

# **STUDI EKSPERIMENTAL EFEKTIVITAS PENGEKANGAN KOLOM LINGKARAN DENGAN MENGUNAKAN *PEN-BINDER***

**Jeremi Julian**

**1121011**

**Pembimbing: Dr. Anang Kristianto, S.T., M.T.**

## **ABSTRAK**

Indonesia merupakan wilayah yang rawan terhadap gempa. Dan juga Indonesia merupakan negara berkembang, yang saat ini banyak melakukan pembangunan. Maka dari itu perlu dilakukan pengembangan lebih lanjut terhadap kekuatan pada kolom sebagai elemen struktur.

Penelitian ini berguna untuk mengetahui peningkatan kapasitas aksial, mekanisme keruntuhan, sifat daktilitas dari kolom pendek yang diperkuat dengan *pen-binder*. Dengan mutu beton rendah yaitu  $f'_c = 15$  MPa.

Hasil penelitian menunjukkan terjadi peningkatan kapasitas aksial rata – rata sebesar 24,038% dari kolom yang diperkuat *pen-binder* dibandingkan dengan kolom spiral normal. Dengan mekanisme keruntuhan keruntuhan yang sama yaitu dengan adanya retak rambut, setelah itu retak rambut membesar dan menjadi banyak, hingga terlepasnya selimut kolom beton dan runtuh pada bagian tengah. Serta terjadi peningkatan daktilitas pada kolom yang diperkuat *pen-binder* sebesar 5,304% dibandingkan dengan kolom spiral normal.

***EXPERIMENTAL STUDY OF THE  
CONFINEMENT EFFECTIVITY IN ROUND COLUMN  
USING PEN – BINDER***

**Jeremi Julian**

**NRP: 1121011**

***Supervisor: Dr. Anang Kristianto, S.T., M.T.***

***ABSTRACT***

*Indonesia is located in region with high seismic risk. And also Indonesia is a thriving country that has a lot of develop construction. Because of that need to develop more about cultivation to round column as part of structure element.*

*This research is use for know about escalation axial capacity, collapse mechanism, ductility character, from short column that reinforced with pen-binder. With low quality concrete specifically  $f'_c = 15$  MPa.*

*The result showed that escalate average axial capacity amount 24,038% from column that reinforced with pen-binder compared with spiral column. With the failure mechanism seems similar began with little cracks, after that cracks began bigger and became more a lot than before, until concrete cover start to felt until column collapsed in the middle part. And escalate happened in ductility in column that reinforced with pen-binder amount 5,304% compared with spiral column.*

# DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	ii
PERNYATAAN ORISINALITAS LAPORAN PENELITIAN .....	iii
PERNYATAAN PUBLIKASI LAPORAN PENELITIAN .....	iv
SURAT KETERANGAN TUGAS AKHIR .....	v
SURAT KETERANGAN SELESAI TUGAS AKHIR .....	vi
KATA PENGANTAR .....	vii
ABSTRAK .....	ix
ABSTRACT .....	x
DAFTAR ISI .....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR TABEL .....	xvi
DAFTAR NOTASI .....	xvii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xx
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan Penelitian .....	2
1.3 Ruang Lingkup Penelitian .....	3
1.4 Sistematika Penulisan .....	3
BAB II TINJAUAN LITERATUR .....	4
2.1 Struktur Beton Bertulang .....	4
2.1.1 Bahan Penyusun Beton Bertulang .....	4
2.1.1.1 Agregat .....	4
2.1.1.2 Semen Portland .....	7
2.1.1.3 Air .....	9
2.1.1.4 Baja Tulangan .....	10
2.1.2 Campuran Beton .....	11
2.1.3 Daktilitas .....	13
2.2 Kolom Beton Bertulang .....	14
2.2.1 Penulangan Pada Kolom .....	15
2.2.2 Tulangan Pengekang .....	16
2.2.3 Kapasitas Kolom .....	21
2.2.4 Keruntuhan Kolom .....	21
2.2.4.1 Diagram Interaksi Kolom .....	22
2.2.5 Pengujian Kuat Tekan Kolom .....	29
2.3 Daktilitas Kolom Beton .....	30
2.4 Perkuatan Pada Kolom .....	31
2.4.1 Jenis – Jenis Perkuatan Pada Kolom .....	32
2.4.2 Perkuatan Kolom Dengan Menggunakan Material <i>Pen-Binder</i> .....	36
2.5 Sengkang Lingkaran Dengan Perkuatan <i>Pen-binder</i> .....	39
2.6 Review Hasil Pengekangan pen-binder Pada Beton Bertulang .....	40
BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....	43
3.1 Diagram Alir Penelitian .....	44
3.2 Rencana Benda Uji .....	45

3.2.1 Pengujian Bahan Material .....	46
3.2.1.1 Agregat .....	46
3.2.1.2 Semen .....	47
3.2.1.3 Baja Tulangan .....	48
3.2.1.4 Perancangan Campuran Beton .....	49
3.2.2 Perancangan Benda Uji .....	49
3.2.2.1 Hasil Kuat Tekan Beton Silinder .....	49
3.2.2.2 Penentuan Dimensi Kolom .....	50
3.2.2.3 Penentuan Tulangan Utama dan Tulangan Pengekang .....	50
3.2.2.3.a Tulangan Utama .....	50
3.2.2.3.b Penentuan Tulangan Pengekang .....	52
3.2.2.4 Kapasitas Kolom .....	54
3.2.2.4.a Kapasitas Kolom Teoritis .....	54
3.2.2.4.b Kapasitas Kolom Perkuatan <i>Pen – Binder</i> Teoritis .....	55
3.3 Pembuatan Benda Uji.....	60
3.4 Perawatan Benda Uji.....	61
3.5 <i>Set Up</i> Alat Pengujian .....	61
3.6 Pengujian Kuat Tekan .....	67
3.6.1 Benda Uji Silinder.....	67
3.6.2 Benda Uji Kolom .....	69
BAB IV PENELITIAN DAN ANALISIS DATA.....	71
4.1 Kuat Tekan Kolom.....	71
4.2 Pola Retak Kolom .....	74
4.3 Hasil Uji Kolom Berdasarkan LVDT .....	77
4.4 Regangan Pada Tulangan Kolom.....	80
4.4.1 Regangan Pada Tulangan Utama .....	80
4.5 Daktilitas Kolom Beton Bertulang .....	82
4.6 Diagram Interaksi.....	86
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....	93
5.1 Kesimpulan .....	93
5.2 Saran.....	94
DAFTAR PUSTAKA .....	95
LAMPIRAN .....	97

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1(a) Agregat kasar; (b) Agregat halus.....	5
Gambar 2.2 Semen portland .....	9
Gambar 2.3 Baja tulangan polos dan ulir .....	11
Gambar 2.4 Grafik tekanan beton akibat beban triaksial (MacGregor 2005) .....	13
Gambar 2.5 Jenis kolom berdasarkan bentuk dan macam penulangan: a) kolom ber-sengkang; (b) kolom berspiral; (c) kolom komposit.....	15
Gambar 2.6 Pengekangan spiral pada kolom lingkaran (Nawy, 2005) .....	17
Gambar 2.7 Kurva deformasi beban cirian untuk kolom – kolom bersengkang dan bertulangan spiral (Wang, C.K., Salomon, C.G.,(1985) .....	19
Gambar 2.8 Tegangan regangan .....	23
Gambar 2.9 Diagram interaksi kolom (MacGregor, 2005) .....	24
Gambar 2.10 Titik aksial murni.....	24
Gambar 2.11 Tegangan tarik nol saat terjadinya kondisi batas dan titik runtuh seimbang .....	25
Gambar 2.12 Batas keruntuhan tarik .....	26
Gambar 2.13 Notasi dan tanda yang digunakan untuk diagram interaksi (MacGregor,2005) .....	26
Gambar 2.14 Gambar beban aksial dan momen nominal (MacGregor, 2005)....	27
Gambar 2.15 Gambar diagram interaksi untuk desain .....	28
Gambar 2.16 Mengganti kolom bulat dengan kolom lingkaran (McCormac, 2004).....	29
Gambar 2.17 Grafik hubungan beban dan regangan (ASTM C.1018).....	31
Gambar 2.18 Teknik perkuatan pelapisan kolom dengan beton ( <i>concrete jacketing</i> ) ( <i>International Journal of Advance Engineering Research and studies</i> (EISSN2249 – 8974) .....	33
Gambar 2.19 Pelaksanaan dari <i>concrete jacketing</i> pada konstruksi.....	33
Gambar 2.20 Teknik perkuatan pengekangan dengan baja ( <i>Steel jacketing</i> ) ( <i>International Journal of Advance EGINEERING Research and studies</i> (EISSN2249 – 8974).....	34
Gambar 2.21 FRP,epoxy dan filler (Taufik Hasan Basri, 2014) .....	35
Gambar 2.22 Gaya yang bekerja pada permukaan ulit tulangan baja (CEB-FIP 1999).....	37
Gambar 2.23 <i>Pen-binder</i> (Anang Kristianto, 2012) .....	38
Gambar 2.24 Tampak atas benda uji (Ichsan Yasusan, 2014).....	40
Gambar 2.25 Tampak depan eksperimental kolom persegi dengan perkuatan <i>pen-binder</i> (Ichsan Yasusan, 2014) .....	41
Gambar 3.1 Diagram alir tugas akhir .....	44
Gambar 3.2 Gambar rencana benda uji .....	45
Gambar 3.3 Pengujian agregat: (a) berat jenis agregat kasar; (b) berat jenis agregat halus; (c) gradasi; (d) bobot isi.....	47
Gambar 3.4 Pengujian berat jenis semen.....	48
Gambar 3.5 Grafik hasil uji kuat tarik .....	48
Gambar 3.6 Pengujian kuat tarik tulangan .....	49
Gambar 3.7 Rencana benda uji silinder normal.....	56
Gambar 3.8 Rencana benda uji beton bertulang dengan sengkang spiral normal	57

Gambar 3.9 Rencana benda uji beton bertulang dengan sengkang lingkaran .....	58
Gambar 3.10 Rencana benda uji beton bertulang sengkang lingkaran dengan perkuatan <i>pen-binder</i> .....	59
Gambar 3.11 Proses pembuatan benda uji: (a) Persiapan tulangan di dalam bekisting; (b) pengadukan campuran beton; (c) pengujian <i>slump</i> ; (d) benda uji kolom .....	60
Gambar 3.12 Perawatan benda uji .....	61
Gambar 3.13 Pemasangan <i>strain gauge</i> pada tulangan .....	62
Gambar 3.14 (a) <i>pen-binder</i> ; (b) plastic steel .....	62
Gambar 3.15 Pemasangan <i>pen-binder</i> .....	63
Gambar 3.16 Tulangan yang telah dipasang <i>pen-binder</i> .....	63
Gambar 3.17 <i>Conbextra GP</i> .....	64
Gambar 3.18 Proses <i>Grouting</i> : (a) pengeboran terhadap beton yang ingin di grouting; (b) pencampuran <i>conbextra GP</i> dengan air hingga merata; (c) memasukan besi dan <i>conbextra GP</i> hingga terisi sepenuhnya.....	64
Gambar 3.19 Pengecatan kolom lingkaran dengan cat warna putih.....	65
Gambar 3.20 Proses <i>capping</i> ; (a) belerang bubuk; (b) membungkus kolom lingkaran dengan besi tipis dan lakban hitam; (c) memastikan permukaan besi telah rata dengan <i>waterpass</i> ; (d) memanaskan belerang hingga cair; (e) menuangkan belerang cair keatas kolom lingkaran; (f) memastikan kolom lingkaran telah rata dengan <i>waterpass</i> .....	66
Gambar 3.21 Pemasangan dan letak LVDT pada benda uji .....	67
Gambar 3.22 Pengujian kuat tekan beton silinder pada umur 7 hari.....	68
Gambar 3.23 Pengujian kuat tekan beton silinder pada umur 14 hari.....	68
Gambar 3.24 Pengujian kuat tekan beton silinder pada umur 28 hari.....	68
Gambar 3.25 Hasil uji perangkat lunak .....	69
Gambar 3.25 Pengujian kuat tekan kolom.....	70
Gambar 4.1 Hasil pengujian kuat tekan kolom SP .....	72
Gambar 4.2 Hasil pengujian kuat tekan kolom SL.....	73
Gambar 4.3 Hasil pengujian kuat tekan kolom SLPB.....	74
Gambar 4.4 Proses pengujian kuat tekan pada kolom mulai dari: (a) retak rambut pada kolom; (b) retak menjadi banyak dan membesar serta mulai terkelupasnya selimut beton; (c) keruntuhan kolom SP.....	75
Gambar 4.5 Proses pengujian kuat tekan pada kolom mulai dari: (a) retak rambut pada kolom; (b) retak menjadi banyak dan membesar serta mulai terkelupas selimut beton; (c) keruntuhan kolom SL .....	76
Gambar 4.6 Proses pengujian kuat tekan pada kolom mulai dari: (a) retak rambut pada kolom; (b) retak menjadi banyak dan membesar serta mulai terkelupasnya selimut beton; (c) keruntuhan kolom PB .....	77
Gambar 4.7 Gambar hasil pengujian rata – rata kolom spiral normal dengan alat LVDT .....	78
Gambar 4.8 Gambar hasil pengujian rata – rata kolom sengkang lingkaran dengan alat LVDT .....	79
Gambar 4.9 Gambar hasil pengujian rata – rata kolom sengkang lingkaran dengan perkuatan <i>pen-binder</i> dengan alat LVDT .....	79
Gambar 4.10 Grafik hasil pengujian tegangan tulangan pada kolom SP .....	80

Gambar 4.11 Grafik hasil pengujian tegangan tulangan pada kolom SL .....	81
Gambar 4.12 Grafik hasil pengujian tegangan tulangan pada kolom SLPB .....	82
Gambar 4.13 Grafik perhitungan daktilitas kolom SP .....	83
Gambar 4.14 Grafik perhitungan daktilitas kolom SL .....	84
Gambar 4.15 Grafik perhitungan daktilitas kolom SLPB .....	85
Gambar 4.16 Mengkonversi kolom lingkaran menjadikannya kolom persegi ....	86
Gambar 4.17 Grafik diagram interaksi kolom .....	90
Gambar 4.18 Grafik diagram interaksi kolom PCACOL .....	91

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tabel standar BJTD ASTM A 615M (MacGregor, 2005) .....	11
Tabel 2.2 <i>Slump</i> yang di syartkan untuk berbagi konstruksi ACI .....	13
Tabel 2.3 Angka kekuatan beton dengan umur beton (PB1 1971).....	30
Tabel 2.4 Tipe dan spesifikasi FRP .....	35
Tabel 3.1 Karakteristik agregat benda uji .....	46
Tabel 3.2 Kuat tekan beton silinder .....	50
Tabel 3.3 Kekuatan tekan <i>conbextra GP</i> .....	64
Tabel 4.1 Tabel hasil pengujian kuat tekan aksial .....	71
Tabel 4.2 Tabel hasil pengujian rata – rata tegangan dengan regangan kolom dengan alat LVDT .....	78
Tabel 4.3 Tabel titik leleh rata – rata pada kolom .....	83
Tabel 4.4 Tabel perhitungan daktilitas kolom .....	85
Tabel 4.5 Perhitungan diagram interaksi .....	89



## DAFTAR NOTASI

$a$	Jarak balok yang tertekan, mm
$A_c$	Luas penampang kolom lingkaran, mm <sup>2</sup>
$A_g$	Luas kotor penampang kolom, mm <sup>2</sup>
$A_s$	Luas tulangan total, mm <sup>2</sup>
$A_{sd}$	Luas tulangan baja tulangan yang digunakan, mm <sup>2</sup>
$A_{sh}$	Luas tulangan pengeang, mm <sup>2</sup>
$A_{st}$	Luas tulangan total yang digunakan, mm <sup>2</sup>
$A_{st_{min}}$	Luas tulangan total minimum yang diperlukan, mm <sup>2</sup>
$b$	Lebar penampang melintang kolom, mm
$B_{ba}$	Berat agregat di dalam air, gr
$b_c$	Dimensi penampang inti kolom, mm
$B_J$	Berat benda uji kondisi ssd, gr
$B_{jbulk_h}$	Berat jenis kering agregat halus
$B_{jbulk_k}$	Berat jenis kering agregat kasar
$B_{J_s}$	Berat jenis semenportland
$B_k$	Berat benda uji kondisi kering oven, gr
$B_p$	Berat piknometer diisi air, gr
$B_{pj}$	Berat piknometer + benda uji ssd +, gr
$c$	Jarak dari serat tekan terluar ke garis netral, mm
$C_c$	Sumbangan gaya tekan beton, kN
$d$	Berat isi air pada suhu ruang yang tetap, $\left[\frac{1}{gr/ml}\right]$
$D_a$	Bobot isi agregat, gr/cm <sup>3</sup>
$D_c$	Diameter inti kolom, dari tepi luar sengkang ke tepi luar sengkang, mm
$d_{sp}^2$	Diameter sengkang spiral, mm
$e$	Perbandingan antara momen nominal penampang dan kuat tekan aksial normal, mm

$e_b$	Perbandingan antara momen nominal penampang dan kuat tekan aksial nominal pada kondisi regangan seimbang, mm
$E_s$	Modulus elastis baja, MPa
$f'_c$	Kuat tekan beton karakteristik, MPa
$f'_{cc}$	Kuat tekan beton terkekang, MPa
$f'_{cc_{akt}}$	Kuat tekan beton terkekang aktual, MPa
$f'_{cc_{akt}}$ rata-rata	Kuat tekan beton terkekang aktual rata – rata, MPa
$f'_{ccp}$	Kuat tekan beton terkekang perkuatan <i>pen-binder</i> teoritis, MPa
$f'_{cr}$	Kuat tekan beton rata – rata, MPa
$f_{si}$	Tegangan pada setiap baris tulangan, MPa
$F_{si}$	Sumbangan gaya masing – masing baris tulangan, kN
$f_y$	Tegangan leleh tulangan Tarik, MPa
$f_{yh}$	Tegangan leleh tulangan pengekang, MPa
$f_1$	Tegangan leleh tulangan pengekang, MPa
$f_{1e}$	Tegangan lateral ekuivalen, MPa
$h$	Tinggi penampang melintang kolom, mm
$hc$	Lebar inti beton
$k$	Koefisien standar
$k_1$	Koefisien yang menyatakan hubungan antara tegangan pengekang dan peningkatan kekuatan
$k_2$	Koefisien yang menyatakan efisiensi tulangan pengekang
$M_n$	Kekuatan momen nominal penampang, kNm
$M_{nb}$	Kekuatan momen nominal penampang pada kondisi regangan seimbang, kNm
$M_{max}$	Kekuatan momen nominal penampang pada kondisi lentur murni, kNm
$n$	Jumlah
$P_0$	Kuat beban aksial nominal akibat beban aksial konsentrik, kN
$P_{0akt}$	Kuat beban aksial aktual, kN
$P_{0akt}$ rata-rata	Kuat beban aksial aktual rata – rata, kN

$P_n$	Kuat beban aksial maksimum yang telah direduksi, kN
$P_{nb}$	Kuat beban aksial nominal pada kondisi regangan seimbang, kN
$s$	Jarak tulangan pengekuat sepanjang tinggi kolom, mm
$sd$	Standar deviasi
$s_1$	Jarak antara as tulangan utama, mm
$t$	Tinggi benda uji, mm
$V$	Volume cawan silinder, $\text{cm}^3$
$V_1$	Volume awal semen Portland, ml
$V_2$	Volume akhir semen Portland, ml
$W$	Berat benda uji semen Portland, gr
$W_a$	Berat agregat benda uji agregat untuk uji bobot isi dan gembur, gr
$Z$	Suatu nilai sembarang untuk membuat diagram interaksi
$\phi$	Koefisien reduksi
$\phi P_{n(\max)}$	Kuat tekan rencana maksimum yang telah direduksi, kN
$\phi_u$	Deformasi penampang pada saat mengalami deformasi ultimit
$\phi_y$	Deformasi penampang pada saat leleh pertama
$\sigma_1$	Tekanan aksial silinder, MPa
$\sigma_3$	Tekanan lateral silinder, MPa
$\sigma_y$	Tegangan leleh baja tulangan, MPa
$\beta_1$	Rasio tinggi tekan ekivalen, a ke jarak garis netral, c.
$\epsilon_{cu}$	Batas regangan beton
$\epsilon_{si}$	Regangan pada setiap baris tulangan
$\epsilon_y$	Regangan leleh baja
$\Delta_1$	Regangan leleh awal pengaruh baja tulangan
$\Delta_2$	Regangan leleh akhir pengaruh beton bertulang
$\mu_\Delta$	Daktilitas beton bertulang
$\rho_s$	Rasio tulangan

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Pengujian Bahan Material .....	97
Lampiran 2 Perancangan Campuran Beton .....	107
Lampiran 3 Foto Proses Pengerjaan .....	113
Lampiran 4 Hasil Uji Kuat Tekan Kolom .....	130