

## ANALISIS PERBANDINGAN PENGUJIAN LENTUR BALOK TAMPANG PERSEGI SECARA EKSPERIMENTAL DI LABORATORIUM DENGAN PROGRAM RESPONSE 2000

Fatmawati Amir\*

### Abstract

*General, rectangular beam construct to take flexural and shear force. Flexural test can visualitation in the laboratorium if there are tools like loading frame, load cell, hydraulic jack and data logger. This research give alternative conclusion for flexural test used Response-2000 programme, beside the test result.*

*Response-2000 was one programme used to analyse beam and column with combination load cause axial force, moment and shear force. This method can used to know the behavior of rectangular beam based on layer method and produce load-bending response, shear force, axial load, moment-curvature, and strain-moment diagram to know ductility and strength of beam .*

**Keyword:** *Rectangular beam, flexural test, Response-2000*

### 1. Pendahuluan

Pengujian lentur di laboratorium umum dilakukan untuk mengetahui perilaku dari balok beton bertulang bila dibebani suatu gaya tertentu, berdasarkan pengujian tersebut diperoleh besarnya lendutan, lebar retakan dan besar regangan yang terjadi pada balok. Di laboratorium struktur yang lengkap, pengujian lentur dengan mudah dapat dilakukan, namun kenyataannya di banyak perguruan tinggi yang tersebar di Indonesia peralatan untuk pengujian tersebut belum tersedia. Salah satu cara untuk mengatasi hal ini adalah dengan membuat program simulasi tertentu, tetapi cara tersebut memakan waktu lama dalam pembuatannya dan tidak dapat diaplikasikan pada seluruh jenis dan ukuran balok.

Program *Response-2000* yang dikembangkan oleh Benz dan Vecchio merupakan salah satu program yang dengan mudah dapat digunakan untuk menganalisis balok yang dibebani suatu gaya tertentu. Dalam penelitian ini, dilakukan pengujian lentur terhadap balok tampang persegi di laboratorium dan sebagai pembandingnya digunakan program *Response-2000*. Dari kedua hasil pengujian tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa program *Response-2000* cukup akurat dalam menampilkan respon dari balok berupa prediksi

respon beban-lendutan, gaya geser dan beban aksial dari balok beton bertulang yang diuji. Selain itu hubungan momen dan kelengkungan, serta hubungan momen dan regangan tulangan tarik dapat ditampilkan, sehingga dapat diketahui tingkat kekuatan dan daktilitas balok.

### 2. Tinjauan Pustaka

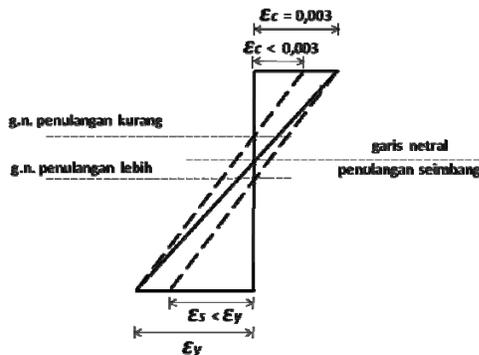
Dalam Dipohusodo (1994), apabila suatu gelagar balok bentang sederhana menahan beban yang mengakibatkan timbulnya momen lentur, akan terjadi deformasi (regangan) lentur di dalam balok tersebut. Regangan-regangan yang terjadi akan mengakibatkan timbulnya tegangan-tegangan yang harus ditahan oleh balok, tegangan tekan di sebelah atas dan tegangan tarik di bagian bawah. Karena beton memiliki sifat yang kurang kuat dalam menahan tegangan tarik maka tulangan baja dipasang di daerah tegangan tarik bekerja, di dekat serat terbawah.

Pada suatu komposisi tertentu, balok menahan beban sedemikian hingga regangan tekan lentur beton maksimum ( $\epsilon'_{b maks}$ ) mencapai 0,003 sedangkan tegangan tarik baja tulangan mencapai tegangan luluh  $f_y$ , apabila hal tersebut terjadi maka penampang balok disebut bertulang seimbang

---

\* Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tadulako, Palu

(*balance*) dan garis netral terletak pada posisi dimana resultante tegangan tekan seimbang dengan resultante tegangan tarik ( $\Sigma H = 0$ ). Jika penampang balok beton bertulang mengandung jumlah tulangan baja tarik lebih banyak dari yang diperlukan untuk mencapai keseimbangan regangan, penampang balok disebut bertulang lebih (*overreinforced*). Berlebihnya tulangan baja tarik menyebabkan garis netral bergeser ke bawah dan beton akan mencapai regangan maksimum 0,003 sebelum tulangan baja tariknya luluh. Apabila penampang balok tersebut dibebani momen lebih besar lagi yang mengakibatkan regangannya semakin besar sehingga kemampuan regangan beton terlampaui, maka akan berlangsung keruntuhan dimana beton hancur secara mendadak tanpa diawali dengan gejala-gejala peringatan terlebih dahulu. Sebaliknya bila penampang balok beton bertulang mengandung jumlah tulangan baja tarik kurang dari yang diperlukan untuk mencapai keseimbangan regangan, maka penampang demikian disebut bertulang kurang (*underreinforced*). Variasi letak garis netral akibat kondisi penampang tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.

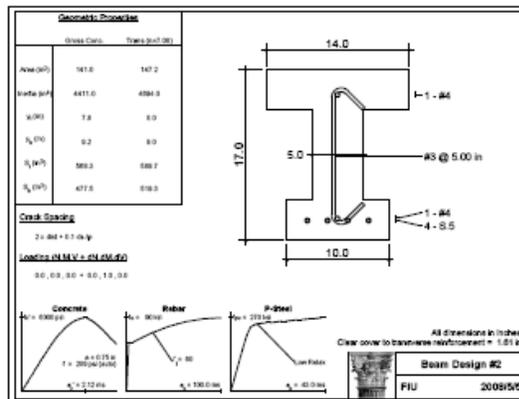


Gambar 1. Variasi letak garis netral penampang balok beton bertulang (Dipohusodo, 1994)

Florida International University Civil Engineering Structural Laboratory melakukan pengujian lentur terhadap balok bertampang I dengan terlebih dahulu menggunakan program *Response-2000* untuk memperoleh bentuk dan ukuran balok yang sesuai untuk digunakan dalam pengujian di laboratorium. Dengan program *Response-2000* diperoleh prediksi retakan awal, beban maksimum dan defleksi maksimum yang

mungkin terjadi pada balok kemudian dibandingkan dengan hasil pengujian di laboratorium.

Dari program *Response-2000* diperoleh besarnya beban maksimum hingga terjadi retakan awal pada balok adalah 10,7 kips dan lendutan awal yang terjadi mencapai 0,367 in. Perencanaan balok uji berdasarkan program ini ditampilkan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Hasil analisis balok berdasarkan program *Response-2000*

Setelah dilakukan pengujian di laboratorium diperoleh hasil pengujian berupa retakan awal terjadi pada beban 23 kips, dengan lendutan maksimum sebesar 4,65 in. Walaupun hasil pengujian tersebut berbeda jauh dengan hasil program *Response-2000*, namun penggunaan program ini cukup membantu dalam memprediksi respons balok setelah dibebani, sehingga saat pengujian di laboratorium, pembebanan yang dilakukan dapat dikontrol sebelum retakan awal terjadi. #

### 3. Metode Penelitian

#### 3.1 Bahan penelitian

Bahan dan material yang digunakan dalam penelitian ini adalah beton *ready mix* dengan  $f_c' = 25$  MPa dan nilai slump  $10 \pm 2$ , agregat halus (pasir merapi), air, baja tulangan (D13, P8 dan P6).

#### 3.2 Peralatan penelitian

Alat-alat inti untuk penelitian antara lain:

- Loading Frame*, digunakan sebagai perletakan balok untuk uji lentur balok.

- b. *Hydroulic Jack*, digunakan sebagai pemberi beban pada benda uji balok.
- c. *Load cell*, digunakan sebagai penerus beban yang diberikan oleh Hydroulic Jack.
- d. *LVDT*, untuk mengukur besarnya lendutan pada benda uji balok.

*Data logger*, untuk membaca nilai pembebanan, lendutan dan regangan yang terjadi pada benda uji.

**3.3 Tahapan penelitian**

Pada penelitian ini proses penelitian dibagi dalam beberapa tahapan, diantaranya :

- a) Tahapan perumusan masalah, meliputi perumusan topik penelitian, termasuk perumusan tujuan, serta manfaat penelitian,
- b) Tahap perumusan teori, meliputi pengkajian pustaka terhadap teori yang melandasi penelitian seta ketentuan- ketentuan yang menjadi acuan dalam pelaksanaan penelitian, serta perencanaan model benda uji,
- c) Tahap persiapan, meliputi pengadaan bahan/material, pembuatan benda uji model struktur dan uji kualitas material sesuai dengan standar atau peraturan yang berlaku,

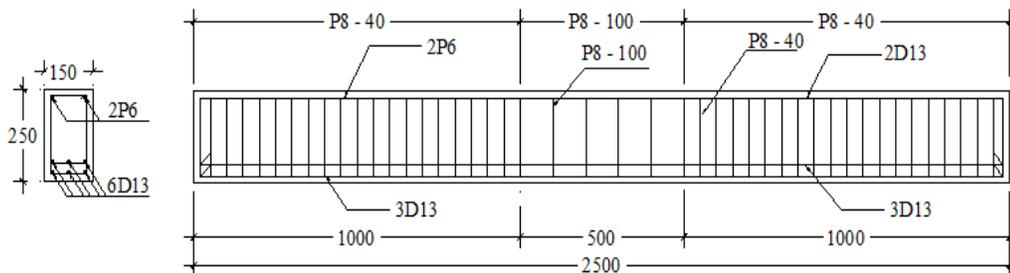
- d) Tahap pengujian, tahap ini terdiri dari beberapa bagian pengujian yaitu pengujian kualitas material, pengujian setelah pembuatan benda uji (uji tekan silinder beton) dan pengujian lentur balok uji.
- e) Tahap pengumpulan data dari semua hasil pengujian,
- f) Tahap analisis data, tahap ini dibagi menjadi dua bagian yaitu analisis data berdasarkan eksperimen dan analisis data menggunakan program Response 2000.
- g) Tahap penulisan dan pencarian kesimpulan, tahap ini meliputi penulisan laporan penelitian berdasarkan aturan yang berlaku dan pengolahan data serta penarikan kesimpulan berdasarkan data yang telah diolah tersebut.
- h) Kesimpulan diambil berdasarkan teori yang digunakan untuk menjawab pemecahan terhadap masalah.

**3.4 Spesifikasi benda uji balok**

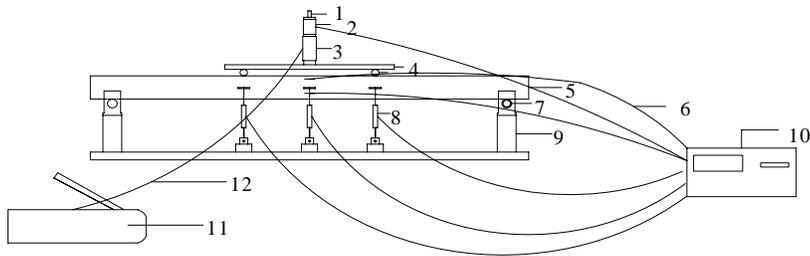
Spesifikasi benda uji balok disajikan pada Tabel 1 dan diilustrasikan pada Gambar 3. Sementara Set-up pengujiannya disajikan pada Gambar 4.

Tabel 1. Spesifikasi Benda Uji

Kode	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tinggi (mm)	TulanganUtama		Tulangan Sengkang
				Atas	Bawah	
BK	2500	150	250	2D13	6D13	P8-40



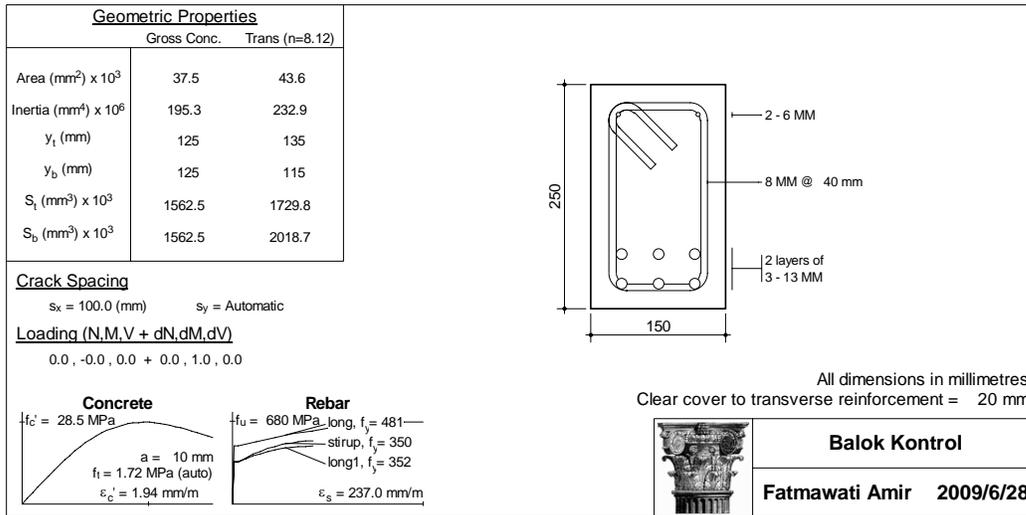
Gambar 3. Penampang memanjang dan melintang balok (BK)



Gambar 4. Set-up pengujian

Keterangan:

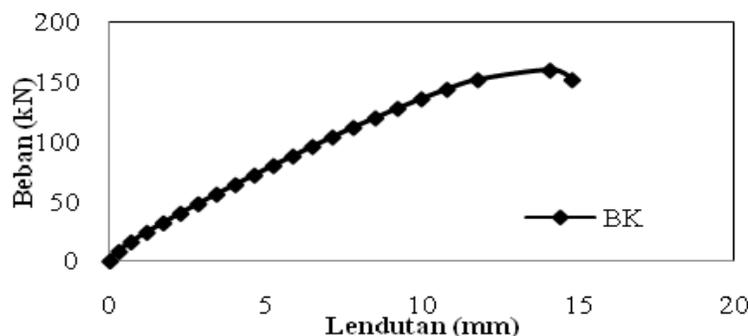
- |                                     |                                      |
|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 1 : Loading Frame                   | 7 : Tumpuan balok (sendi-rol)        |
| 2 : Load Cell                       | 8 : LVDT                             |
| 3 : Hydraulic Jack                  | 9 : Rigid Floor                      |
| 4 : Plat perata beban               | 10 : Data Logger                     |
| 5 : Benda uji balok beton bertulang | 11 : Hydraulic Pump                  |
| 6 : Kabel                           | 12 : Kabel penghubung Hydraulic Jack |



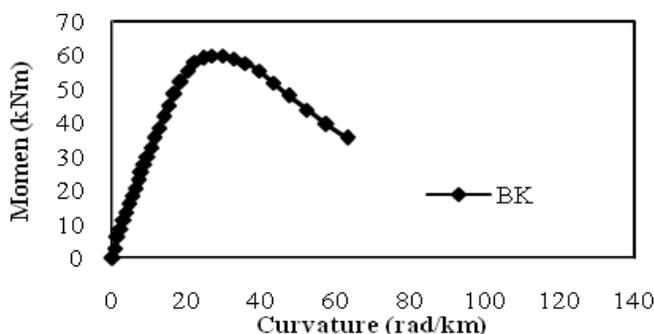
Gambar 5. Hasil Analisis balok uji berdasarkan program *Response-2000*

Tabel 2. Perhitungan teoritis kapasitas beban dan lendutan benda uji berdasarkan program *Response-2000*

No	Benda Uji	Kapasitas Beban (kN)			Lendutan yang terjadi (mm)			Lebar retak (mm)		Peningkatan Pmaks (%)
		Retak I	Leleh	Maks	Retak I	Leleh	Maks	Retak I	Maks	
1	BK	15,930	119,478	159,304	0,674	8,507	14,810	0,020	0,360	0,000



Gambar 6. Hubungan beban dan lendutan benda uji balok (*Response-2000*)



Gambar 7. Hubungan momen dan *curvature* benda uji balok (*Response-2000*)

Tabel 3. Hasil pengujian lentur balok uji

No	Benda Uji	Kapasitas Beban (kN)		Lendutan yang terjadi (mm)		Lebar Retak (mm)		Peningkatan $P_{maks}$ (%)
		Retak 1	Maks	Retak 1	Maks	Retak 1	Maks	
1	BK	22,8	171,1	2,51	35,86	0,02	1,80	0

### 3.5 Analisis

Analisis teoritis kapasitas lentur benda uji dilakukan dengan program *Response-2000*. Adapun gambar balok uji yang dianalisis serta hasil analisis yang diperoleh berdasarkan program *Response-2000* ditampilkan dalam Gambar 5, Gambar 6 dan Gambar 7 serta Tabel 2.

## 4. Hasil dan Pembahasan

### 4.1 Pengujian pendahuluan

Hasil pengujian 3 silinder beton diperoleh kuat tekan rata-rata sebesar 28,514 MPa. Hasil uji kuat tarik baja tulangan untuk tegangan leleh baja

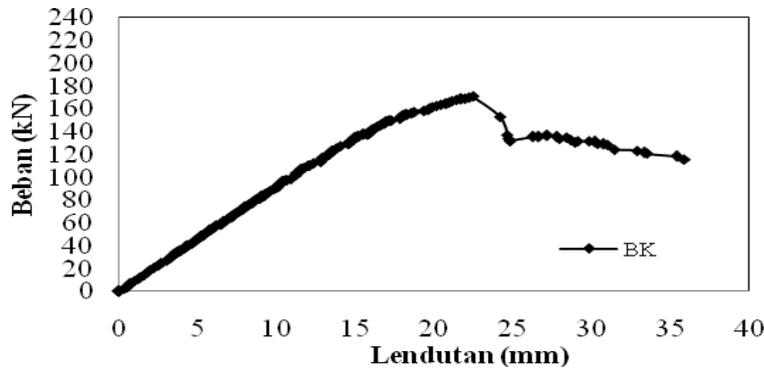
tulangan D13, P8 dan P6 berturut-turut sebesar 481,4564 MPa, 349,9236 MPa, dan 352,8771 MPa.

### 4.2 Pengujian lentur eksperimen

Hasil pengujian lentur berupa beban, lendutan dan lebar retak dari benda uji ditunjukkan pada Tabel 3. dan Gambar 8.

### 4.3 Perbandingan beban hasil eksperimen dan program *Response-2000*

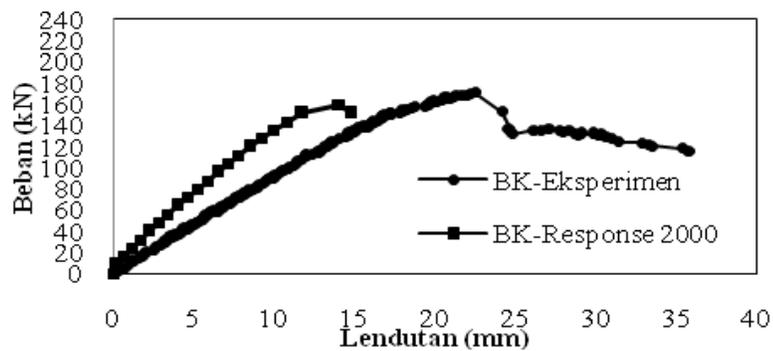
Secara keseluruhan beban hasil eksperimen yang diperoleh tidak berbeda jauh dengan beban hasil analisis program *Response-2000* untuk BK. Besarnya perbedaan nilai tersebut secara lengkap dapat dilihat pada Tabel 4.



Gambar 8. Hubungan beban dan lendutan benda uji hasil eksperimen

Tabel 4. Perbandingan beban hasil eksperimen dan teoritis

No.	Benda Uji	P ( <i>Response-2000</i> ) (kN)	P <sub>maks</sub> (Pengujian) (kN)	P <sub>maks</sub> /P <sub>Response-2000</sub> (%)
1	BK	159,304	171,1	107,40



Gambar 9. Hubungan beban dan lendutan benda uji hasil eksperimen dan program *Response-2000*

#### 4.4 Kekakuan benda uji

Kekakuan menurut Timoshenko (1987) dalam Winurseto (2008), didefinisikan sebagai gaya yang dibutuhkan untuk menghasilkan suatu lendutan sebesar satu satuan. Kekakuan balok benda uji diperoleh berdasarkan hasil grafik hubungan beban-lendutan pada saat eksperimen. Nilai kekakuan balok uji dapat dilihat pada Tabel 5 dan Tabel 6.

#### 4.5 Daktilitas Benda Uji

Menurut Park dan Paulay, daktilitas adalah perbandingan antara lendutan pada saat beban ultimit dan beban saat leleh. Sedangkan lendutan ultimit adalah lendutan yang dicapai pada saat beban mencapai 0,8 dari beban maksimal pada bagian penurunan kurva hubungan beban-lendutan.

Tabel. 5. Nilai perbandingan kekakuan awal balok hasil eksperimen dengan program *Response-2000*

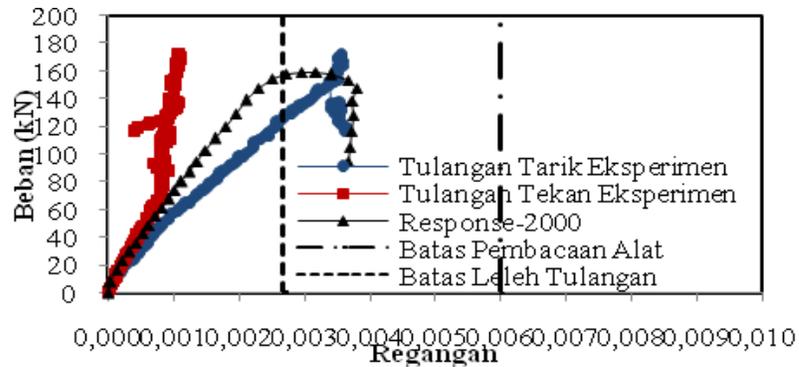
Benda Uji	Kekakuan awal ( <i>Initial stiffness</i> ) (N/mm)	
	Pengujian	<i>Response- 2000</i>
BK	9083,67	23635,01

Tabel. 6. Nilai perbandingan kekakuan balok dari retak awal hingga kondisi leleh hasil eksperimen dengan program *Response-2000*

Benda Uji	<i>Second stiffness</i> (N/mm)	
	Pengujian	<i>Response- 2000</i>
BK	9150,82	14044,67

Tabel 7. Nilai daktilitas balok uji

Benda Uji	$\delta y$ (mm)	$\delta u$ (mm)	Daktilitas $U = \delta u / \delta y$	Persentase (%)
BK	14,02	35,86	2,56	0



Gambar 10. Perbandingan beban-regangan tulangan benda uji balok

#### 4.6 Regangan tulangan

Perbandingan regangan benda uji hasil eksperimen dan hasil analisis dengan program *Response-2000* dapat dilihat pada Gambar 10.

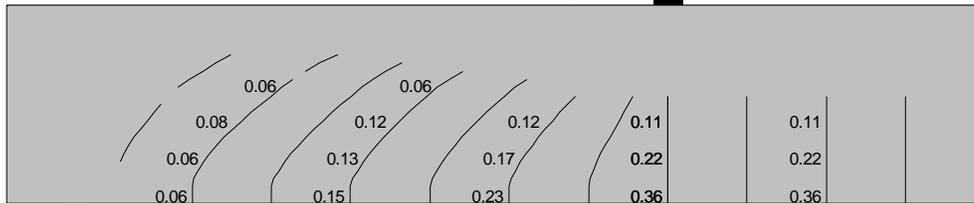
Berdasarkan Gambar 10 menunjukkan pada benda uji BK awalnya masing-masing tulangan menerima beban yang proporsional. Pada pembebanan di atas 70 kN masing-masing tulangan untuk benda uji BK

tidak lagi menerima beban secara proporsional, dimana beban lebih banyak dilimpahkan pada tulangan tarik. Pembacaan grafik regangan hasil pengujian dan program *Response-2000* memperlihatkan hasil yang tidak jauh berbeda.



(a) Balok uji BK eksperimen

**Member Crack Diagram**



(b) Hasil program *Response-2000*

Gambar 11. Perbandingan pola retak benda uji hasil eksperimen dan hasil program *Response-2000*

#### 4.7 Pola Keruntuhan

Pada pengujian BK, keruntuhan yang terjadi adalah keruntuhan yang bersifat getas ditandai dengan terjadinya *spalling* pada daerah tekan dari benda uji saat beban maksimum.

- e) Hasil pengujian di laboratorium dengan hasil analisis menggunakan program *Response-2000* memperlihatkan nilai yang tidak berbeda jauh, sehingga program tersebut dapat digunakan sebagai dasar analisis sebelum melakukan pengujian di laboratorium.

### 5. Kesimpulan

Beberapa kesimpulan yang dapat diambil antara lain adalah sebagai berikut:

- Kapasitas lentur hasil eksperimen untuk benda uji BK adalah 171,1 kN sedangkan hasil analisis dengan program *Response-2000* diperoleh besarnya kapasitas lentur benda uji adalah 159,304 kN.
- Kekakuan lentur hasil eksperimen untuk benda uji BK sebesar 9083,67 N/mm sedangkan hasil analisis dengan program *Response-2000* diperoleh besarnya kekakuan lentur benda uji adalah 23635,01 N/mm.
- Daktilitas benda uji hasil eksperimen untuk BK adalah 2,56.
- Pola keruntuhan yang terjadi bersifat getas berdasarkan hasil eksperimen dan program *Response-2000*.

### 6. Daftar Pustaka

ASTM, 2003, *Concrete and Aggregates*, Annual Book of ASTM, Vol.04.02, Philadelphia.

Dipohusodo, L, 1994, *Struktur Beton Bertulang*, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta

Nawy, Edward G., 1990, *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Mendasar* (diterjemahkan oleh Bambang Suryoatmono), Eresco, Bandung.

Park, R., dan Paulay, T., 1974, *Reinforced Concrete Structure*, Wiley Interscience Publication, New York.

Timoshenko, Stepen P., dan Gere, James M., 1987, *Mekanika Bahan*, Erlangga, Jakarta.

- Winurseto, W.S., 2008, *Tinjauan perkuatan Lentur Balok Tampang T dengan Penambahan Tulangan yang Dikaitkan dan Menggunakan Perekat Epoxy Resin* , Tesis Pasca Sarjana UGM, Jogjakarta
- 2008 Big Beam Competition paper, Florida International University, USA