

TESIS

***RETROFITTING* SAMBUNGAN KOLOM-BALOK  
EKSPANSI PLANAR SEGITIGA DENGAN VARIASI  
UKURAN**



SIGIT HERNOWO

No. Mhs. : 125101896/PS/MTS

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL

PROGRAM PASCASARJANA

UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA

2015



UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA  
PROGRAM PASCASARJANA  
PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL

---

PENGESAHAN TESIS

Nama : SIGIT HERNOWO  
Nomor Mahasiswa : 125101896/PS/MTS  
Konsentrasi : Struktur  
Judul Tesis : *Retrofitting* Sumbungan Kolom-Balok Ekspansi Planar Segitiga  
dengan Variasi Ukuran

**Nama Pembimbing**  
  
Dr. Ir. Ade Lisantono, M.Eng

**Tanggal**  
22/06/2015  
.....

**Tanda tangan**  
  
.....



UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA  
PROGRAM PASCASARJANA  
PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL

PENGESAHAN TESIS

Nama : SIGIT HERNOWO  
Nomor Mahasiswa : 125101896/PS/MTS  
Konsentrasi : Struktur  
Judul Tesis : *Retrofitting* Sambungan Kolom-Balok Ekspansi Planar Segitiga  
dengan Variasi Ukuran

Nama Penguji	Tanggal	Tanda tangan
Dr. Ir. Ade Lisantono, M.Eng (Ketua)	22/06/2015	
Ir. John Tri Hatmoko, M.Sc. (Sekretaris)	22/06/2015	
Ir. Haryanto YW, MT (Anggota)	23/6-2015	



Ketua Program Studi  
  
Dr. Ir. Imam Basuki, MT  
PASCASARJANA

**Halaman Persembahan**



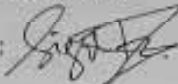
*untuk Wulan*

## HALAMAN PERNYATAAN

Tesis ini merupakan hasil karya pribadi saya sendiri dan bukan merupakan kutipan atau duplikasi dari karya tulis yang telah ada sebelumnya. Semua sumber yang dikutip dan dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Sigit Hernowo

NIM : 125101896

Tanda tangan : 

Tanggal : 3 Mei 2015

## INTISARI

Aktivitas kegempaan yang sangat tinggi di Indonesia, diikuti berbagai kejadian gempa besar, menyebabkan kesadaran untuk mengantisipasi kerusakan yang ditimbulkan oleh bencana ini. Peraturan-peraturan gempa mengalami perubahan disertai dengan perubahan wilayah gempa. Harus ada upaya untuk memperbaiki struktur gedung yang telah ada, salah satunya dengan perkuatan pada bagian sambungan kolom-balok yang merupakan bagian struktur bangunan terlemah terhadap gempa.

Empat benda uji sambungan kolom-balok beton bertulang, yaitu SJC, SJ-01, SJ-02, dan SJ-03 dibuat menggunakan beton normal dan tulangan polos diuji dalam program eksperimen ini. Balok dengan lebar 150 mm, tinggi 250 mm, dan panjang 1500 mm disambung dengan kolom berpenampang 250 mm x 250 mm, dan panjang 1750 mm. Spesimen SJ-01, SJ-02, dan SJ-3 diperkuat menggunakan voute segitiga pada sisi bawah balok di sambungan dengan kolom masing-masing dengan panjang sisi 125 mm, 187,5mm, dan 250 mm. Semua spesimen diuji dengan pembebanan siklik pada balok menggunakan aktuator hidrolik.

Kenaikan kekuatan diperoleh pada spesimen SJ-01 dan SJ-03 berturut-turut sebesar 12,74% dan 10,29%. Kegagalan struktur terjadi pada daerah sambungan spesimen SJC diikuti oleh SJ-01 yang bergeser ke ujung perkuatan. Pada SJ-02 dan SJ-03 kegagalan ditandai dengan lepasnya elemen perkuatan. Penguatan kekuatan sisi belakang kolom dan penurunan rasio redaman viskus ekuivalen terjadi secara signifikan mengikuti ukuran perkuatan. Perkuatan segitiga pada satu sisi mampu meningkatkan disipasi energi, namun berbanding terbalik dengan dimensi.

Kata kunci : sambungan kolom-balok, beton bertulang, *retrofit*, *voute*, beban siklik

## ABSTRACT

Highly seismic activities in Indonesia, that is followed by a lot of high magnitude earthquakes, make awareness of the people to anticipate the damage that caused by this disaster. The Codes of earthquake have change and are accompanied by the change of seismic region. There must be some efforts to improve the existing building structure. One of the effort is retrofitting the beam-column joint, that is the weakest element of structure in the building when subjected to earthquake loading.

Four beam-column joint reinforced concrete specimens, namely SJC, SJ-01, SJ-02, and SJ-03, made of normal concrete and plain reinforcement were tested in this experimental program. Beam with 150 mm width, 250 mm high, and 1500 mm length be jointed with column that has section area of 250 mm x 250 mm, and 1750 mm length. The specimens of SJ-01, SJ-02 and SJ-03 were retrofitted by triangular route in lower side of the beam in the beam-column joint region with 125 mm, 187.5 mm, and 250 mm side length, respectively. All specimens are tested with cyclic loading using hydraulic actuator.

The results show that increasing strength of specimen SJ-01 and SJ-03 were 12.74% and 10.29%, respectively. The failure occurred of SJC in the beam-column joint region, followed by SJ-01 that scrape to the end of retrofitting. In the SJ-02 and SJ-03, the failure shown by the loosening of retrofitting elements. Strengthening of rear side column and decreasing of equivalent viscous damping ratio have occurred significantly with retrofitting dimension. Triangular retrofitting in one side of beam, can increase dissipation energy, that inverse ratio with dimension.

Keywords : beam-column joint, reinforced concrete, retrofitting , route, cyclic loading

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan pencipta langit dan bumi, penulis berhasil menyelesaikan tesis yang berjudul “ *Retrofitting* Sambungan Kolom-Balok Ekspansi Planar Segitiga dengan Variasi Ukuran “ sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan program Magister Teknik Sipil, konsentrasi Struktur, Program Pascasarjana Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

Dalam proses penelitian dan penulisan tesis ini banyak pihak yang telah memerikan bantuan berupa saran, pemikiran, material, tenaga, dan fasilitas, sehingga penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Dr. Ir. A.M. Ade Lisantono, M.Eng, sebagai dosen pembimbing yang telah memberikan pemahaman dan pengetahuan yang sangat diperlukan untuk pembuatan tesis ini
2. Bapak Ir. John Tri Hatmoko, M.Sc dan Bapak Ir. Haryanto Yoso Wigroho, MT, sebagai anggota tim penguji proposal tesis yang telah memberikan masukan yang berharga untuk penelitian dan penulisan tesis ini
3. Bapak Dr. Ir. Imam Basuki, MT selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Sipil, Program Pascasarjana Universitas Atma Jaya Yogyakarta
4. Bapak Dr. M. Parnawa Putranta, M.B.A. selaku Direktur Program Pascasarjana Universitas Atma Jaya Yogyakarta
5. Bapak Dr. Gregorius Sri Nurhartanto, SH, LL.M., selaku Rektor Universitas Atma Jaya Yogyakarta



6. Bapak Dinar Gumilang Jati, ST, M.Eng., selaku Kepala Laboratorium Struktur dan Bahan Bangunan Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta
7. Bapak V. Sukaryantara, Teknisi Laboratorium Struktur dan Bahan Bangunan Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta beserta para Asisten Laboratorium
8. Bapak Dr. Ir. Muslikh, M.Sc., M.Phil., selaku Kepala Pusat Studi Ilmu Teknik Universitas Gadjah Mada
9. Bapak Dr. Ing. Ir. Djoko Sulistyono, selaku Kepala Laboratorium Struktur dan Mekanika Bahan, PSIT, Universitas Gadjah Mada
10. Bapak M. Alwi Suwignyo, Bapak Hananta, Bapak Eko Suroyo, dan Bapak Tukimin, para Teknisi Laboratorium Struktur dan Mekanika Bahan, PSIT, UGM
11. Seluruh dosen dan staff program studi Magister Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta

Penulis sadar bahwa tesis ini masih jauh dari sempurna, baik dalam penelitian maupun penulisannya. Untuk itu kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan untuk menyempurnakan tesis ini. Semoga tesis ini bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan, terutama bidang teknik sipil.

Yogyakarta, April 2015

Penulis

## DAFTAR ISI

Halaman Judul .....	i
Lembar Pengesahan Pembimbing .....	ii
Lembar Pengesahan Penguji .....	iii
Halaman Persembahan .....	iv
Halaman Pernyataan .....	v
Intisari .....	vi
Abstract .....	vii
Kata Pengantar .....	viii
Daftar isi .....	x
Daftar tabel .....	xiii
Daftar gambar .....	xiv
Daftar lampiran .....	xvii
Daftar notasi .....	xviii
Bab I Pendahuluan .....	1
A. Latar Belakang .....	1
B. Tujuan Penelitian .....	5
C. Batasan Masalah .....	5
Bab II Tinjauan Pustaka .....	7
Bab III Landasan Teori .....	21
A. Sambungan Kolom-Balok .....	21
B. Metode Perkuatan .....	26

C. Baja Tulangan .....	27
D. Daktilitas .....	29
E. Kekakuan .....	29
F. Disipasi Energi .....	30
G. Hipotesis .....	31
H. Jadwal Penelitian .....	31
<b>BAB IV. METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>33</b>
A. Bahan .....	33
B. Alat .....	36
1. Alat Pengujian Material .....	36
2. Alat Pembuatan Benda Uji .....	39
3. Alat Pengujian Baja dan Beton .....	40
4. Alat Pengujian Utama .....	42
C. Desain Campuran Beton .....	44
D. Pembuatan Benda Uji .....	44
E. Perawatan Benda Uji .....	49
F. Perbaikan Benda Uji .....	50
G. Pengujian dan Pengambilan Data .....	52
<b>BAB V. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>57</b>
A. Bahan .....	57
1. Pasir .....	57
2. Batu Pecah .....	57
3. Baja Tulangan .....	58

B. Desain Beton .....	59
C. Kuat Tekan Silinder Beton .....	60
D. Sambungan .....	62
1. Retak Pertama dan Pola Retakan .....	62
2. Kapasitas Beban Maksimal .....	66
3. Kurva Histerisis .....	69
4. Regangan Baja Tulangan .....	72
5. Disipasi Energi .....	75
6. Kekakuan Siklus .....	82
7. Daktilitas Struktur .....	85
8. Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu .....	86
BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN .....	88
A. Kesimpulan .....	88
B. Saran .....	89
Daftar Pustaka .....	90

## DAFTAR TABEL

Nomor	Judul	Hal
3.1	Jadwal Penelitian .....	32
5.1	Kekuatan tarik baja tulangan .....	58
5.2	Nilai slump campuran beton .....	59
5.3	Kekuatan tekan silinder beton .....	60
5.4	Modulus elastisitas rata-rata .....	61
5.5	Perbandingan kekakuan siklus ( $K_c$ ) dan degradasi kekakuan spesimen pada siklus awal .....	83
5.6	Perbandingan kekakuan siklus ( $K_c$ ) dan degradasi kekakuan spesimen pada siklus stabil .....	85
5.7	Rekapitulasi daktilitas struktur .....	86

## DAFTAR GAMBAR

Nomor	Judul	Hal
1.1	Data episenter gempa Indonesia 1900-2009 .....	2
1.2	Roadmap penelitian .....	4
3.1	Gaya-gaya pada sambungan interior .....	22
3.2	Perilaku ideal sambungan kolom-balok interior .....	24
3.3	Luas efektif sambungan kolom-balok .....	29
3.4	<i>Loss-coefficient</i> $\eta$ mengukur fraksi disipasi energi pada siklus tegangan-regangan .....	30
4.1	Semen .....	33
4.2	Pasir .....	34
4.3	Batu pecah .....	34
4.4	Epoxy Resin <i>SikaCim Bonding Adhesive</i> .....	35
4.5	Neraca digital .....	36
4.6	Oven .....	37
4.7	Saringan dan mesin pengguncang .....	37
4.8	Piknometer, gelas ukur, dan pipet tetes .....	38
4.9	Kerucut terpancung dan batang penumbuk .....	39
4.10	Peralatan-peralatan untuk pengecoran benda uji .....	40
4.11	Mesin uji tarik baja .....	41
4.12	Mesin uji tekan .....	42
4.13	<i>Crane</i> dan <i>tackle</i> .....	43

4.14	Pemasangan <i>strain gauge</i> pada tulangan .....	44
4.15	Benda uji : Spesimen SJC .....	45
4.16	Benda uji : Spesimen SJ-01 .....	46
4.17	Benda uji : Spesimen SJ-02 .....	47
4.18	Benda uji : Spesimen SJ-03 .....	48
4.19	Perendaman silinder beton .....	50
4.20	Spesimen ditutup dengan karung goni basah .....	50
4.21	Tulangan untuk <i>retrofitting</i> spesimen-spesimen .....	51
4.22	<i>Setting</i> benda uji dan alat ukur .....	52
4.23	Pola pembebanan menurut SNI 7438-2012 .....	54
4.24	Kriteria kekuatan .....	55
4.25	Kriteria energi disipasi relatif .....	55
4.26	Kriteria kekakuan .....	56
5.1	Grafik umur – kekuatan beton .....	60
5.2	Grafik umur – modulus elastisitas beton .....	62
5.3	Pengamatan retak .....	64
5.4	Retak pada kolom di belakang sambungan sesudah akhir pengujian .....	66
5.5	Perbandingan beban maksimal rata-rata .....	67
5.6	Perbandingan beban maksimal siklus awal .....	68
5.7	Perbandingan beban maksimal stabil .....	69
5.8	Grafik histerisis beban vs defleksi lateral .....	70
5.9	Grafik beban vs <i>drift ratio</i> .....	71

5.10	Perbandingan grafik regangan tulangan vs siklus .....	73
5.11	Perbandingan kurva <i>hysteretic energy</i> siklus awal .....	76
5.12	Perbandingan kurva <i>hysteretic energy</i> pada siklus stabil .....	77
5.13	Perbandingan kurva energi potensial pada siklus awal .....	78
5.14	Perbandingan kurva energi potensial siklus stabil .....	79
5.15	Perbandingan kurva rasio redaman viskus ekuivalen (EVDR) siklus awal .....	80
5.16	Perbandingan kurva rasio redaman viskus ekuivalen (EVDR) siklus stabil .....	81
5.17	Perbandingan degradasi kekakuan pada siklus awal .....	84
5.18	Perbandingan degradasi kekakuan pada siklus stabil .....	84



## DAFTAR LAMPIRAN

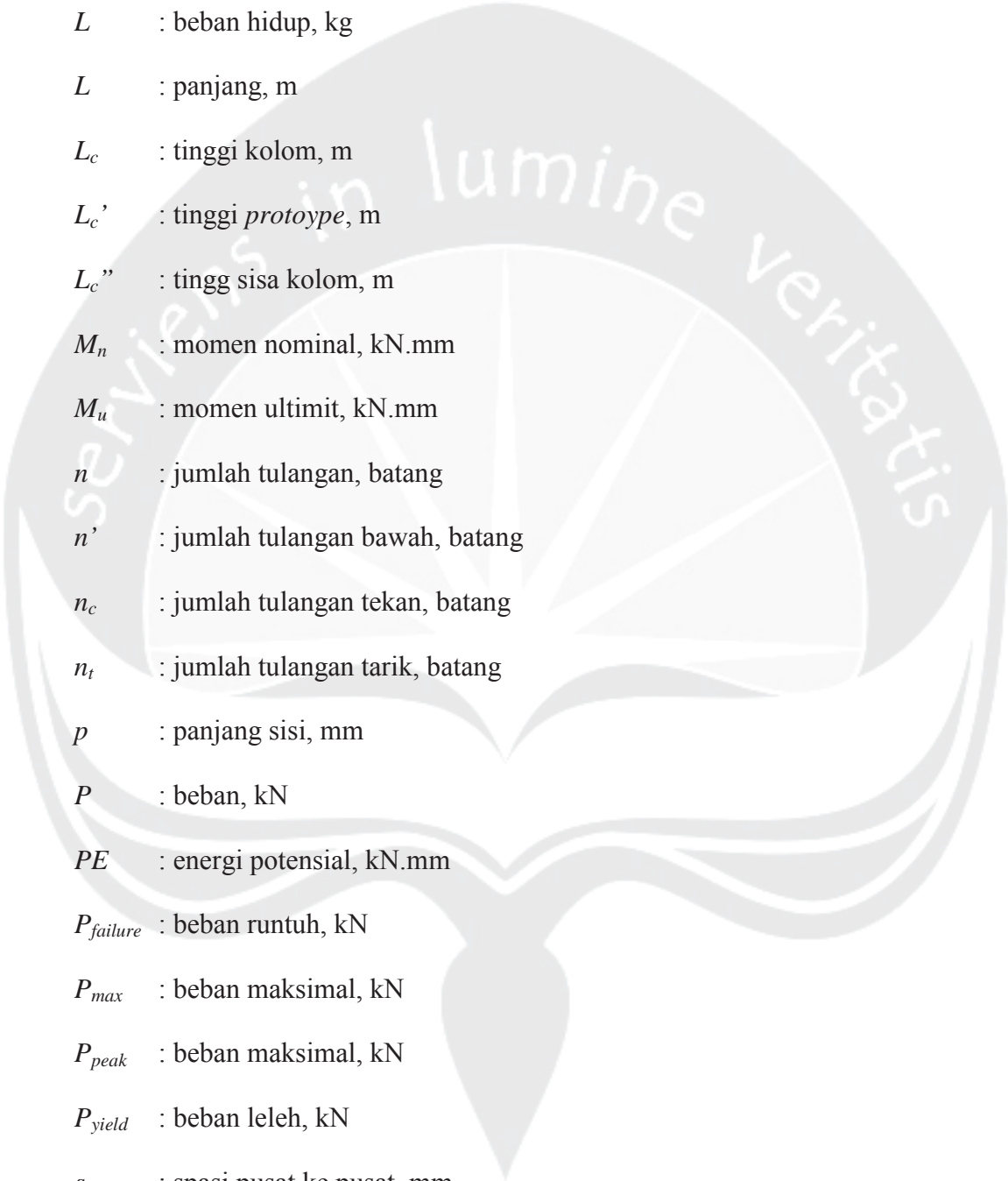
Nomor	Judul	Hal
Lampiran 1a	Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus .....	94
Lampiran 1b	Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar .....	101
Lampiran 1c	Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus .	108
Lampiran 1d	Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar .	110
Lampiran 2	Pengujian Kuat Tarik Baja .....	112
Lampiran 3a	Pengujian Slump Beton .....	114
Lampiran 3b	Pengujian Kuat Tekan Beton .....	116
Lampiran 3c	Pengujian Modulus Elastisitas Beton .....	120
Lampiran 3d	Pengujian Kuat Tarik Belah Beton .....	135
Lampiran 4	Desain Campuran Beton .....	138
Lampiran 5	Perhitungan Momen Nominal Rencana .....	140
Lampiran 6	Perhitungan Luas Minimal Tulangan .....	142
Lampiran 7	Perhitungan Gaya Aksial .....	148
Lampiran 8	Pola Pembebanan .....	151
Lampiran 9	Analisa Pengujian Utama .....	153
	Dokumentasi .....	192

## DAFTAR NOTASI

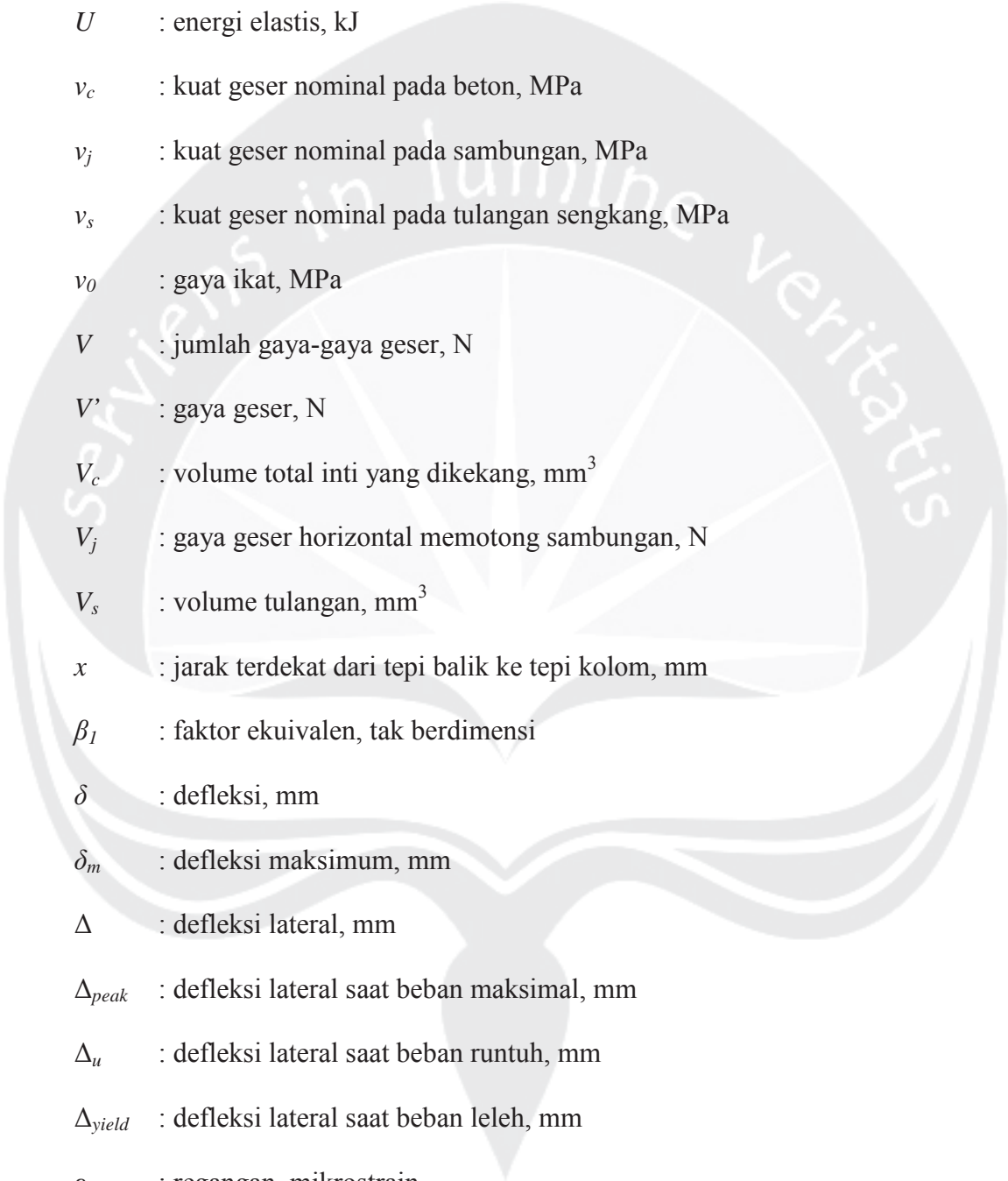
- $a$  : tinggi blok tegangan ekuivalen, mm
- $a_{vh}$  : penulangan horizontal, mm<sup>2</sup>
- $a_{vv}$  : penulangan vertikal, mm<sup>2</sup>
- $A$  : luas daerah di bawah kurva envelope, kN.mm
- $A$  : luas, mm<sup>2</sup>
- $A_{ch}$  : luas penampang komponen struktur yang diukur sampai tepi luar tulangan transversal, mm<sup>2</sup>
- $A_g$  : luas bruto penampang beton, mm<sup>2</sup>
- $A_j$  : luas penampang efektif pada joint, mm<sup>2</sup>
- $A_r$  : luas atap, mm<sup>2</sup>
- $A_s$  : luas penampang batang tulangan, mm<sup>2</sup>
- $A_s'$  : luas penampang tulangan tekan, mm<sup>2</sup>
- $A_{sh}$  : luas penampang total tulangan sengkang persegi, mm<sup>2</sup>
- $A_{sl}$  : luas pelat lantai, m<sup>2</sup>
- $A_{st}$  : luas penulangan total, mm<sup>2</sup>
- $A_{s1}$  : luas penampang bagian I, mm<sup>2</sup>
- $A_{s2}$  : luas penampang bagian II, mm<sup>2</sup>
- $b$  : lebar, mm
- $b_b$  : lebar balok, m
- $b_c$  : dimensi penampang inti komponen, mm
- $b_c$  : lebar kolom 1, m

- $b_w$  : lebar dinding, m
- $C$  : gaya tekan, kN
- $C_c$  : gaya tekan pada beton, kN
- $C_c'$  : gaya tekan pada beton, kN
- $C_s$  : gaya tekan pada batang tulangan, kN
- $C_s'$  : gaya tekan pada batang tulangan, kN
- $d$  : jarak dari serat tekan terjauh ke pusat tulangan tarik longitudinal, mm
- $d$  : deviasi standar
- $d'$  : tebal selimut beton, mm
- $d_b$  : diameter nominal batang tulangan, mm
- $D$  : diameter tulangan, mm
- $D$  : beban mati, kg
- $D$  : defleksi, mm
- $D_b$  : berat balok, kg
- $D_c$  : diameter tulangan tekan, mm
- $D_c$  : berat kolom, kg
- $D_c''$  : berat sisa kolom, kg
- $D_f$  : berat lantai, kg
- $D_p$  : berat plafon, kg
- $D_r$  : berat atap, kg
- $D_r$  : drift rasio (rasio simpangan), %
- $D_s$  : diameter tulangan sengkang, mm
- $D_t$  : diameter tulangan tarik, mm

- $D_w$  : berat dinding, kg
- $E$  : modulus elastisitas, MPa
- $E_c$  : modulus elastisitas beton, MPa
- $E_s$  : modulus elastisitas baja, MPa
- $EVDR$  : rasio redaman viskus ekuivalent, %
- $f_c'$  : kuat tekan beton, MPa
- $f_s$  : tegangan tarik yang dihitung dalam tulangan saat beban layan, MPa
- $f_s'$  : tegangan dalam tulangan tekan yang terkena beban terfaktor, MPa
- $f_y$  : tegangan luluh baja, MPa
- $f_{yt}$  : kekuatan luluh tulangan transversal, MPa
- $FM$  : modulus kehalusan, tak berdimensi
- $h$  : tebal atau tinggi keseluruhan komponen struktur, mm
- $h_b$  : tinggi balok, mm
- $h_c$  : lebar kolom 2, mm
- $h_w$  : tinggi dinding, m
- $h_x$  : spasi pengikat silang, mm
- $HE$  : energi histerisis, kN
- $k$  : margin
- $k$  : kekakuan, N/m
- $k_e$  : kekakuan elastis, kN/mm
- $K_c$  : kekakuan siklus, kN/mm
- $\ell_{dh}$  : panjang penyaluran tulangan tarik, mm
- $\ell_h$  : panjang penulangan horizontal, mm



$\ell_v$	: panjang penulangan vertikal, mm
$\ell_0$	: panjang pemasangan, mm
$L$	: beban hidup, kg
$L$	: panjang, m
$L_c$	: tinggi kolom, m
$L_c'$	: tinggi <i>prototype</i> , m
$L_c''$	: tinggi sisa kolom, m
$M_n$	: momen nominal, kN.mm
$M_u$	: momen ultimit, kN.mm
$n$	: jumlah tulangan, batang
$n'$	: jumlah tulangan bawah, batang
$n_c$	: jumlah tulangan tekan, batang
$n_t$	: jumlah tulangan tarik, batang
$p$	: panjang sisi, mm
$P$	: beban, kN
$PE$	: energi potensial, kN.mm
$P_{failure}$	: beban runtuh, kN
$P_{max}$	: beban maksimal, kN
$P_{peak}$	: beban maksimal, kN
$P_{yield}$	: beban leleh, kN
$s$	: spasi pusat ke pusat, mm
$s'$	: lebar efektif sengkang, mm
$s_0$	: batas spasi, mm



$T$	: gaya tarik, kN
$U$	: beban total, kg
$U$	: energi elastis, kJ
$v_c$	: kuat geser nominal pada beton, MPa
$v_j$	: kuat geser nominal pada sambungan, MPa
$v_s$	: kuat geser nominal pada tulangan sengkang, MPa
$v_0$	: gaya ikat, MPa
$V$	: jumlah gaya-gaya geser, N
$V'$	: gaya geser, N
$V_c$	: volume total inti yang dikekang, mm <sup>3</sup>
$V_j$	: gaya geser horizontal memotong sambungan, N
$V_s$	: volume tulangan, mm <sup>3</sup>
$x$	: jarak terdekat dari tepi balik ke tepi kolom, mm
$\beta_1$	: faktor ekuivalen, tak berdimensi
$\delta$	: defleksi, mm
$\delta_m$	: defleksi maksimum, mm
$\Delta$	: defleksi lateral, mm
$\Delta_{peak}$	: defleksi lateral saat beban maksimal, mm
$\Delta_u$	: defleksi lateral saat beban runtuh, mm
$\Delta_{yield}$	: defleksi lateral saat beban leleh, mm
$\varepsilon$	: regangan, mikrostrain
$\varepsilon_{cu}$	: regangan beton ultimit, m/m
$\eta$	: loss-coefficient, tak berdimensi

- $\mu$  : rasio daktilitas, tak berdimensi
- $\xi$  : rasio redaman, tak berdimensi
- $\rho$  : rasio penulangan, tak berdimensi
- $\rho$  : berat jenis,  $\text{kg/m}^3$
- $\rho'$  : rasio penulangan bawah, tak berdimensi
- $\rho_c$  : berat jenis beton,  $\text{kg/m}^3$
- $\rho_f$  : berat jenis lantai,  $\text{kg/m}^2$
- $\rho_p$  : berat jenis plafon,  $\text{kg/m}^2$
- $\rho_r$  : berat jenis atap,  $\text{kg/m}^2$
- $\rho_s$  : batas rasio penulangan, tak berdimensi
- $\rho_w$  : berat jenis dinding,  $\text{kg/m}^2$
- $\phi$  : diameter, mm
- $\phi$  : faktor reduksi kekuatan, tak berdimensi
- $\sigma$  : tegangan, MPa