

# ANALISIS DAN EKSPERIMENTAL PERHITUNGAN DAKTILITAS BALOK BETON BERTULANG

Grinaldo Dita  
NRP: 0621042

Pembimbing: Yosafat Aji Pranata, ST., MT.

## ABSTRAK

Beton merupakan material bangunan yang paling banyak digunakan di dunia. Sampai tahun 2005 saja, telah diproduksi sekitar 6 milyar m<sup>3</sup> beton setiap tahun [Hidayat 2009]. Agar aplikasinya lebih luas, material beton harus dipadukan dengan rangkaian baja tulangan. Beton dan baja merupakan dua jenis material yang bersifat saling mendukung dan sangat interaktif. Dalam upaya untuk lebih meningkatkan kemampuan konstruksi beton bertulang dalam memikul beban-beban diperlukan analisa dan kajian untuk balok, kolom, pelat dan pondasi. Salah satu bagian struktural suatu konstruksi yang memiliki peran yang signifikan adalah balok, beberapa hal yang perlu diperhatikan pada balok adanya geseran dan lendutan yang dapat menyebabkan retak pada balok.

Tujuan penelitian Tugas Akhir adalah mempelajari daktilitas peralihan balok beton bertulang, dengan cara analitis dan numerik, dan dibandingkan dengan hasil uji eksperimental.

Hasil penelitian memperlihatkan bahwa perhitungan daktilitas peralihan dengan cara analitis dengan model tegangan-regangan beton Hognestad dan model tegangan-regangan baja bilinear menghasilkan daktilitas peralihan yang mendekati hasil eksperimental. Hasil program *Response 2000* dengan kuat tarik diabaikan hasilnya mendekati hasil eksperimental. Pada konsisi lendutan ultimit, model tegangan-regangan beton hognestad dan model tengan-regangan baja bilinear yang dihitung dengan cara numerik menghasilkan beban ultimit yang mendekati hasil eksperimental. Pada kondisi beban ultimit, model tegangan-regangan beton hognestad dan model tengan-regangan baja bilinear menghasilkan beban ultimit yang mendekati hasil eksperimental. Nilai daktilitas peralihan balok beton bertulang hasil uji eksperimental adalah sebesar 5,6. Menurut peraturan Gempa Indonesia SNI 1726-2002 struktur balok termasuk dalam kategori SPRMK (daktilitas  $\geq 5,2$ ), sehingga balok beton bertulang memenuhi persyaratan struktur tahan gempa, dan dapat digunakan sebagai komponen/elemen struktur gedung untuk kategori sampai dengan wilayah gempa 6 di Indonesia.

**Kata kunci:** Balok beton bertulang, Daktilitas kurvatur, Daktilitas peralihan, Uji eksperimental.

# **ANALYSIS AND EXPERIMENTAL DUCTILITY COMPUTATION OF REINFORCED CONCRETE BEAM**

**Grinaldo Dita  
NRP: 0621042**

**Advisor: Yosafat Aji Pranata, ST., MT.**

## **ABSTRACT**

Concrete is a building material most widely used in the world. Until 2005, has produced about 6 billion m<sup>3</sup> of concrete per year [Hidayat, 2009]. To have a wider application, the concrete material must be combined with Steel. Concrete and steel are two types of materials that are mutually supportive and very interactive. In an effort to further improve the ability of reinforced concrete construction in the carry loads needed for the analysis and study of beams, columns, slabs and foundations.

The objectives of this research are study ductility of reinforced concrete beam, by comparison with analytical and experimental test results

Results obtained from this reseach showed that the calculation of displacement ductility analytical method with the stress-strain Hognestad model and the model stress-strain bilinear steel producing close to switching displacement ductility experimental results. Results Response 2000 with negligible tensile strength close to the experimental results. At ultimate displacement, hognestad concrete stress-strain model and bilinear steel stress-strain model give more accurate prediction against experimental result. At ultimate load, hognestad concrete stress-strain model and bilinear steel stress-strain model give more accurate prediction against experimental result. Displacement ductility of reinforced concrete beam from experimental result is 5,6. According to SNI 1726-2002 regulations Indonesian Eartquake beam structure include to SPRMK (ductility  $\geq 5,2$ ), so that the beams reinforced to meet the requirements of earthquake resistant structures, and can be used as a component / element of the building structure for the category up to 6 in Indonesian quake area.

**Keywords:** Reinforced concrete beam, Curvature ductility, Displacement ductility, Experimental.

# DAFTAR ISI

<b>Halaman Judul</b>	i
<b>Surat Keterangan Tugas Akhir</b>	ii
<b>Surat Keterangan Selesai Tugas Akhir</b>	iii
<b>Lembar Pengesahan</b>	iv
<b>Pernyataan Orisinalitas Laporan Tugas Akhir</b>	v
<b>Abstrak</b>	vi
<b>Abstract</b>	vii
<b>Prakata</b>	viii
<b>Daftar Isi</b>	x
<b>Daftar Gambar</b>	xii
<b>Daftar Tabel</b>	xiv
<b>Daftar Notasi</b>	xv
<b>Daftar Lampiran</b>	xvii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	2
1.3 Ruang Lingkup Penelitian	2
1.4 Sistematika Penulisan	3
<b>BAB II TINJAUAN LITERATUR</b>	4
2.1 Beton	4
2.1.1 Material Penyusun Beton	4
2.1.2 Hubungan Tegangan-Regangan Beton	6
2.1.3 Modulus Elastisitas Beton	7
2.1.4 Kuat Tekan Beton	9
2.2 Baja	10
2.2.1 Pembuatan Baja	10
2.2.2 Jenis Baja	11
2.3 Elemen Struktur Balok Beton Bertulang	12
2.4 Hubungan Beban-Lendutan	12
2.5 Menghitung Beban -lendutan	14
2.5.1 Metode Numerik	14
2.5.2 Metode Analitis	16
2.6 Daktilitas	18
2.6.1 Daktilitas Kurvatur	18
2.6.2 Daktilitas Peralihan	19
2.7 <i>Mix Design</i>	20
2.8 Metode Numerik <i>Bi-Section</i>	23
2.9 Metodologi Penelitian	25
<b>BAB III STUDI KASUS DAN PEMBAHASAN</b>	29
3.1 Studi Kasus	29

3.2 Perhitungan Momen-Kurvatur dan Daktilitas Kurvatur	30
3.2.1 Model Tegangan-Regangan A	30
3.2.2 Model Tegangan-Regangan B	38
3.3 Perhitungan Beban-Lendutan dengan Metode Eksak dan Daktilitas Peralihan	40
3.3.1 Model AN	41
3.3.2 Model BN	52
3.4 Perhitungan Beban-Lendutan dengan Metode Analitis dan Daktilitas Peralihan	56
3.4.1 Model A	56
3.4.2 Model B	58
3.5 Perhitungan dengan Perangkat Lunak	59
3.5.1 Langkah-langkah Perhitungan dengan <i>Response2000</i>	59
3.5.2 Hasil Analisis	67
3.6 Uji Eksperimental	69
3.6.1 Kurva Beban-Lendutan dan Daktilitas Peralihan	69
3.7 Pembahasan	71
<b>BAB IV KESIMPULAN DAN SARAN</b>	74
4.1 Kesimpulan	74
4.2 Saran	74
<b>Daftar Pustaka</b>	76
<b>Lampiran</b>	67

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Diagram Tegangan-Regangan Beton .....	6
Gambar 2.2	Hubungan Tegangan-Regangan Beton.....	7
Gambar 2.3	Modulus Tangen dan Sekan Beton.....	8
Gambar 2.4	Hubungan Beban Ledutan .....	13
Gambar 2.5	Ilustrasi Metode Momen Area.....	15
Gambar 2.6	Balok Dibagi Menjadi 18 Segmen .....	16
Gambar 2.7	Balok dengan Berat Sendiri.....	17
Gambar 2.8	Penentuan Kurvatur Saat Leleh Pertama dan Ultimit.....	19
Gambar 2.9	Penentuan Lendutan Saat Leleh Pertama dan Ultimit .....	19
Gambar 2.10	Penentuan Lendutan Saat Leleh Pertama dan Ultimit .....	20
Gambar 2.11	Metode <i>Bi-section</i> .....	23
Gambar 2.12	Bagan Alir Penelitian .....	25
Gambar 2.13	Bagan Alir Perhitungan Daktilitas Kurvatur .....	26
Gambar 2.14	Bagan Alir Perhitungan Daktilitas Peralihan .....	27
Gambar 2.15	Bagan Alir Perhitungan Momen Kurvatur .....	28
Gambar 3.1	Penampang Balok .....	29
Gambar 3.2	Kurva Momen Kurvatur Model Tegangan-Regangan A.....	34
Gambar 3.3	Penentuan Kurvatur Leleh dan Ultimit Model A.....	36
Gambar 3.4	Menghitung Luas Momen-Kurvatur Model A .....	36
Gambar 3.5	Menghitung Luas Momen-Kurvatur <i>Bisection</i> Model A .....	37
Gambar 3.6	Kurva Momen Kurvatur Model Tegangan-Regangan B .....	38
Gambar 3.7	Penentuan Kurvatur Leleh dan Ultimit Model A .....	40
Gambar 3.8	Balok dengan Berat Sendiri.....	41
Gambar 3.9	Hubungan Momen-Bentang dengan Berat Sendiri.....	43
Gambar 3.10	Kurva Kurvatur-Bentang Model AN.....	46
Gambar 3.11	Kurva Kurvatur-Bentang Model AN.....	49
Gambar 3.12	Luasan Kurvatur-Bentang Segmen 1.....	50
Gambar 3.13	Luasan Kurvatur-Bentang Segmen 7.....	50
Gambar 3.14	Penentuan Lendutan Leleh dan Ultimit Model AN.....	52
Gambar 3.15	Kurva Kurvatur-Bentang Model BN .....	52
Gambar 3.16	Penentuan Lendutan Leleh dan Ultimit Model BN .....	55
Gambar 3.17	Kurva Beban-Lendutan Model AA .....	57
Gambar 3.18	Penentuan Lendutan Leleh dan Ultimit Model AA.....	57
Gambar 3.19	Kurva Beban-Lendutan Model BA .....	58
Gambar 3.20	Penentuan Lendutan Leleh dan Ultimit Model BA.....	59
Gambar 3.21	Tampilan <i>Response2000</i> .....	60
Gambar 3.22	<i>General Definitions</i> .....	60
Gambar 3.23	<i>Basic Properties</i> .....	61
Gambar 3.24	<i>Concrete Details</i> dengan Kuat tarik diperhitungkan .....	62
Gambar 3.25	<i>Concrete Details</i> dengan Kuat tarik diabaikan.....	62
Gambar 3.26	<i>Rebar Details</i> .....	63
Gambar 3.27	Penampang dan Dimensi Balok.....	63
Gambar 3.28	Penampang Balok dan Tulangan .....	64
Gambar 3.29	<i>Define Transverse Reinforcement</i> .....	64

Gambar 3.30	<i>Define Longitudinal Reinforcement</i> .....	66
Gambar 3.31	<i>Define Loading</i> .....	66
Gambar 3.32	<i>Full Member Properties</i> .....	67
Gambar 3.33	<i>Sectional Response</i> .....	67
Gambar 3.34	Kurva Momen-Kurvatur dari Program <i>Response2000</i> .....	68
Gambar 3.35	Kurva Beban-Lendutan dari Program <i>Response2000</i> .....	68
Gambar 3.36	Kurva Beban-Lendutan Hasil Uji Eksperimental.....	69
Gambar 3.37	Kurva Beban-Waktu Hasil Uji Eksperimental .....	69
Gambar 3.38	Kurva Beban-Regangan Baja Hasil Uji Eksperimental.....	70
Gambar 3.39	Penentuan Lendutan Leleh dan Ultimit dari Program <i>Response2000</i> .....	70
Gambar 3.40	Kurva Beban-Regangan Gabungan .....	71
Gambar 3.41	Kurva Beban-Lendutan Gabungan .....	71
Gambar L1.1	Penampang balok.....	77
Gambar L1.2	Penampang Balok Tulangan Ganda dan Distribusi Tegangan-Regangan .....	77
Gambar L1.3	Distribusi Tegangan dan Regangan Balok Asumsi .....	78
Gambar L1.4	Distribusi Tegangan dan Regangan Balok Sebenarnya.....	79
Gambar L3.1	Kurva Distribusi Ukuran Butir Agregat Halus .....	96
Gambar L3.2	Hasil uji tekan silinder.....	100
Gambar L4.1	Kurva Tegangan-Regangan Baja Hasil Uji Tarik .....	101
Gambar L4.2	<i>Output</i> MINITAB .....	101
Gambar L5.1	Bekisting yang Digunakan .....	102
Gambar L5.2	Permukaan Tulangan Diamplas Untuk Menempatkan <i>Strain</i> <i>Gauge</i> .....	103
Gambar L5.3	<i>Strain Gauge</i> di lem Menggunakan <i>Power Glue</i> .....	104
Gambar L5.4	<i>Strain Gauge</i> Telah Dilem.....	104
Gambar L5.5	<i>Strain Gauge</i> Diberi Selotip .....	104
Gambar L5.6	<i>Strain Gauge</i> Diberi Aspal .....	105
Gambar L5.7	Tes <i>Slump</i> .....	105
Gambar L5.8	Adonan Beton Dicitak Dalam Bekisting .....	106
Gambar L5.9	Balok Telah Dicitak .....	106
Gambar L5.10	alok Dipasang <i>Strain Gauge</i> Beton .....	107
Gambar L5.11	<i>niversal Testing Machine</i> .....	107
Gambar L5.12	Balok Diset pada Alat Uji.....	108
Gambar L5.13	<i>Strain Gauge</i> Baja dan Beton .....	108
Gambar L5.14	<i>Strain Gauge</i> Baja dan Beton disambung pada instrumen <i>Smart Dynamic Strain Recorder (DC104R Controller)</i> .....	109
Gambar L5.15	Beban Terpusat Dibagi Menjadi Dua Beban Terpusat.....	109
Gambar L5.16	Komputer yang Membaca <i>DC104R Controller</i> dan UTM....	110

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Model Hubungan Tegangan-Regangan .....	30
Tabel 3.2	Hasil Perhitungan Momen-Kurvatur Model Tegangan-Regangan A .....	35
Tabel 3.3	Hasil Perhitungan Momen Kurvatur Model Tegangan-Regangan B .....	39
Tabel 3.4	Model Perhitungan Beban-Lendutan dengan Berbagai Pendekatan.....	40
Tabel 3.5	Hasil Perhitungan Kurvatur-Bentang Model Tegangan-Regangan AN .....	47
Tabel 3.6	Perhitungan Lendutan Model AN .....	49
Tabel 3.7	Beban-Lendutan Model AN .....	51
Tabel 3.8	Hasil Perhitungan Kurvatur-Bentang Model Tegangan-Regangan BN.....	53
Tabel 3.9	Beban-Lendutan Model BN .....	55
Tabel 3.10	Beban-Lendutan Model AA .....	56
Tabel 3.11	Beban-Lendutan Model BA .....	58
Tabel 3.12	Tabel Daktilitas Kurvatur .....	72
Tabel 3.13	Tabel Daktilitas Peralihan .....	72
Tabel 3.14	Tabel Lendutan Ultimit .....	72
Tabel 3.15	Tabel Beban Ultimit .....	73
Tabel L3.1	Penurunan Semen Bergantung pada % Air .....	90
Tabel L3.2	Penurunan Semen dengan Prosentase Air 27 % .....	91
Tabel L3.3	Warna Larutan .....	92
Tabel L3.4	Penyerapan Agregat Halus .....	92
Tabel L3.5	<i>Bulking Factor</i> .....	93
Tabel L3.6	Kadar Air .....	94
Tabel L3.7	Kadar Lumpur dan Kadar Lempung.....	94
Tabel L3.8	<i>Spesific Gravity</i> .....	95
Tabel L3.9	Analisis Ayak Agregat Halus .....	95

## DAFTAR NOTASI

$A_s$	= Luas tulangan tarik, mm <sup>2</sup> .
$A_s'$	= Luas tulangan tekan, mm <sup>2</sup> .
$b$	= Lebar penampang, mm.
$c$	= Jarak serat tertekan ke sumbu netral, mm.
$C_c$	= Gaya tekan pada penampang beton, N.
$C_s$	= Gaya tekan pada penampang beton akibat tulangan tekan, N.
$d$	= Tinggi efektif penampang, jarak serat tekan ke pusat tulangan tarik, mm.
$d'$	= Jarak dari serat tekan ke pusat tulangan tekan, mm.
$E_c$	= Modulus elastisitas beton, MPa.
$E_s$	= Modulus elastisitas baja, MPa.
$f'_c$	= Kuat tekan beton pada umur 28 hari, MPa.
$f_{cr}$	= Kuat tarik langsung, MPa.
$f_{cu}$	= Kuat tekan beton pada kondisi ultimit
$f_r$	= Modulus keruntuhan, MPa.
$f_s$	= Tegangan baja pada kondisi beban kerja, MPa.
$f'_t$	= Kuat tarik beton, MPa.
$f_y$	= Kuat leleh baja tulangan, MPa.
$h$	= Tinggi penampang, mm.
$I$	= Momen inersia penampang, mm <sup>4</sup> .
$L$	= Panjang bentang, m.
$M_{retak}$	= Momen pada saat pertama kali retak, Nmm.
$n$	= Rasio modulus.



- $P$  = Beban, kgμ.  
 $s$  = Deviasi standar.  
 $S_r$  = Deviasi standar rencana.  
 $T$  = Gaya tarik pada penampang beton akibat tulangan tarik, N.  
 $w$  = Kerapatan beton, kg/m<sup>3</sup>.  
 $W_h$  = Perkiraan jumlah air untuk agregat halus.  
 $W_k$  = Perkiraan jumlah air untuk agregat kasar.  
 $\bar{y}$  = Jarak titik berat penampang ke sisi atas penampang, mm.  
 $y_{bottom}$  = Jarak titik berat penampang ke sisi bawah penampang, mm.  
 $\delta$  = Lendutan, mm.  
 $\epsilon_c$  = Regangan beton.  
 $\epsilon_s$  = Regangan baja.  
 $\epsilon_{cu}$  = Regangan beton pada kondisi ultimit.  
 $\gamma_{beton}$  = Berat jenis beton, kg/m<sup>3</sup>  
 $\mu_\phi$  = Daktilitas Kurvatur  
 $\mu_\delta$  = Daktilitas Peralihan  
 $\phi_{retak}$  = Kurvatur, kelengkungan, rad/mm.  
 $\rho$  = rasio tulangan tarik.  
 $\rho'$  = rasio tulangan tekan.

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran L1	<i>Preliminary Design</i> Balok.....	77
Lampiran L2	Perhitungan Momen-Kurvatur.....	81
Lampiran L3	Hasil Analisis Semen dan Agregat serta Perhitungan <i>Mix Design</i> .....	89
Lampiran L4	Hasil Uji Tarik Baja.....	101
Lampiran L5	Hasil Uji Eksperimental .....	102