13.865	14.931	21.330	33.128	39.887	43.952	48.632	51.192	69.877	73.205	96.156	107.503	119.448		
1.20	3.998	4.498	4.998	7.854	11.424	13.923	14.994	21.420	33.272	40.055	44.207	48.838	51.408	70.172	73.513	96.561	107.957	119.952		
1.10	4.015	4.517	5.019	7.887	11.472	13.982	15.057	21.510	34.416	40.224	44.462	49.043	51.624	70.467	73.822	96.967	108.410	120.456		
1.00	4.032	4.536	5.040	7.920	11.520	14.040	15.120	21.600	34.560	40.392	44.656	49.248	51.840	70.762	74.131	97.373	108.864	120.960		
0.90	4.049	4.555	5.061	7.953	11.568	14.099	15.183	21.690	34.704	40.560	44.850	49.453	52.056	71.056	74.440	97.779	109.318	121.464		
0.80	4.066	4.574	5.082	7.986	11.616	14.157	15.246	21.780	34.848	40.728	45.045	49.658	52.272	71.355	74.748	98.184	109.771	121.968		
0.70	4.082	4.593	5.103	8.019	11.664	14.216	15.309	21.870	34.992	40.897	45.239	49.864	52.488	71.646	75.058	98.590	110.225	122.472		
0.60	4.099	4.612	5.124	8.052	11.712	14.274	15.372	21.960	35.136	41.065	45.434	50.069	52.704	71.941	75.367	98.996	110.678	122.976		

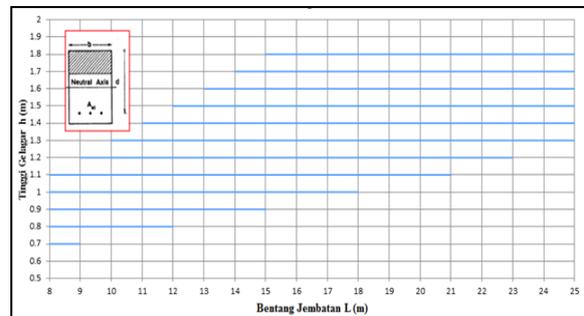
Perhitungan Momen Desain

$$M^* = \left[(2.031L^2h^2 - 0.406L^2h + 0.975L^2) + M_{MS2} \right] + 0.807L^2 + 2.4L^2 + 36.96L$$

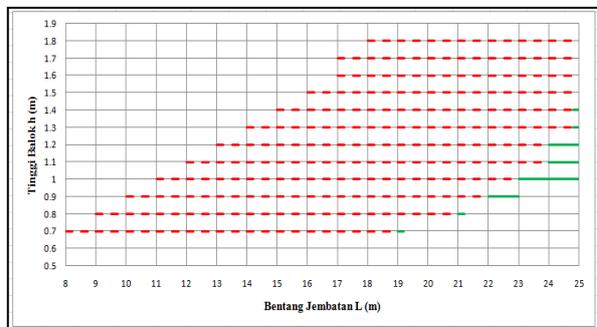
$$M^* = 2.031L^2h^2 - 0.406L^2h + 4.182L^2 + 36.96L + M_{MS2}$$

Tabel 9. Momen Desain (M*) Sehubungan dengan Tinggi Gelagar (h) terhadap Panjang Bentang (L)

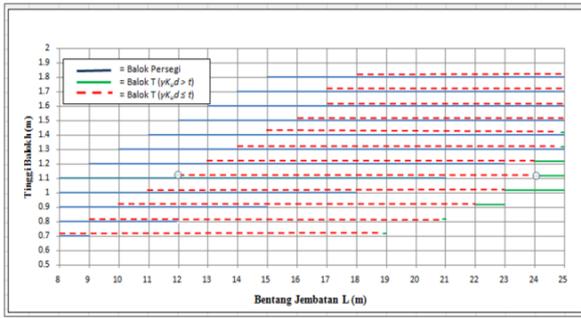
h (m)	L (m)																			
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25		
	M (kN.m)																			
0.60	549	660	780	912	1054	1204	1362	1535	1723	1914	2115	2321	2536	2778	3013	3277	3539	3811		
0.70	563	678	802	938	1085	1241	1405	1584	1779	1976	2184	2399	2623	2872	3117	3390	3662	3944		
0.80	580	699	828	970	1123	1285	1456	1642	1844	2050	2267	2491	2726	2985	3241	3524	3808	4102		
0.90	599	723	858	1006	1166	1335	1514	1709	1920	2136	2363	2599	2845	3115	3384	3680	3977	4286		
1.00	621	751	893	1048	1215	1393	1581	1786	2007	2234	2473	2720	2980	3264	3547	3857	4170	4495		
1.10	646	782	931	1094	1270	1457	1656	1871	2104	2343	2595	2857	3131	3420	3729	4056	4386	4729		
1.20	673	816	973	1145	1331	1529	1739	1966	2211	2464	2731	3008	3299	3614	3932	4276	4626	4989		
1.30	702	854	1020	1201	1397	1607	1830	2070	2328	2597	2879	3174	3483	3816	4154	4518	4889	5274		
1.40	735	895	1070	1262	1470	1692	1928	2183	2456	2741	3041	3355	3683	4036	4395	4781	5175	5585		
1.50	770	939	1125	1328	1548	1784	2035	2305	2595	2897	3216	3550	3900	4274	4656	5065	5485	5921		
1.60	807	987	1183	1399	1632	1882	2149	2436	2744	3065	3405	3760	4132	4530	4937	5372	5818	6282		
1.70	847	1037	1246	1475	1722	1988	2272	2577	2903	3245	3606	3984	4381	4803	5238	5699	6175	6669		
1.80	890	1091	1313	1555	1818	2101	2403	2727	3073	3437	3821	4223	4646	5095	5558	6048	6554	7081		



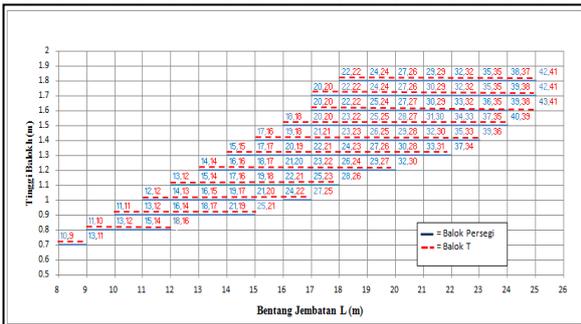
Gambar 11. Hubungan Tinggi Gelagar dan Panjang Bentang Sehubungan dengan Kapasitas Penampang Gelagar Persegi



Gambar 12. Hubungan Tinggi Gelagar dan Panjang Bentang Sehubungan dengan Kapasitas Penampang Gelagar T



Gambar 13. Hubungan Tinggi Gelagar dan Panjang Bentang yang Dapat Digunakan Sehubungan dengan Perhitungan Kapasitas Penampang Gelagar Berdasarkan Gelagar Persegi dan Gelagar T



Gambar 14. Kapasitas Penampang Gelagar dan Jumlah Tulangan terhadap Bentang Jembatan

Tabel 11. Nilai Persentase Gelagar T terhadap Gelagar Persegi

h (m)	L (m)																	
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
	%																	
1.80											98.55	100.0	98.41	98.92	98.04	98.50	98.07	97.98
1.70										98.82	97.74	98.50	98.08	98.15	98.21	97.48	97.19	96.94
1.60										99.18	99.44	98.48	98.18	97.93	96.99	96.53	97.17	95.69
1.50									98.31	98.06	98.46	97.93	97.50	96.90	96.41	95.44	95.83	94.90
1.40								98.52	96.97	97.30	96.77	96.89	96.36	95.35	94.93	94.49	93.71	93.00
1.30						98.33	98.46	96.92	95.73	95.36	95.60	93.79	93.65	92.71	91.94	90.65	89.60	
1.20					98.00	97.30	96.18	95.30	95.24	94.18	92.89	91.53	91.25	89.73	88.34			
1.10				97.19	95.45	94.99	94.24	92.70	92.08	90.98	89.79	88.11	86.16					
1.00			96.00	94.69	94.04	92.59	91.98	89.77	88.29	85.61								
0.90		94.98	93.49	91.91	90.73	87.94	85.92											
0.80	92.70	91.67	88.31	85.99														
0.70	90.54	86.31																

PENUTUP

Kesimpulan

Dari hasil analisa yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Pada panjang bentang jembatan tertentu, tinggi gelagar bisa bervariasi dari tinggi gelagar minimum dimana digunakan luas

tulangan tarik mendekati luas tulangan maksimum (3,55%), sampai tinggi gelagar maksimum dimana hanya dibutuhkan luas tulangan tarik minimum.

2. Tinggi gelagar tertentu dapat digunakan pada panjang bentang jembatan yang bervariasi dari panjang bentang minimum dimana tulangan tarik minimum dibutuhkan sampai panjang bentang maksimum dimana tulangan tarik maksimum digunakan.
3. Sehubungan dengan point 2, pada panjang bentang minimum jembatan, metode perhitungan yang berlaku adalah analisa penampang persegi, dan dengan bertambahnya panjang bentang jembatan, maka metode perhitungan akan beralih ke analisa penampang T. Setiap metode dimulai dengan menggunakan luas tulangan minimum dan semakin bertambah seiring dengan semakin bertambahnya panjang bentang sampai luas tulangan mencapai luas tulangan maksimum. Pada tinggi balok dan panjang bentang tertentu, analisa penampang persegi dapat digunakan bersama-sama dengan analisa penampang T.
4. Perhitungan luas tulangan dengan analisa penampang T akan sedikit lebih ekonomis (paling kecil 85%), dibandingkan dengan perhitungan analisa penampang persegi, pada tinggi gelagar yang relatif rendah. Namun, pada tinggi gelagar yang semakin tinggi, hasil perhitungan luas tulangan kedua metode ini, akan mendekati sama (mendekati 100%).

Saran

1. Pada penelitian, analisa kapasitas penampang yang diteliti adalah analisa penampang persegi dan analisa penampang T untuk tulangan tunggal. Disarankan untuk dilanjutkan penelitian ini dengan menggunakan gelagar penampang persegi dan gelagar penampang T tulangan rangkap.
2. Penelitian ini juga perlu dilanjutkan dengan menggunakan penampang bukan persegi dan dengan tipikal jembatan yang lain dan dengan bentang lebih besar dari 25.00 m.

DAFTAR PUSTAKA

Asroni Ali, 2010. *Balok dan Pelat Beton Bertulang*. Graha Ilmu, Surakarta.

Badan Standarisasi Nasional Indonesia, 2005. SNI T-02-2005, *Standar Pembebanan untuk Jembatan*, Jakarta.

Badan Standarisasi Nasional Indonesia, 2014. SNI 2052 – 2014, *Baja Tulangan Beton*, Jakarta.

Bridge Management System (BMS), 1992. *Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan*. Departemen Pekerjaan Umum.

Direktorat Jendral Bina Marga, 2008. *Perencanaan Struktur Beton Bertulang untuk Jembatan* (No. 009/BM/2008), Jakarta.

Direktorat Jendral Bina Marga, 2010. *Spesifikasi Umum (Revisi 3)*, Indonesia.

Direktorat Jendral Bina Marga, *Standard Jembatan Beton Bertulang Balok T*, Indonesia.