

KOMPARASI PERILAKU LENTUR BALOK T BETON TULANG BERLAPIS AKIBAT BEBAN STATIS MONOTONIK DAN STATIS SIKLIK

Oleh

Syahrul Sariman¹⁾, Abd. Rahim Nurdin²⁾

E-mail: syahrul_sariman@yahoo.co.id¹⁾ rahimnurdin@yahoo.co.id²⁾

^{1,2)} Dosen Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil, Universitas Bosowa,

ABSTRAK

Jembatan gelagar beton bertulang type balok-T, merupakan konstruksi jembatan yang paling banyak digunakan di Indonesia. Dari beberapa peraturan pembebanan jembatan yang pernah dibuat, pada prinsipnya menggunakan beban bergerak berupa beban terbagi rata dan beban garis yang dalam aplikasinya dalam desain diasumsikan sebagai beban statik ekuivalen. Prinsip perhitungan struktur diatas dua tumpuan sebagaimana halnya girder jembatan beton bertulang akibat momen lentur adalah bahwa bagian tekan dipikul oleh penampang beton sedangkan bagian tarik sepenuhnya dipikul oleh besi tulangan, dengan demikian ada penampang beton pada bagian tarik dibawah garis netral yang tidak diperhitungkan memikul beban, Berkaitan dengan hal itu pada penelitian ini akan dilakukan pengujian perilaku balok-T akibat tegangan lentur dengan rongga botol plastik pada penampang tarik. Ada beberapa pertimbangan yang mendasarinya antara lain pembuatan rongga akan mengurangi berat balok, mereduksi penggunaan beton dan semen, serta memanfaatkan limbah botol plastik. Bila dikaitkan dengan isu lingkungan, pengurangan semen berarti mengurangi potensi pencemaran akibat gas CO₂ dan pemanfaatan limbah botol plastik berarti mereduksi pencemaran lingkungan akibat bahan plastik yang sulit terurai.

Balok uji dibuat dalam 2 kondisi yakni sebagai balok- T semu dan balok-T murni dengan penampang diambil dari penampang girder jembatan beton bertulang standar dengan skala 1 : 3 yang kemudian masing-masing diuji dengan beban statis yang mewakili beban tetap dan beban statis berulang yang merupakan perwujudan dari beban bergerak pada jembatan. Hasil yang diharapkan dalam penelitian antara lain dapat mengetahui perbandingan kemampuan memikul beban pada balok-T, baik akibat perbedaan lebar efektif, maupun akibat adanya rongga pada penampang tarik.

Selain itu juga untuk merumuskan perbedaan perilaku lentur, menyangkut (hubungan beban – lendutan, kekakuan dan daktilitas) baik pada beton maupun pada baja tulangan, dalam memikul beban statis monotonik dan beban statis siklik.

Kata kunci: Balok-T berlapis, rongga botol plastik, Beban Statis monotonik dan statis siklik

A. PENDAHULUAN

Jembatan gelagar beton bertulang merupakan konstruksi jembatan yang paling banyak digunakan di Indonesia. Data dari Direktorat Jenderal Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum menunjukkan bahwa dari 16587 buah jembatan yang ada di ruas jalan Nasional, sebanyak 12068 buah (73 %) diantaranya merupakan jembatan dengan bentang 0 – 20 m yang konstruksinya didominasi oleh gelagar beton bertulang atau dari 316,2 km panjang total jembatan, sebanyak 164.4 km (51 %) yang bangunan atasnya berupa gelagar yang sebagian besar merupakan gelagar beton bertulang dan yang

lainnya merupakan gelagar beton prategang. Peraturan pembebanan jembatan di Indonesia telah mengalami perubahan yang cukup signifikan, walaupun besarnya sudah diperbesar namun untuk perhitungan kekuatan balok gelagar masih menggunakan beban statis ekuivalen, artinya beban maksimum ditempatkan pada tengah bentang yang kemudian dikalikan dengan Faktor Beban Dinamis (FBD), yang merupakan hasil interaksi antara kendaraan yang bergerak dengan jembatan. Dilain pihak pada kenyataannya beban lalu lintas yang melalui jembatan merupakan beban bergerak berulang, baik oleh kendaraan kecil maupun kendaraan berat. Hal ini menunjukkan bahwa

suatu balok gelagar beton bertulang pada struktur jembatan akan menerima variasi pembebanan yang dapat digambarkan sebagai beban statis berulang.

Pada struktur balok di atas dua perletakan akibat beban lentur seperti gelagar jembatan, bagian badan balok menerima tegangan tarik sedangkan bagian flens / lantai memikul tegangan tekan. Prinsip Perhitungan Struktur balok beton bertulang yang memikul momen lentur adalah tegangan tekan dipikul oleh penampang beton sedangkan pada bagian tarik beton sama sekali tidak diperhitungkan untuk menyumbangkan kekuatan, tegangan tarik yang terjadi sepenuhnya dipikul oleh baja tulangan. Beberapa penelitian telah dilakukan dengan memanfaatkan karakteristik tersebut, antara lain dengan membedakan mutu betonnya (

Upaya yang dilakukan untuk perkuatan struktur beton pada bagian tarik, antara lain dengan menggunakan material *glass fiber reinforced polymer* (GFRP) dan *carbon fiber reinforced polymer* (CFRP). Penelitian [8] menyangkut penggunaan serat fiber sebagai perkuatan eksternal pada balok beton bertulang pada berbagai kondisi. Perlakuan yang dilakukan untuk menambah kekuatan beton di daerah tekan adalah dengan struktur balok - T, yang diperoleh dengan mengecor badan balok dan flens / lantai secara monolit. Dengan bertambahnya luas bagian penampang yang memikul gaya tekan tentunya momen yang dapat dipikul bertambah pula. Penelitian mengenai balok-T beton bertulang berlapis pernah dilakukan oleh Yovi [9], dengan membuat beton normal pada bagian tekan dan beton non pasir pada bagian tarik, kemudian dilakukan uji lentur dengan menggunakan beban statis. Penelitian juga dilakukan oleh [7], dengan membuat bukaan pada tengah bentang, sama halnya dengan penelitian [1] dengan bukaan berbentuk lingkaran.

Dari uraian di atas terungkap bahwa beton sama sekali tidak diperhitungkan untuk memikul tegangan tarik, oleh sebab itu perlu dipertimbangkan kekuatan beton pada daerah tarik tidak perlu sekuat beton pada daerah tekan. Kekuatan beton yang diperlukan pada daerah tarik adalah kuat lekatan (*slippage bond*) antara beton dan tulangan. Dalam Penelitian ini akan dilakukan pengujian perilaku balok-T dengan penampang seragam

dan berlapis dengan membedakan mutu beton pada bagian tekan dan bagian tarik, pada 2 kondisi, yakni sebagai balok- T semu dan balok-T murni yang diperoleh melalui variasi lebar efektif flens dengan memberikan beban statis monotonik dan beban statis berulang.

B. TINJAUAN PUSTAKA

1. Karakteristik mekanis beton bertulang

a. Kekuatan tekan beton

Kuat tekan beton diwakili oleh tegangan tekan maksimum f'_c dengan satuan N/mm^2 atau MPa (Mega Pascal). Kuat tekan beton umur 28 hari berkisar antara nilai 10 – 65 MPa. Untuk struktur beton bertulang pada umumnya digunakan beton dengan kuat tekan berkisar 17 – 30 MPa. Nilai kuat tekan beton didapatkan melalui tata cara pengujian standar, menggunakan mesin uji dengan cara memberikan beban tekan bertingkat dengan kecepatan peningkatan beban tertentu atas benda uji silinder beton (diameter 150 mm, tinggi 300 mm) sampai hancur. Yang dimaksud dengan tegangan f'_c yang menjadi parameter kuat tekan beton adalah tegangan maksimum pada saat regangan beton (ϵ_b) mencapai 0.002.

b. Kekuatan tarik

Nilai kuat tarik dan tekan bahan beton tidak berbanding lurus, setiap usaha perbaikan kekuatan tekan hanya disertai peningkatan kecil nilai kuat tariknya. Suatu perkiraan kasar dapat dipakai, bahwa nilai kuat tarik bahan beton normal hanya berkisar antara 9 % - 15 % dari kuat tekannya. Kuat tarik bahan beton yang tepat sulit untuk diukur. Suatu nilai pendekatan yang umum dilakukan dengan menggunakan modulus of rupture, yaitu tegangan tarik lentur beton yang timbul pada pengujian hancur balok beton polos (tanpa tulangan), sebagai pengukur kuat tarik sesuai teori elastisitas. Kuat tarik bahan beton juga ditentukan melalui pengujian split silinder yang umumnya memberikan hasil yang lebih baik dan lebih mencerminkan kuat tarik yang sebenarnya. Nilai pendekatan yang diperoleh dari hasil pengujian

berulangkali mencapai kekuatan $0,50 - 0,60$ kali $\sqrt{f'_c}$, sehingga untuk beton normal digunakan $0,57 \sqrt{f'_c}$.

c. **Modulus elastisitas**

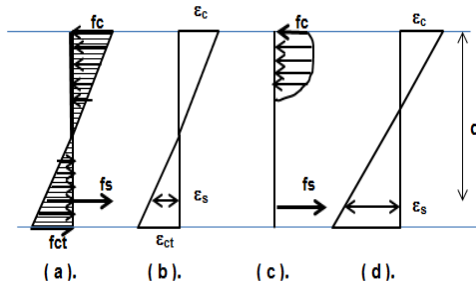
Modulus elastisitas beton tidak memiliki nilai yang pasti. Nilainya bervariasi tergantung dari kekuatan beton, umur beton, jenis pembebanan, karakteristik material pembentuknya. Modulus elastisitas suatu bahan menggambarkan besarnya tegangan pada satu satuan regangan.

d. **Tegangan – regangan**

Apabila terdapat gaya luar yang bekerja pada suatu balok dengan nilai yang relatif, sehingga tegangan tarik pada serat terluar beton lebih kecil dari modulus tarik, maka seluruh serit penampang secara efektif dapat menahan beban tersebut bersama dengan baja tulangan. Deformasi baja tulangan dan serat beton pada lapis yang sama adalah sebanding, gaya internal baja tulangan dapat ditentukan melalui perbandingan regangan. Konsep material homogen berlaku dan hubungan antar momen dan tegangan dapat dirumuskan melalui persamaan

$$f = \frac{M \cdot y}{I} \dots\dots\dots (1)$$

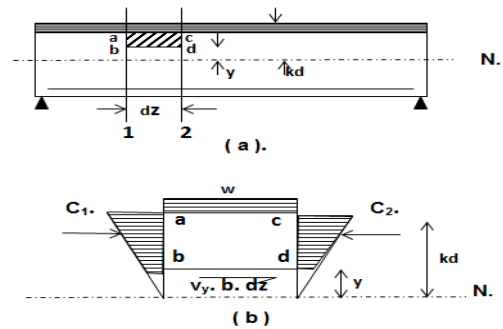
Apabila beban tersebut meningkat sehingga tegangan tarik beton dilampaui, tegangan tarik pada serat terluar akan lebih besar dari modulus tarik, dan retak akibat tarik akan terjadi. Karena serat beton tarik telah mengalami retak, maka pengaruhnya dalam menahan gaya internal dapat diabaikan. Seluruh tarikan akan ditahan oleh baja tulangan. Dalam kondisi ini distribusi tegangan beton pada daerah tekan akan berbentuk kurva.



Gambar 1. Distribusi tegangan – regangan penampang balok

e. **Geser horizontal**

Geser horizontal suatu balok sederhana dengan pembebanan terbagi rata q , diilustrasikan dalam gambar berikut:



Gambar 2. Mekanisme regangan geser horizontal

Bila ditinjau elemen abcd, yang terletak diatas garis netral N.A.(Gambar 2), persamaan keseimbangan gaya horizontal elemen abcd adalah

$$v_y b \cdot dz = C_2 - C_1 \dots\dots\dots (2)$$

$$v_y = \frac{M_2 \cdot M_1}{dz} \frac{1}{b \cdot (lengan)} - 1 \frac{y^2}{(kd)^2} = - \frac{V}{b \cdot (lengan)} 1 \frac{y^2}{(kd)^2} \dots\dots\dots (3)$$

Dengan v_y adalah tegangan geser horizontal pada titik sejarak y dari garis netral dan b adalah lebar penampang balok. Persaman tegangan geser horizontal diatas, berlaku untuk posisi serat tekan pada penampang suatu balok.

b. **Daya lekat (Bonding)**

Gaya luar yang bekerja pada struktur beton bertulang akan ditahan bersama oleh beton dan baja tulangan. Untuk menunjang hal tersebut, slip atau gelincir antara beton dan tulangnya diharapkan tidak terjadi, sehingga diperlukan adanya daya lekat (bonding) yang memadai antara beton dan baja tulangan. Adanya daya lekat antara beton dan baja tulangan membuat seolah olah beton dan tulangan memiliki perilaku sebagai material homogen, yaitu nilai regangan pada serat beton maupun tulangan adalah sama dan berbanding lurus dengan jarak dari sumbu netral dan maksimum pada serat terluar.

c. **Daktalitas**

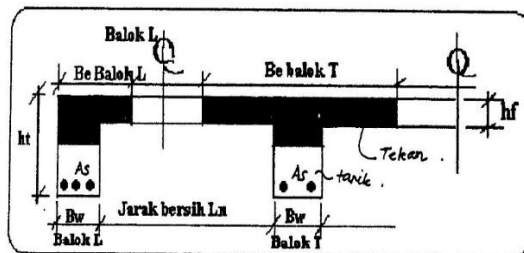
Daktilitas menyatakan suatu kemampuan dari struktur untuk mengalami lendutan yang besar tanpa mengalami penurunan kekuatan yang berarti. Besarnya nilai daktilitas berdasarkan perbandingan antara lendutan maksimum dengan lendutan leleh pertama.

$$Daktilitas = \Delta_{ult} / \Delta_{Leleh1} \dots \dots \dots (4)$$

2. Tinjauan balok T

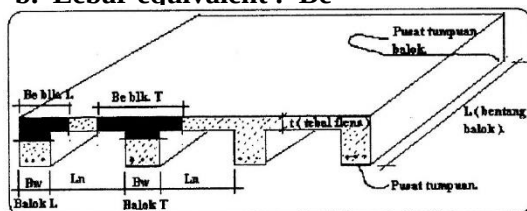
a. Bentuk Balok - T

Pada suatu struktur lantai beton, pelat dan balok pada umumnya dikonstruksikan monolit atau dilengkapi dengan penghubung geser sehingga kesatuan pelat dan pemikulnya membentuk penampang T pada balok tengah dan L pada balok pinggir sebagaimana gambar berikut :



Gambar 3. Bentuk balok T dan L

b. Lebar equivalent : Be



Gambar 4. Notasi pada lebar equivalent Be

Berdasarkan manual konstruksi dan bangunan No. 09/BM/2008 perencanaan struktur beton bertulang untuk jembatan Departemen Pelerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga Bab 4.5, lebar efektif sayap Balok -T adalah nilai terkecil dari persyaratan berikut

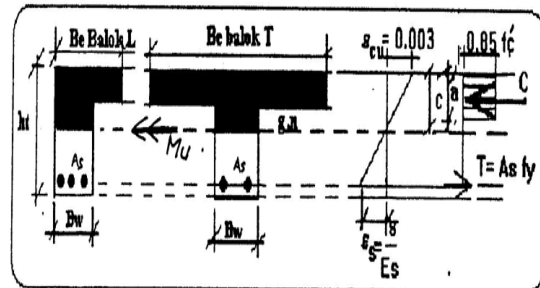
- $Be = L/4$. L adalah panjang bentang balok
- $Be = bw + 16 t$
- $Be = bw + Ln$, Ln adalah jarak bersih antara balok.

Untuk lebar efektif Balok- L adalah nilai terkecil dari :

- $Be = bw + L/12$.
- $Be = bw + 6 t$
- $Be = bw + Ln/2$,

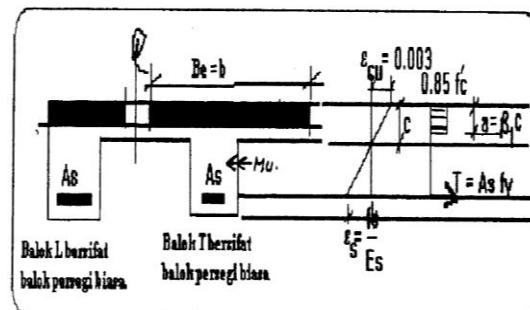
c. Jenis Balok-T

- Balok-T Murni : Bila Garis netral terletak dibawah flens



Gambar 6. Diagram tegangan-regangan balok T dan L murni

- Balok -T Semu : Bila Garis netral terletak dalam flens



Gambar 7. Diagram regangan-tegangan balok T dan L Semu

d. Beban statis monotonik dan statis siklik

Beban statis adalah beban yang bekerja secara terus-menerus pada suatu struktur. Beban statis juga diasosiasikan dengan beban-beban yang secara perlahan-lahan timbul serta mempunyai variabel besaran yang bersifat tetap (steady states). Dengan demikian, jika suatu beban mempunyai perubahan intensitas yang berjalan cukup perlahan sedemikian rupa sehingga pengaruh waktu tidak dominan, maka beban tersebut dapat dikelompokkan sebagai beban statik (static load)..

Beban dinamis adalah beban yang bekerja secara tiba-tiba pada struktur. Pada umumnya, beban ini tidak bersifat tetap (unsteady-state) serta mempunyai

karakteristik besaran dan arah yang berubah dengan cepat. Deformasi pada struktur akibat beban dinamik ini juga akan berubah-ubah secara cepat. Dengan demikian, jika suatu beban mempunyai perubahan intensitas yang bervariasi secara cepat terhadap waktu, maka beban tersebut disebut sebagai beban dinamis (dynamic load). Beban dinamis dapat menyebabkan terjadinya osilasi sehingga deformasi puncak dari struktur tidak terjadi bersamaan dengan terjadinya beban yang maksimum. Beban statis dapat dianggap sebagai beban dinamis dengan intensitas beban yang tetap dari waktu ke waktu. Getaran mesin merupakan beban dinamis yang bersifat periodik karena mempunyai intensitas beban dan frekuensi getar yang berulang. Bentuk dari getaran yang ditimbulkan mesin pada umumnya berbentuk sinusoidal. Getaran gempa merupakan beban dinamik dengan intensitas dan frekuensi getar yang acak dari waktu ke waktu. Meskipun terjadi dalam waktu yang singkat, tetapi getaran gempa dapat menimbulkan kerusakan pada struktur bangunan.

1. Penelitian terdahulu

[2] melakukan penelitian mengenai uji lentur Balok-T dengan menggunakan Beban Berulang. Judul Penelitian adalah : *Experimental Verification of reinforced Concrete Member Under Cyclic Loading*. dalam penelitian ini, dijelaskan bahwa kelelahan pada umumnya diakibatkan oleh penurunan kemampuan, yang dapat mengurangi umur struktur. Masa Layan dari Struktur Beton bertulang secara langsung tergantung pada tingkat tegangan, berbagai tegangan dan jumlah perulangan beban selama terjadinya beban siklik. Kapasitas struktur akibat beban statis pada umumnya telah diverifikasi sesuai dengan standar Eropa saat ini, standar geser, Ketahanan lentur, atau kombinasi keduanya atau salah satunya tergantung pada karakteristik efek beban. Struktur beton yang mengalami akibat beban berulang telah diverifikasi dari sudut pandang ketahanan kelelahan (fatigue resistance). Pendekatan penilaian fatiq menurut STN EN 1992/01/01 terdiri dari prosedur verifikasi untuk beton dan tulangan secara terpisah.

C. METODE PENELITIAN

1. Dimensi benda uji Balok

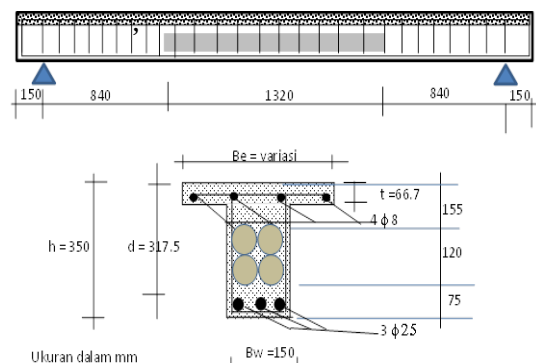
a. Ukuran balok T

Dimensi Balok dalam penelitian ini menggunakan penampang balok-T jembatan standar Bina Marga skala 1 : 3 sebagai berikut :

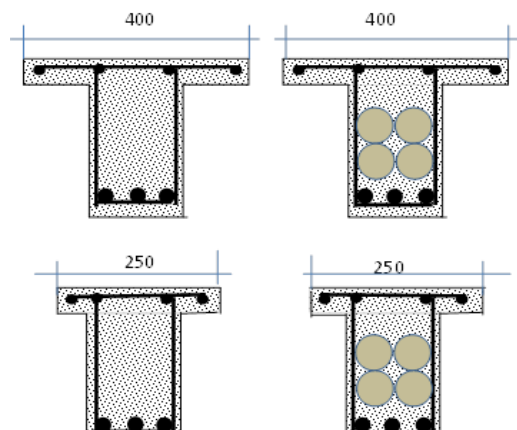
- Lebar badan balok : $b_e = 150 \text{ mm}$
- tebal lantai / flens : $t = 66.7 \text{ mm}$
- tinggi balok : $h = 350 \text{ mm}$; tinggi efektif : $d = 275 \text{ mm}$
- Tulangan tekan 3 $\square 25$; Tulangan bagi pada bagian tarik : 4 $\square 8$
- Tulangan sengkang, di tumpuan : $\square 10$ –100 dan di lapangan $\square 10$ – 150 mm,
- Panjang balok : $L = 3300 \text{ mm}$ (bentang bebas : 3000 mm)
- Mutu beton $f'_c : 25 \text{ MPa}$,
- Mutu baja tulangan $f'_c = 320 \text{ Mpa}$

b. Variabel dan notasi benda uji

- Variasi lebar efektif : 250 mm, 400 mm



Gambar 8. Dimensi Balok T beton bertulang berlapis



Gambar 8. Variasi Balok T beton bertulang berlapis

- Jenis pembebanan : beban statis monotonik dan siklik
- Notasi benda uji, sesuai tabel berikut :

Tabel 1.
Notasi benda Uji

TAHAPAN PENGUJIAN	NO URUT	LEBAR EFEKTIF	PENAMPANG BALOK T	NOTASI BENDA UJI	JUMLAH BENDA UJI
TAHAP I BEAN STATIS MONOTONIK	1	250	Normal	TMNS	1
	2	250	Berlapis	TMBS	1
	3	400	Normal	TSNS	1
	4	400	Berlapis	TSBS	1
TAHAP II BEAN STATIS SIKLIK	1	250	Normal	TMNU	1
	2	250	Berlapis	TMBU	1
	3	400	Normal	TSNU	1
	4	400	Berlapis	TSBU	1
					8

c. Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dengan tahapan sebagai berikut :

1) Pengujian karakteristik material pembentuk beton

Pengujian karakteristik material pembentuk beton (Agregat kasar dan halus) meliputi pengujian distribusi ukuran butir , Berat isi, dan pengujian lain yang berkaitan dengan pembuatan rancangan campuran untuk mendapatkan kuat tekan beton f'_c : 25 Mpa,

2) Uji fisik material beton normal

Uji fisik material beton yang dilakukan terdiri dari pengujian kuat tekan, uji lentur, serta modulus elastisitas. Untuk ketiga pengujian ini digunakan alat “Concrete Compression Testing Machine” kapasitas 100 ton dengan beberapa alat tambahan.

3) Pengujian lentur balok beton bertulang dengan pembebanan static monotonik dan siklik

Pengujian ini akan dilakukan pada balok T berukuran 15 cm x 35 cm x 330 cm dengan tebal pelat 6,67 cm. Pada pengujian ini akan dihasilkan data regangan, tegangan maksimum, dan deformasi melalui PC oleh rangkaian alat uji strain gauge.

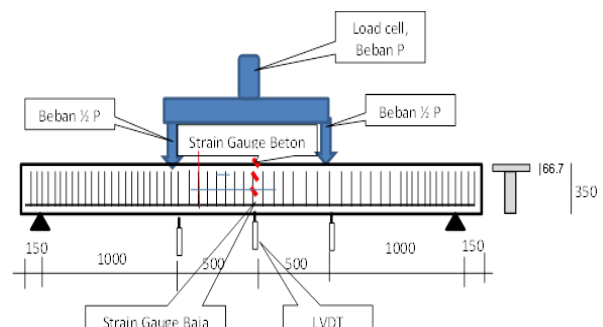
Untuk mengetahui defleksi yang terjadi maka pada balok uji dipasang tiga buah LVDT (*Linear Variable Displacement Transducer*). Satu buah ditempatkan pada tengah bentang dan

dua buah di bawah masing-masing beban.

Untuk mengukur regangan beton dipasang *strain gauge* pada sisi tekan terluar balok pada bagian atas, 10 cm ke bawah badan benda uji (C 1), dan 20 cm ke bawah benda uji (C 2). Sedangkan untuk mengukur regangan tarik maka dipasang strain gauge pada tulangan. Data pertambahan beban, defleksi, dan regangan tercatat melalui *data logger*.

Pembebanan dihentikan jika benda uji sudah runtuh dan data logger yang membaca besarnya beban dari *load cell* tidak bertambah.

Sketsa penempatan LVDT, strain gauge baja dan beton dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 9. Sketsa penempatan instrumen pengukuran

d. Analisis data

1) Hubungan lebar efektif dan kapasitas memikul momen lentur

Perbedaan lebar efektif pada penelitian ini bertujuan untuk memperoleh sifat balok-T. Lebar b_e = 250 mm merupakan Balok-T murni dan bila b_e = 400 mm, merupakan Balok-T Semu. Perbedaan kemampuan memikul beban lentur pada balok-T semu dan balok-T murni akibat beban statis monotonik dan siklik dianalisis untuk mendapatkan hubungan antara lebar efektif dan kapasitas balok-T memikul momen lentur.

2) Analisis kapasitas Balok-T

Berdasarkan pemberian beban statis terhadap balok-T yang lebar efektifnya sama, namun berbeda mutu beton pada bagian tariknya,

dilakukan analisis hubungan beban dan pola retak, lebar retak, lendutan dan model kegagalan.

- 3) Korelasi beban statis monotonik dan statis siklik.

Hasil uji lentur dengan menggunakan beban statik monotonik dan beban statis siklik pada variabel benda uji untuk mendapatkan hubungan beban – lendutan, beban regangan baja, beban regangan beton pada bagian atas, bagian bawah flens dan pada bagian badan, pola retak, lebar retak dan model kegagalan dianalisis pada persamaan momen nominal.

D. HASIL YANG DIHARAPKAN

Hasil yang diharapkan dalam penelitian antara lain:

1. Merumuskan perbandingan kemampuan memikul beban pada Struktur balok-T, karena adanya perbedaan lebar efektif.
2. Mengetahui perbedaan perilaku lentur, menyangkut (hubungan beban – lendutan, kekakuan dan daktilitas) baik pada beton maupun pada baja tulangan.
3. Mengetahui pengaruh perbedaan mutu beton yang lebih rendah pada bagian tarik dibanding mutu beton pada bagian tekan, dalam memikul beban statis menerus dan bertahap.

DAFTAR PUSTAKA

- Ade Lisantono, M.Sahari Besari, Ridwan Suhud, Biemo W.Soemardi (2004), *Experimental Investigation on the effect of Web Opening Dimension on the Behaviour of R/C hybrid Deep T-Beam subjected to Pure Torsion*, Jurnal Teknik Sipil, Vol. 11 No. 1 Januari 2004. Hal. 1-8.
- Alena Cavojcova, Martin Moravick, Frantisek Bahleda, Josef Jost (2014), *Experimental Verification of reinforced Concrete Member Under Cyclic Loading*, XXIII R-S-P seminar, Theoretical Foundation of Civil Engineering (23RSP) (TFoCE 2014)
- Badan Standardisasi Nasional (2005), *RSNI T-02-2005, Pembebanan untuk jembatan*, BSN 2005
- Chu-Kia Wang & Charles G. Salmon (1979). *Reinforced Concrete Design*, Harper International Edition, Harper & Row Publishers, Ney York.
- Dipohusodo, Istimawan (1994), *Struktur Beton Bertulang*, Penerbit Gramedia Pustaka Utama, Jakarta
- Jonie Tanijaya, M.Sahari Besari, Ridwan Suhud (2001), *An experimental investigation of the mechanical behavior of hybrid R/C T-Beams with web Openings*, The eight East Asia-Pacific conference on structural Engineering and constructions, 5-7 December 2001, Nanyang Technology University, Singapore
- Rudy Djamaluddin (2013), *Flexural Behaviour of External Reinforced Concrete Beams*, The 2nd International Conference on Rehabilitation and Maintenance in Civil Engineering, Sebelas Maret University
- Yovi Chandra (2011), *Karakteristik Beton Dalam Web Dan Flens Balok T Pada Kombinasi Beton Normal Dan Beton Non Pasir*, Teras Jurnal Volume I No.2 Juni 2011