

# KAJIAN EKSPERIMENTAL PENGARUH BENTUK PENAMPANG BALOK TERHADAP BEBAN MAKSIMUM DAN KEKAKUAN BALOK BETON BERTULANG

Vera A. Noorhidana <sup>1)</sup>  
Suirna Juarnisa Syahland <sup>2)</sup>

## Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh bentuk penampang balok (bentuk persegi, bentuk T, dan bentuk I) terhadap kekakuan dan beban maksimum yang dapat diterima balok, dengan batasan: luas penampang balok, luas tulangan tekan dan tulangan tarik adalah sama untuk ketiga balok tersebut. Benda uji yang dibuat adalah balok dengan penampang persegi (BP), huruf T (BT), dan huruf I (BI), masing-masing 1 buah. Panjang bentang 1800mm. Luas penampang balok 45.000 mm<sup>2</sup>, dengan tinggi penampang balok 250mm. Kuat tekan beton 20MPa. Balok ditumpu sendi-rol dengan jarak 1800mm, kemudian diberi 2 beban terpusat pada jarak 600mm dari masing-masing tumpuan. Hasil pengujian berupa analisis kurva hubungan beban-lendutan, kekakuan, dan pola retak. Hasil pengujian benda uji BP, BT, dan BI tidak sejalan dengan hasil perhitungan secara teoritis, yang disebabkan oleh mutu pembuatan benda uji. BP memiliki nilai beban maksimum paling besar diikuti oleh BT (92% terhadap  $P_{max}$  BP) kemudian BI (88% terhadap  $P_{max}$  BP). Beban terjadinya retak pertama ( $P_{cr}$ ) yang paling tinggi dimiliki oleh BP, kemudian diikuti oleh BI (83,3% terhadap  $P_{cr}$  BP) dan BT (75% terhadap  $P_{cr}$  BP). Demikian juga kekakuan terbesar terjadi pada BP kemudian diikuti oleh BT dan BI. Perlu pengawasan yang baik pada saat pembuatan benda uji agar mendapatkan hasil sesuai yang direncanakan.

Kata kunci: balok beton bertulang, balok T, balok I.

## 1. PENDAHULUAN

Beton bertulang merupakan gabungan logis dari dua jenis bahan, yaitu beton polos, yang memiliki kekuatan tekan yang tinggi akan tetapi kekuatannya rendah, dan batangan-batangan baja yang ditanamkan di dalam beton yang dapat memberikan kekuatan tarik yang diperlukan. Misalnya pada balok, tulangan baja diletakkan di daerah tarik (Wang & Salmon, 1993).

Pada umumnya bentuk balok beton bertulang yang sering dipakai adalah berpenampang persegi. Balok dengan penampang persegi lebih mudah dalam mendesainnya maupun dalam pelaksanaan di lapangan. Akan tetapi kalau kita memperhatikan persamaan-persamaan untuk menghitung kekuatan balok dalam menahan beban lentur, diperoleh kenyataan bahwa dimensi lebar balok 'b' hanya memberikan kontribusi terhadap tegangan tekan (C) di atas garis netral balok. Sedangkan di bawah garis netral, tegangan tarik balok (T) tidak tergantung kepada lebar balok 'b', lihat Gambar 1.

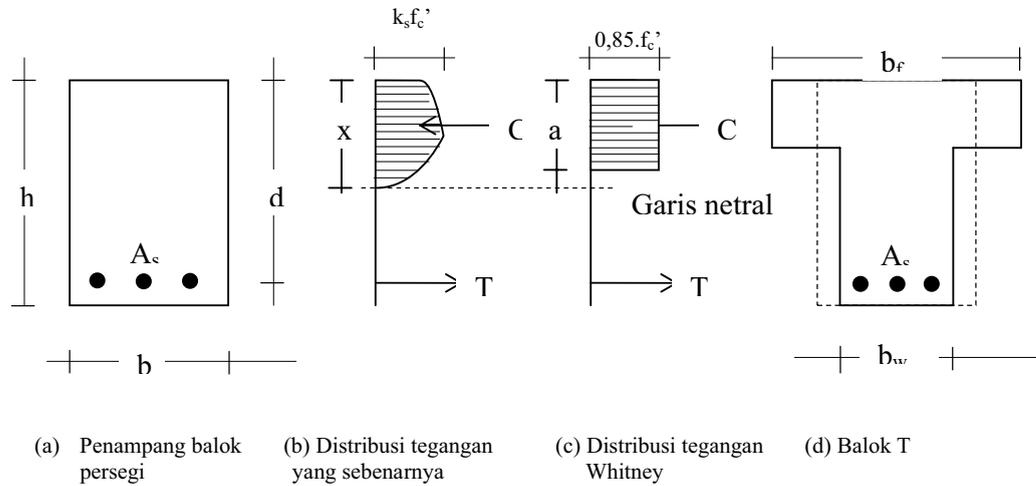
Dengan demikian, di bawah garis netral penampang balok tidak memerlukan lebar balok 'b' yang besar, tetapi yang penting cukup untuk meletakkan tulangan tarik. Atas dasar inilah, penelitian ini mencoba memindahkan sebagian lebar balok b di bawah garis netral, ke bagian atas garis netral. Sehingga terbentuklah penampang balok T (Lihat Gambar 1.d). Tambahan lebar balok 'b' di atas garis netral akan menyumbang kekuatan kepada gaya tekan C sehingga diharapkan momen nominal ( $M_n$ ) balok T menjadi lebih besar dibandingkan momen nominal ( $M_n$ ) balok persegi.

---

<sup>1</sup> Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung

Jl. Sumantri Brojonegoro No.1 Bandar Lampung, email : veraagustriana@yahoo.co.id

<sup>2</sup> Alumni Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung



Keterangan:

- resultan gaya tekan :  $C=0,85f_c' \cdot b \cdot a$
- resultan gaya tarik :  $T=A_s \cdot f_y$
- Kekuatan lentur balok:  $M_n=T(d-a/2)$ .

Gambar 1. Distribusi tegangan pada balok persegi

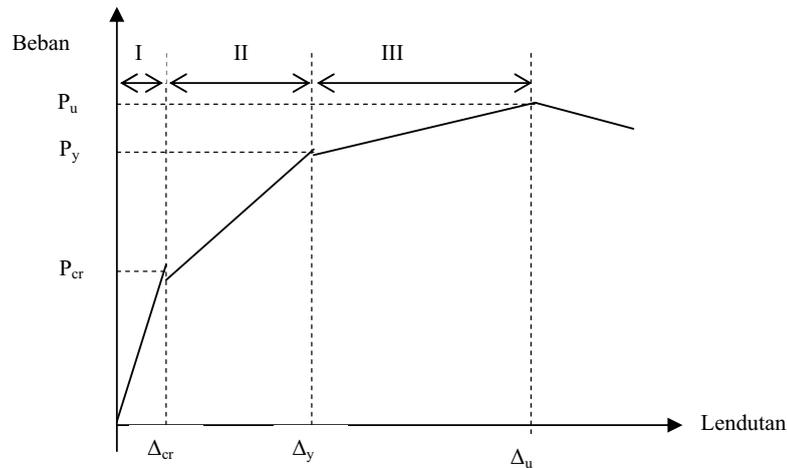
Selain bentuk penampang T, dalam penelitian ini juga dibuat balok yang merupakan variasi dari balok T yaitu balok berpenampang seperti huruf I, yang mempunyai sayap di atas dan bawah penampang namun menyempit di bagian badannya. Hipotesa pengusul, sayap bawah dari balok I memberikan kontribusi terhadap kekakuan balok. Ini menjadi sangat menarik untuk dibuktikan secara eksperimental.

Banyak penelitian telah dilakukan mengenai balok beton berpenampang T, tetapi belum ada yang secara langsung membandingkan balok T dan balok I dengan balok persegi. Oleh karena itu di dalam penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh bentuk penampang balok (bentuk persegi, bentuk T, dan bentuk I) terhadap kekakuan dan beban maksimum yang dapat diterima balok, dengan batasan: luas penampang balok, luas tulangan tekan dan tulangan tarik adalah sama untuk ketiga balok tersebut. Sehingga akan diketahui perbandingan perilaku balok T dan balok I terhadap perilaku balok persegi. Dari penelitian ini akan diperoleh bentuk penampang balok yang paling optimal diantara 3 bentuk tersebut. Selanjutnya, bentuk penampang balok yang efisien dapat diaplikasikan sebagai elemen balok pracetak .

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Perilaku Lendutan Pada Balok

Hubungan beban-lendutan balok beton bertulangan pada dasarnya dapat diidealisasikan menjadi bentuk trilinear seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2. Hubungan ini terdiri atas tiga daerah sebelum terjadinya *rupture* (Nawy, 1996).



Gambar 2. Hubungan beban-lendutan pada balok (Nawy, 1996).

- Daerah I : Taraf praretak, dimana batang-batang strukturalnya bebas retak.
- Daerah II : Taraf pascaretak, dimana batang-batang strukturalnya mengalami retak-retak terkontrol yang masih dapat diterima, baik distribusinya maupun lebarnya.
- Daerah III : Taraf pasca-*serviceability*, dimana tegangan pada tulangan tarik sudah mencapai tegangan lelehnya.

### 3. METODE PENELITIAN

Pelaksanaan penelitian dilakukan secara eksperimental di Laboratorium Bahan dan Konstruksi, Fakultas Teknik Universitas Lampung. Dalam pelaksanaannya dibagi dalam beberapa tahap, yaitu : pengujian bahan-bahan dasar beton, rencana campuran, pembuatan benda uji, pengujian benda uji, dan analisis hasil.

Bahan susun beton untuk pembuatan benda uji berasal dari bahan lokal, yaitu pasir dari Gunung Sugih (Lampung Tengah), split (dengan ukuran maksimum 19 mm berasal dari Tanjungan (Lampung Selatan), dan semen portland tipe I merk Tiga Roda. Material tersebut terlebih dahulu dilakukan pemeriksaan sesuai standar ASTM (*American Society For Testing and Materials*), hasilnya terlihat pada Tabel 1 dan Tabel 2. Perencanaan komposisi campuran pada penelitian ini menggunakan metode ACI dengan nilai kuat tekan rencana ( $f'_c$ ) 20MPa.

Tabel 1. Hasil pemeriksaan agregat kasar.

No	Pemeriksaan	Hasil Rata-rata	Standar ASTM
1.	Gradasi saringan	Baik	Jika sesuai gradasi
2.	Modulus kehalusan	7,05	6 - 8
3.	Kadar air (%)	1,63	0 - 3
4.	Berat jenis kondisi SSD	2,70	2,5 - 2,7
5.	Persentase penyerapan (%)	1,82	1 - 3

Tabel 2. Hasil pemeriksaan agregat halus.

No	Pemeriksaan	Hasil	Standar
----	-------------	-------	---------

		Rata-rata	ASTM
1.	Gradasi saringan	Baik	Jika sesuai gradasi
2.	Modulus kehalusan	2,78	2,3 - 3,1
3.	Kadar air (%)	0,80	0 - 1
4.	Berat jenis kondisi SSD	2,34	2,5 - 2,7
5.	Persentase penyerapan (%)	1,20	-
6.	Kadar lumpur (%)	1,60	< 5
7.	Kandungan zat organik (warna)	No.2 (baik)	Dibawah No.3

Tabel 3. Hasil pengujian tarik baja tulangan.

No.	Kode	Diameter (mm)	Tegangan Leleh (MPa)	Tegangan Leleh Rata-rata (MPa)	Regangan Leleh
1.	Sampel 1	13	281,7859	291,3643	0,0014
2.	Sampel 2	13	297,0564		
3.	Sampel 3	13	295,2480		
4.	Sampel 4	6	392,1188	388,2084	0,0019
5.	Sampel 5	6	375,3121		
6.	Sampel 6	6	397,1942		

Tabel 4. Benda Uji Balok Beton Bertulang

Kode	Bentuk penampang balok	Luas penampang balok (mm <sup>2</sup> )	Tulangan tekan	Tulangan tarik	Tulangan sengkang
BP	Persegi	45000	2 Ø 6 mm	2 Ø13 mm	Ø6 - 200mm
BT	T	45000	2 Ø 6 mm	2 Ø13 mm	Ø6 - 200mm
BI	I	45000	2 Ø 6 mm	2 Ø13 mm	Ø6 - 200mm

Baja tulangan yang digunakan untuk pembuatan benda uji balok adalah baja polos dengan Ø13mm untuk tulangan utama dan Ø6mm untuk sengkang. Sebelumnya dilakukan pengujian tarik untuk mengetahui tegangan lelehnya ( $f_y$ ) yang hasilnya dimasukkan dalam Tabel 3.

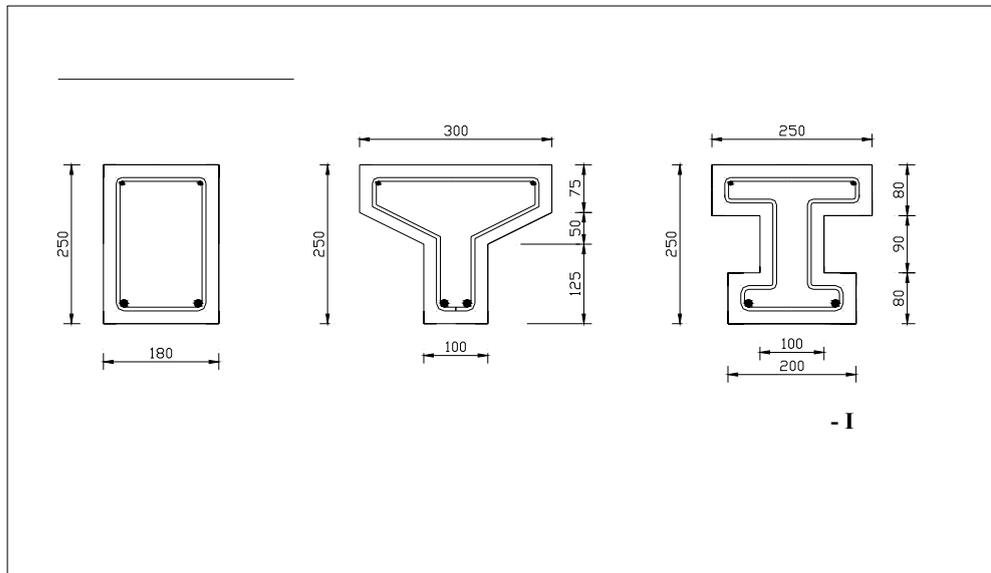
Jumlah benda uji balok ditampilkan dalam Tabel 4, dengan variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah : **bentuk penampang** balok beton bertulang. Masing-masing kode balok dibuat 1 balok uji. Detail balok uji dapat dilihat pada Gambar 5. Sebagai data pendukung dibuat benda uji untuk mengetahui sifat mekanika beton dengan rincian sebagai berikut: (a). Silinder beton (diameter 150 mm, tinggi 300 mm), untuk pengujian kuat tekan beton. Dari setiap adukan beton (molen) dibuat 3 spesimen; dan (b) Balok beton (100 x 100 x 400 mm), untuk pengujian kuat tarik lentur (*modulus of rupture*). Dari setiap adukan beton (molen) dibuat 3 spesimen.

Setelah pengecoran, benda uji dirawat (*curing*) dengan merendamnya dalam air atau diselubungi dengan karung goni basah. Setelah sambungan beton berumur 28 hari, selanjutnya dilakukan pengujian. Balok beton bertulang diletakkan pada *loading frame* yang cukup kuat dan kaku. Jarak antar tumpuan sendi-rol 1800mm. Dua beban terpusat diberikan pada balok uji pada 1/3 jarak tumpuan, yaitu 600mm dari tumpuan. Bagian bawah balok di tengah bentang dan di bawah beban terpusat dipasang *dial gauge* untuk

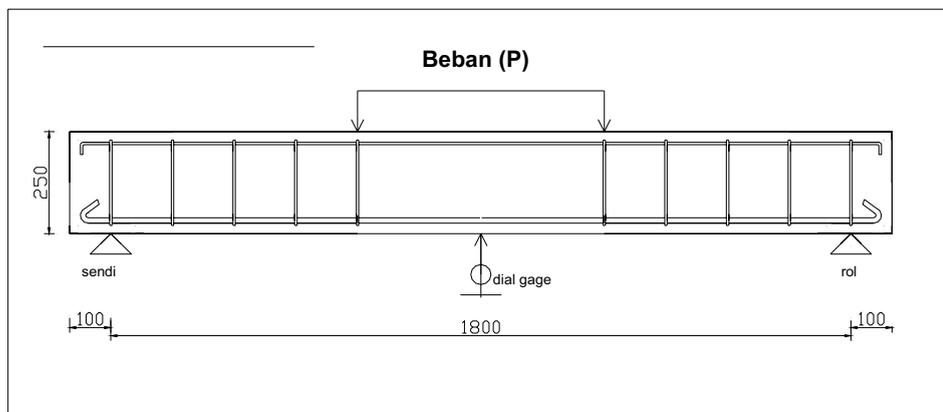
mengukur lendutan yang terjadi. Beban vertikal diberikan dengan sistem tekanan hidrolis dari alat *hydraulic jack*. Nilai lendutan dan pola retak dicatat pada setiap tahap pembebanan sampai benda uji runtuh. *Setting-up* pengujian dapat dilihat pada Gambar 6.

Pengujian kuat tekan beton digunakan alat UTM (*Universal Testing Machine*) yang mengacu pada ASTM C 39. Pengujian dilakukan dengan meletakkan silinder beton tegak pada plat bawah, kemudian dilakukan pembebanan. Beban maksimum dicatat pada saat beton mengalami pecah dan data dari hasil pengujian kuat tekan beton ini kemudian ditabelkan. Kuat tekan beton diperoleh dengan membagi beban dengan luas.

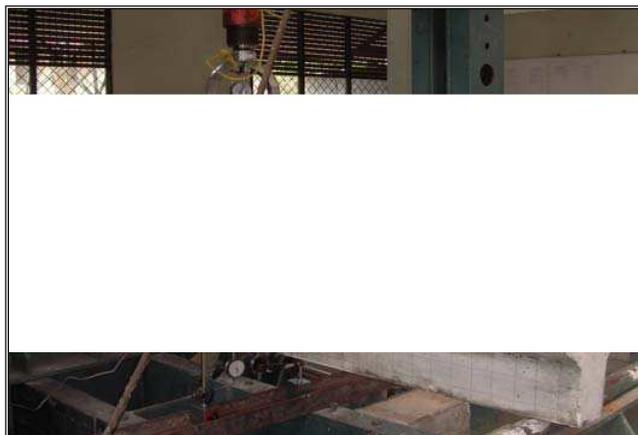
Pengujian kuat lentur beton digunakan alat UTM (*Universal Testing Machine*) yang mengacu pada ASTM C 78, yaitu dengan meletakkan balok beton di atas dua tumpuan dengan jarak 300 mm kemudian balok tersebut diberi beban terpusat yang masing-masing  $\frac{1}{2} P$  dengan jarak  $\frac{1}{3}$  bentang dari tumpuan. Beban maksimum dicatat pada saat beton mengalami pecah. Kuat tarik lentur diperoleh dari persamaan:  $f_t = \frac{Pl}{bd^2}$  (Pers. 1)



Gambar 5. Detail bentuk penampang balok.



Gambar 6. Detail balok uji dan *setting-up* pengujiannya



Gambar 7. Pengujian balok berpenampang T (BT)

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### 4.1 Kuat Tekan Beton dan Kuat Tarik Beton

Pengujian kuat tekan beton bertujuan untuk mengetahui mutu beton dari balok uji utama, yaitu balok berpenampang persegi, balok berpenampang T, dan balok berpenampang I. Kuat tekan beton diperoleh dari pengujian tekan silinder beton berdiameter 15cm dan tinggi 30cm. Masing-masing dibuatkan 3 buah silinder beton. Hasil pengujiannya dirata-ratakan, dimasukkan dalam Tabel 3.

Kuat tarik lentur beton diperoleh dari pengujian lentur balok beton (tanpa tulangan) dengan ukuran 10cm x 10cm x 40 cm, dengan sistem pembebanan *third-point loading*. Nilai beban ultimit pada pengujian lentur disubstitusikan ke dalam Persamaan (1) kemudian hasilnya dirata-ratakan. Menurut SK SNI-T-15-1991-03, kuat tarik beton teoritis  $f_r = 0,7 \sqrt{f'_c}$ . Nilai kuat tarik rata-rata dan kuat tarik teoritis dimasukkan dalam Tabel 3. Kuat tarik teoritis mempunyai nilai lebih kecil daripada kuat tarik pengujian, yang membuktikan bahwa rumusan  $f_r = 0,7 \sqrt{f'_c}$  aman digunakan untuk memprediksi kuat tarik beton.

Tabel 5. Kuat tekan dan kuat tarik beton hasil pengujian

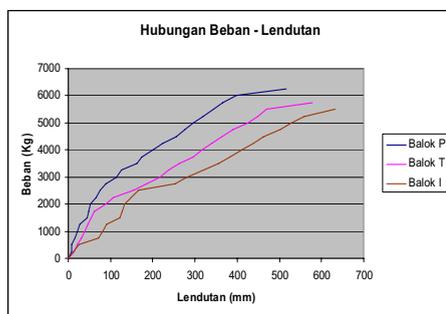
Kode	Sampel	Kuat Tekan Hasil Pengujian (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)	Kuat Lentur Pengujian (MPa)	Kuat Lentur Pengujian rata-rata (MPa)	Kuat Lentur Teoritis $0,7 \sqrt{f'_c}$ (MPa)
BP	Sampel 1	22,6354	19,6173	4,0419	4,6505	3,1000
	Sampel 2	19,2400		4,1175		
	Sampel 3	16,9765		4,3357		
BT	Sampel 1	19,2400	17,2595	3,3290	3,6180	2,9081
	Sampel 2	16,6936		3,8502		
	Sampel 3	15,8448		3,6748		
BI	Sampel 1	20,3718	19,6173	4,1531	4,5020	3,1000
	Sampel 2	19,2400		4,7648		
	Sampel 3	19,2400		4,5882		

**4.2. Hasil Pengujian Balok Beton Bertulang**

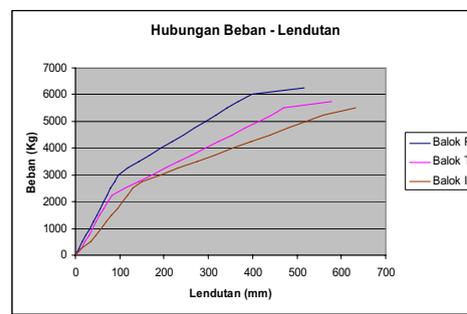
Hasil dari pengujian balok beton bertulang, baik BP, BT, maupun BI ditampilkan dalam Tabel 6, Gambar 8 dan Gambar 9. Pola retak yang terbentuk selama pembebanan dapat dilihat pada Gambar 10.

Tabel 6. Beban, momen, dan lendutan hasil pengujian dan teoritis

Balok Beton Bertulang		$M_{cr}$ (Tm)	$P_{cr}$ (T)	$\Delta_{cr}$ (mm)	$M_{max}$ (Tm)	$P_{max}$ (T)	$\Delta_{max}$ (mm)
BP	Teoritis (menggunakan data rencana ) $f_c = 20 \text{ MPa}$ , $f_y = 240 \text{ MPa}$	0,58697	1,9565	0,4110	1,31940	4,3980	2,7723
	Teoritis (menggunakan data pengujian) $f_c = 19,6173 \text{ MPa}$ , $f_y = 291,3643 \text{ MPa}$	0,87199	2,9066	0,6166	1,58259	5,2753	3,3326
	Hasil Pengujian	0,9	3	1,1466	1,875	6,25	5,13
BT	Teoritis (menggunakan data rencana ) $f_c = 20 \text{ MPa}$ , $f_y = 240 \text{ MPa}$	0,41585	1,3862	0,3255	1,34589	4,4863	2,5110
	Teoritis (menggunakan data pengujian) $f_c = 17,2595 \text{ MPa}$ , $f_y = 291,3643 \text{ MPa}$	0,48061	1,6020	0,405	1,61433	5,3811	3,0607
	Hasil Pengujian	0,675	2,25	1,0750	1,725	5,75	5,78
BI	Teoritis (menggunakan data rencana ) $f_c = 20 \text{ MPa}$ , $f_y = 240 \text{ MPa}$	0,58623	1,9541	0,3667	1,32951	4,4317	2,5833
	Teoritis (menggunakan data pengujian) $f_c = 19,6173 \text{ MPa}$ , $f_y = 291,3643 \text{ MPa}$	0,84307	2,8102	0,5325	1,61049	5,3683	3,1383
	Hasil Pengujian	0,75	2,5	1,6625	1,65	5,5	6,33



a)



b)

Gambar 8. Kurva hubungan beban dan lendutan di tengah bentang balok a) hasil pengujian; b) penyederhanaan

### 4.3 Pembahasan

Berdasarkan hasil perhitungan secara teoritis diperoleh nilai beban maksimum terbesar dimiliki oleh BT kemudian diikuti oleh BI dan BP. Hal ini menunjukkan bahwa pemindahan sebagian luasan bagian bawah penampang balok (bagian tarik) ke bagian atas penampang balok (daerah tekan) meningkatkan kapasitas beban maksimum balok.

Sayangnya peningkatan beban maksimum pada BT diikuti dengan menurunnya kekakuan balok. Kekakuan relatif balok dapat dilihat dari kemiringan kurva hubungan beban dan lendutan balok. Semakin curam kemiringan kurva maka semakin kaku balok tersebut, atau sebaliknya. Kekakuan balok BT lebih rendah dibandingkan dengan BI dan BP.

Menurunnya kekakuan pada BT dapat diperbaiki dengan cara memberikan sayap (flens) pada bagian bawah penampang balok, sehingga terbentuklah balok dengan berpenampang I (Kode: BI). Berdasarkan hasil perhitungan teoritis BI memiliki kekakuan yang lebih baik dari balok berpenampang persegi (BP). Sayap (flens) pada bagian atas dan bawah penampang balok dapat memperbesar momen inersia yang pada akhirnya meningkatkan kekakuan balok.

Dilihat dari beban retak pertama ( $P_{cr}$ ) teoritis, BI mempunyai nilai  $P_{cr}$  yang hampir sama dengan BP, sedangkan BT memiliki  $P_{cr}$  yang jauh lebih kecil dari BP.

Jika dilihat dari perhitungan teoritis dapat disimpulkan bahwa jika dibandingkan dengan balok berpenampang persegi (BP), bentuk penampang balok yang paling efektif adalah bentuk I (BI). Karena dengan luas penampang yang sama dengan BP, BI dapat memiliki kapasitas  $P_{cr}$  dan kekakuan yang relatif sama dengan BP namun mempunyai kapasitas beban maksimum yang lebih besar dari BP.

Grafik hubungan beban dan lendutan hasil pengujian untuk ketiga balok BP, BT, dan BI dapat dilihat pada Gambar 8. Setelah dilakukan penyederhanaan grafik pada Gambar 8, maka diperoleh kurva hubungan beban-lendutan yang berupa tiga garis linier (trilinier) seperti terlihat pada Gambar 9. Berdasarkan grafik tersebut kita dapat mengetahui nilai beban retak pertama ( $P_{cr}$ ), nilai beban pada saat tulangan tarik meleleh ( $P_y$ ), nilai beban maksimum ( $P_{max}$ ).

Hasil pengujian benda uji BP, BT, dan BI ternyata tidak sejalan dengan hasil perhitungan secara teoritis. Dari hasil pengujian, BP memiliki nilai beban maksimum paling besar diikuti oleh BT (92% terhadap  $P_{max}$  BP) kemudian BI (88% terhadap  $P_{max}$  BP). Beban terjadinya retak pertama ( $P_{cr}$ ) yang paling tinggi dimiliki oleh BP, kemudian diikuti oleh BI (83,3% terhadap  $P_{cr}$  BP) dan BT (75% terhadap  $P_{cr}$  BP). Demikian juga kekakuan terbesar terjadi pada BP kemudian diikuti oleh BT dan BI. Disini terlihat bahwa BP memiliki beban maksimum, beban retak pertama ( $P_{cr}$ ), dan kekakuan yang paling besar dari ketiga balok tersebut.

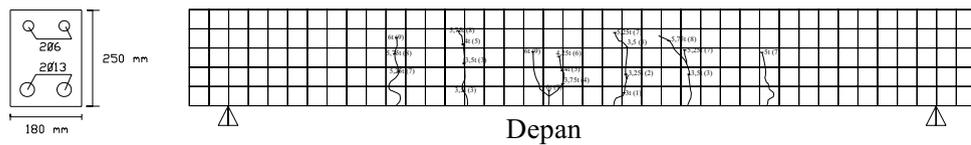
Perbedaan hasil pengujian dengan hasil perhitungan teoritis disebabkan kualitas pelaksanaan pembuatan benda uji. Pembuatan benda uji balok dengan penampang persegi (BP) jauh lebih mudah dibandingkan balok dengan penampang T dan I (BT dan BI), baik dari segi pembuatan bekisting balok, perakitan tulangan, maupun pemadatan pada saat pengecoran adukan beton ke dalam bekisting. Pembuatan bekisting balok dengan penampang T dan I cukup sulit dikarenakan terdapat sudut-sudut antara badan (web) balok dan sayap (flens) balok. Sudut-sudut tersebut merupakan perlemahan balok BT dan juga BI yang memiliki sayap pada bagian atas dan bawah.

Pemadatan pada waktu pengecoran paling sulit dilakukan pada balok berpenampang I yaitu pada sayap bagian bawah. Perlu pelaksanaan pemadatan yang baik agar adukan beton yang dituangkan dari atas balok dapat menjangkau semua ruang pada bekisting sayap balok BI bagian bawah, sehingga tidak menghasilkan beton yang keropos.

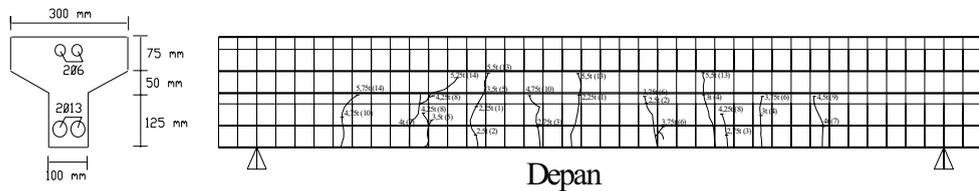
Selama pembebanan/pengujian pada balok, juga diamati perambatan retak yang terjadi. Pola retak tersebut direkam seperti terlihat pada Gambar 10. Retak yang terjadi pada ketiga balok BP, BT, dan BI adalah retak lentur. Retak lentur adalah retak yang merambat tegak lurus sumbu memanjang balok. Ketiga balok mengalami keruntuhan lentur yang ditandai dengan melelehnya tulangan tarik.

Kesimpulannya, hasil pengujian dari balok BT dan BI dapat sesuai dengan hasil perhitungan secara teoritis apabila dalam pelaksanaan pembuatan benda uji balok dilakukan dengan sangat hati-hati, terutama dalam hal pemadatan pada saat pengecoran adukan beton ke dalam bekisting. Selain menggunakan pemadatan secara internal, sebaiknya dibantu dengan pemadatan eksternal terutama pada bagian bekisting yang bersudut, seperti sayap dari balok BT dan BI.

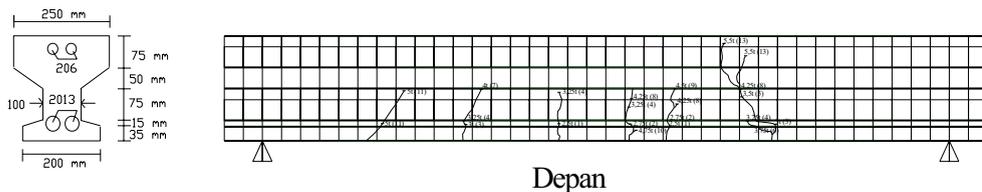
Gambar Pola Retak Balok Persegi



Gambar Pola Retak Balok T



Gambar Pola Retak Balok I



Gambar 10. Pola retak balok BP, BT, dan BI.

## 5. KESIMPULAN

- a. Berdasarkan hasil perhitungan secara teoritis, BT memiliki kapasitas beban maksimum paling tinggi dari ketiga balok (BP, BT, dan BI) tetapi memiliki kekakuan paling rendah. Balok I (BI) mempunyai kapasitas beban maksimum yang lebih besar dari BP dengan kekakuan yang lebih baik.

- b. Hasil pengujian benda uji BP, BT, dan BI tidak sejalan dengan hasil perhitungan secara teoritis, yang disebabkan oleh mutu pembuatan benda uji. Dari hasil pengujian, BP memiliki nilai beban maksimum paling besar diikuti oleh BT (92% terhadap  $P_{max}$  BP) kemudian BI (88% terhadap  $P_{max}$  BP). Beban terjadinya retak pertama ( $P_{cr}$ ) yang paling tinggi dimiliki oleh BP, kemudian diikuti oleh BI (83,3% terhadap  $P_{cr}$  BP) dan BT (75% terhadap  $P_{cr}$  BP). Demikian juga kekakuan terbesar terjadi pada BP kemudian diikuti oleh BT dan BI.
- c. Agar hasil pengujian sesuai dengan hasil perhitungan teoritis, maka dalam pelaksanaan pembuatan benda uji balok harus dilakukan dengan sangat hati-hati, terutama dalam hal pemadatan pada saat pengecoran adukan beton ke dalam bekisting. Selain menggunakan pemadatan secara internal, sebaiknya dibantu dengan pemadatan eksternal terutama pada bagian bekisting yang bersudut, seperti sayap dari balok BT dan BI.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Carpinteri, A., Spagnoli, A., Vantadori, S. (2002), "Hysteretic Flexural Behaviour of Reinforced Concrete Beam with a T-Cross Section," ACI Journal, Proceedings.
- Gottfried, Brendel, 1964, "Strength of the Compression Slab of T-beams Subject to Simple Bending," ACI Journal, Proceedings.
- Nawy, Edward. 1996. *Beton Bertulang (Suatu Pendekatan Dasar)*. Alih bahasa Bambang Suryoatmono. PT.Eresco. Bandung.
- Noorhidana, V.A., 2004, "Combination of Fiber Reinforced Concrete and Plain Concrete to Enhance Flexural Strength of Reinforced Concrete Beam", Prosiding Heds Seminar on Science & Technology (HEDS-SST) 2004.
- Park, P. & Paulay, T., 1975, "Reinforced Concrete Structures," John Wiley & Sons, Inc.
- Sukrawa, M., Priggana, G., Sudarsana, I. K., 2006, "Behavior of RC T-Beams Strengthened With Steel Plate," Prosiding Seminar HAKI.
- Wahyudi, L., & Rahim, S. A., 1997, "Struktur Beton Bertulang Standar Baru SNI T-15-1991-03", Penerbit Gramedia Pustaka Utama.
- Wang, C.K., & Salmon, C.G., 1993, "Disain Beton Bertulang," Terjemahan oleh: Hariandja, B., Penerbit Erlangga.