

STUDI EKSPERIMENTAL EFEKTIVITAS PENGEKANGAN KOLOM LINGKARAN DENGAN MENGUNAKAN FRP (*FIBER REINFORCED POLYMER*)

**NICO TANDY SUSILO
NRP: 1121004**

Pembimbing: Dr. ANANG KRISTianto, S.T., M.T.

ABSTRAK

Perkembangan pembangunan di Indonesia sudah banyak mengalami kemajuan yang sangat pesat. Di bidang struktur bangunan, perkembangan ini sangat terlihat dengan adanya struktur pada suatu gedung yang diberi perkuatan dengan menggunakan CFRP (*Carbon Fiber Reinforced Polymer*) untuk menahan beban gempa. Hal ini dilakukan untuk meningkatkan kapasitas dari struktur dan dapat memperbaiki struktur yang mengalami kerusakan akibat beban berlebih. Perkuatan ini diberikan pada struktur kolom lingkaran dengan jenis tulangan pengekan yang diberi variasi.

Tujuan penelitian Tugas Akhir ini adalah untuk mengetahui kapasitas aksial, proses keruntuhan dan daktilitas pada kolom lingkaran dengan sengkang spiral/*helix* yang diberi perkuatan FRP. Penelitian ini dilakukan pada kolom lingkaran dengan mutu beton f'_c 15 MPa. Benda uji berupa kolom lingkaran dengan diameter 190 mm dan tinggi 480 mm. Benda uji terdiri dari tiga jenis yaitu kolom dengan tulangan pengekan spiral/*helix*, kolom dengan tulangan pengekan lingkaran yang diberi perkuatan FRP dan kolom dengan tulangan pengekan spiral/*helix* yang diberi perkuatan FRP.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan kolom dengan tulangan pengekan spiral yang diberi perkuatan FRP mengalami peningkatan kapasitas aksial sebesar $> 57,71\%$. Pada kolom lingkaran yang diberi perkuatan FRP akan mengalami keruntuhan yang bertahap karena kolom lingkaran dengan perkuatan FRP memiliki daktilitas yang sangat baik.

Kata kunci: beban gempa, kolom lingkaran, sengkang spiral, dan FRP.

EXPERIMENTAL STUDY OF THE CONFINEMENT EFFECTIVITY IN ROUND COLUMN USING FRP (FIBER REINFORCED POLYMER)

**NICO TANDY SUSILO
NRP: 1121004**

Supervisor : Dr. ANANG KRISTIANTO, S.T., M.T.

ABSTRACT

Development of construction in Indonesia has been much progress very rapidly. In the field of building structure, this development is very visible with the structure at a given building retrofitting by using CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer) to resist earthquake loads. This is done to increase the capacity of the structure and can improve the structure damaged by excessive load. Retrofitting is given on the structure of circular column with the type of reinforcement restraint given the variation.

The research objective of this final project is to determine the axial capacity, the process of collapse and ductility of the columns circle with stirrup spiral / helix are given FRP reinforcement. This research was carried out in a circle with the quality of concrete columns f_c 15 MPa. Test specimen in the form of a circle with a diameter column 190 mm and height 480 mm. The test specimen consists of three types of columns with spiral reinforcement restraint / helix, a column with circle reinforcement restraint given FRP strengthening and columns with spiral / helix reinforcement restraint are given FRP strengthening.

The results of this study indicate column with spiral reinforcement restraint are given FRP strengthening increased axial capacity to more than 57,71%. In circular column given FRP reinforcement will experience a gradual collapse due circle columns with FRP reinforcement has excellent ductility.

Keywords: earthquake loads, columns circle, spiral stirrup, and FRP.

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
<i>ABSTRACT</i>	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL	xviii
DAFTAR NOTASI.....	xx
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Tujuan Penelitian	3
1.3 Ruang Lingkup Penelitian	3
1.4 Metodologi Penelitian.....	3
1.5 Sistematika Penulisan	4

BAB 2. TINJAUAN LITERATUR	5
2.1 Beton.....	5
2.1.1 Struktur Beton Bertulang	5
2.1.2 Kelebihan dan kekurangan Beton	5
2.1.3 Kinerja Beton.....	6
2.1.4 Bahan Penyusun Beton Bertulang	8
2.1.4.a Agregat	8
2.1.4.b Semen Portland	11
2.1.4.c Air.....	13
2.1.4.d Baja Tulangan.....	13
2.1.5 Campuran Beton	15
2.1.6 Daktilitas	15
2.2 Kolom Beton Bertulang	16
2.2.1 Penulangan Pada Kolom	19
2.2.1.a Tulangan Utama.....	19
2.2.1.b Tulangan Pengekang	20
2.2.2 Kapasitas Kolom	21
2.2.3 Keruntuhan Pada Kolom Beton Bertulang	22
2.2.3.a Diagram Interaksi Kolom	23
2.2.4 Pengujian Kuat Tekan Beton	24
2.3 Perkuatan Kolom Beton Bertulang.....	25
2.4 Perkuatan Kolom Dengan <i>Fiber Reinforced Polymer</i>	28
2.4.1 Pemasangan FRP	29
2.4.2 Perhitungan FRP Pada Kolom Bundar.....	31

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	35
3.1 Diagram Alir Penelitian	36
3.2 Rencana Benda Uji	37
3.2.1 Material Penyusun Beton	38
3.2.1.a Agregat	38
3.2.1.b Semen.....	40
3.2.1.c Baja Tulangan	40
3.2.1.d Perancangan Campuran Beton.....	41
3.2.2 Perancangan Benda Uji	42
3.2.2.a Penentuan Dimensi Kolom	42
3.2.2.b Penentuan Tulangan Utama.....	42
3.2.2.c Penentuan Tulangan Pengekang	43
3.2.2.d Kuat Tekan Silinder	44
3.2.2.e Kapasitas Kolom.....	46
3.3 Pembuatan Benda Uji	49
3.4 Perawatan Benda Uji	51
3.5 <i>Grouting</i> Pada Kolom Beton.....	52
3.6 Pengecatan Pada Kolom Beton	52
3.7 Kaping Pada Kolom Beton	53
3.8 Pemasangan FRP Sebagai Perkuatan Kolom	54
3.9 Pemasangan LVDT Pada Benda Uji	55
3.10 Pengujian Benda Uji.....	56
3.10.1 Benda Uji Silinder Normal.....	56
3.10.2 Benda Uji Kolom.....	56

BAB 4. ANALISIS DATA PENELITIAN.....	58
4.1 Kuat Tekan Kolom	58
4.2 Pola Retak Kolom.....	61
4.2.1 Kolom Dengan Tulangan Pengekang Spiral	62
4.2.2 Kolom Dengan Tulangan Pengekang Lingkaran	63
4.2.3 Kolom Dengan Tulangan Pengekang Spiral Dengan FRP	64
4.3 Hasil Uji Kolom Berdasarkan LVDT	64
4.4 Tegangan Pada Tulangan Kolom	66
4.4.1 Tegangan Pada Tulangan Utama	66
4.5 Daktilitas.....	69
4.6 Diagram Interaksi	74
BAB 5. SIMPULAN DAN SARAN	78
5.1 Simpulan	78
5.2 Saran	79
DAFTAR PUSTAKA	80
DAFTAR LAMPIRAN.....	82
LAMPIRAN A	83
LAMPIRAN B	97
LAMPIRAN C	103
LAMPIRAN D	110
LAMPIRAN E.....	111
LAMPIRAN F	120

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Agregat Kasar	8
Gambar 2.2	Agregat Halus	9
Gambar 2.3	Semen.....	11
Gambar 2.4	Proses Pembuatan Semen Portland.....	12
Gambar 2.5	Baja Tulangan.....	14
Gambar 2.6	Grafik Tegangan-regangan (kampustekniksipil.blogspot.com)	16
Gambar 2.7	Jenis-jenis Kolom (Jack C. Mc Cormac, 2004).....	17
Gambar 2.8	Grafik Hubungan Antara Beban dan Regangan Pada Kolom (Istimawan Dipohusodo, 1999)	19
Gambar 2.9	Diagram Interaksi Kolom (Wang dan Salmon, 1994)	23
Gambar 2.10	Diagram Tegangan-regangan Kolom Kondisi Seimbang	24
Gambar 2.11	CFRP, Epoxy dan Filler	29
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	36
Gambar 3.2	Gambar Rencana Benda Uji	37
Gambar 3.3	Pengujian Agregat: (a) Berat Jenis Agregat Halus (b) Berat Jenis Agregat Kasar (c) Gradasi (d) Bobot Isi	39
Gambar 3.4	Pengujian Berat Jenis Semen.....	40
Gambar 3.5	Grafik Hasil Uji Kuat Tarik.....	41
Gambar 3.6	Pengujian Kuat Tarik Tulangan.....	41
Gambar 3.7	Proses Perakitan Tulangan kolom: (a) Tulangan Kolom (b) Pemasangan <i>Strain Gauge</i> (c) Memasukan Tulangan Kolom ke bekisting	49
Gambar 3.8	Proses Pembuatan Kolom Beton: (a) Pengadukan Campuran Beton (b) Memasukan Beton Segar ke Dalam Bekisting (c) Kolom Beton Setelah Pemadatan dengan Mesin Getar	50
Gambar 3.9	Perawatan Benda Uji: (a) Kolom yang Akan Memasuki Tahap Perawatan (b) Perawatan benda Uji di Ruang Terkondisikan.....	51
Gambar 3.10	Proses <i>Grouting</i> pada Kolom: (a) Bahan Grouting (b) pengeboran Kolom (c) <i>Grouting</i> Pada Kolom	52
Gambar 3.11	Pengecatan Pada Kolom.....	52
Gambar 3.12	Proses Kaping Pada Kolom: (a) Membuat Cetakan Kaping (b) Memanaskan Belerang (c) Menuangkan Cairan Belerang Pada Permukaan Kolom (d) Melepas Cetakan dan Pengukuran dengan <i>Waterpas</i>	53
Gambar 3.13	Pemasangan FRP Pada Kolom	54
Gambar 3.14	Set Up Alat Pengujian.....	55
Gambar 3.15	Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder.....	56

Gambar 3.16	UTM dan Data Logger	57
Gambar 4.1	Hasil Pengujian Kuat Tekan Kolom Lingkaran Dengan Tulangan Pengekang Spiral	59
Gambar 4.2	Hasil Pengujian Kuat Tekan Kolom Lingkaran Dengan Tulangan Pengekang Lingkaran Dengan Perkuatan FRP	60
Gambar 4.3	Hasil Pengujian Kuat Tekan Kolom Lingkaran Dengan Tulangan Pengekang Spiral Dengan Perkuatan FRP	61
Gambar 4.4	Foto Pada Saat Proses Pengujian Mulai Dari: (a) Retak (b) Terkelupasnya Selimut (c) Keruntuhan Kolom SP	62
Gambar 4.5	Foto Pada Saat Proses Pengujian Mulai Dari: (a) Kondisi Awal (b) Retak Pada Selimut Beton (c) Keruntuhan Kolom STSF	63
Gambar 4.6	Foto Pada Saat Proses Pengujian Mulai Dari: (a) Kolom SPF 1 (b) Kolom SPF 2 (c) Kolom SPF 3	64
Gambar 4.7	Grafik Tegangan-regangan Kolom	65
Gambar 4.8	Grafik Hasil Pengujian Tegangan Tulangan Utama Pada Kolom Dengan Tulangan Pengekang Spiral	66
Gambar 4.9	Grafik Hasil Pengujian Tegangan Tulangan Utama Pada Kolom Dengan Tulangan Pengekang Lingkaran Dengan FRP.....	67
Gambar 4.10	Grafik Hasil Pengujian Tegangan Tulangan Utama Pada Kolom Dengan Tulangan Pengekang Spiral Dengan FRP	68
Gambar 4.11	Grafik Beban Regangan	69
Gambar 4.12	Grafik Perhitungan Daktilitas Kolom SP	70
Gambar 4.13	Grafik Perhitungan Daktilitas Kolom STSF.....	71
Gambar 4.14	Grafik Perhitungan Daktilitas Kolom SPF.....	72
Gambar 4.15	Konversi Kolom Lingkaran ke Kolom Persegi	74
Gambar 4.16	Diagram Interaksi Kolom.....	77
Gambar LA.1	Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar	83
Gambar LA.2	Grafik Analisa Saringan Agregat Kasar.....	85
Gambar LA.3	Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus	85
Gambar LA.4	Grafik Analisa Saringan Agregat Halus.....	87
Gambar LA.5	Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar	88
Gambar LA.6	Pengujian Berat Jenis Agregat Halus.....	90
Gambar LA.7	Pengujian Bobot Isi dan Padat Agregat Kasar.....	92
Gambar LA.8	Pengujian Bobot Isi dan Padat Agregat Halus.....	94
Gambar LA.9	Pengujian Berat Jenis Semen Portland.....	95
Gambar LC.1	Perakitan Bekisting dan Tulangan Kolom.....	103
Gambar LC.2	Pemasangan <i>Strain Gauge</i>	103
Gambar LC.3	Penyiapan Material Penyusun Beton	104
Gambar LC.4	Pengecoran Kolom Beton Bertulang.....	105
Gambar LC.5	Pemasangan FRP Sebagai Perkuatan Kolom	105
Gambar LC.6	Set Up Alat Pengujian.....	106
Gambar LC.7	Pengujian Kolom SP 1	106
Gambar LC.8	Pengujian Kolom SP 2	107
Gambar LC.9	Pengujian Kolom SP 3	107
Gambar LC.10	Pengujian Kolom STSF 1	108
Gambar LC.11	Pengujian Kolom STSF 2	108
Gambar LC.12	Pengujian Kolom STSF 3	109

Gambar LC.13 Pengujian Kolom SPF 1, SPF 2, SPF 3	109
Gambar LD.1 Gambar Rencana Benda Uji.....	110
Gambar LE.1 Grafik Hasil Pengujian Dengan LVDT Kolom SP 1	111
Gambar LE.2 Grafik Hasil Pengujian Dengan LVDT Kolom SP 2	111
Gambar LE.3 Grafik Hasil Pengujian Dengan LVDT Kolom SP 3	112
Gambar LE.4 Grafik Hasil Pengujian Tegangan Tulangan Kolom SP 1.....	112
Gambar LE.5 Grafik Hasil Pengujian Tegangan Tulangan Kolom SP 2.....	113
Gambar LE.6 Grafik Hasil Pengujian Tegangan Tulangan Kolom SP 3.....	113
Gambar LE.7 Grafik Hasil Pengujian Dengan LVDT Kolom STSF 1.....	114
Gambar LE.8 Grafik Hasil Pengujian Dengan LVDT Kolom STSF 2.....	114
Gambar LE.9 Grafik Hasil Pengujian Dengan LVDT Kolom STSF 3.....	115
Gambar LE.10 Grafik Hasil Pengujian Tegangan Tulangan Kolom STSF 1.....	115
Gambar LE.11 Grafik Hasil Pengujian Tegangan Tulangan Kolom STSF 2.....	116
Gambar LE.12 Grafik Hasil Pengujian Tegangan Tulangan Kolom STSF 3.....	116
Gambar LE.13 Grafik Hasil Pengujian Dengan LVDT Kolom SPF 1.....	117
Gambar LE.14 Grafik Hasil Pengujian Dengan LVDT Kolom SPF 2.....	117
Gambar LE.15 Grafik Hasil Pengujian Dengan LVDT Kolom SPF 3.....	118
Gambar LE.16 Grafik Hasil Pengujian Tegangan Tulangan Kolom SPF 1	118
Gambar LE.17 Grafik Hasil Pengujian Tegangan Tulangan Kolom SPF 2	119
Gambar LE.18 Grafik Hasil Pengujian Tegangan Tulangan Kolom SPF 3	119

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Jenis Beton Berdasarkan Kekuatan (Paul Nugraha, 2005).....	7
Tabel 2.2	Jenis Beton Berdasarkan Berat Jenis dan Pemakaiannya	7
Tabel 2.3	Jenis Agregat Berdasarkan Kepadatannya (Paul Nugraha & Antoni, 2007).....	9
Tabel 2.4	Jenis-jenis Tulangan (SKSNI T-15-1991-03).....	14
Tabel 2.5	Angka Konversi Kekuatan Tekan Beton Berdasarkan PBI'71	24
Tabel 2.6	Nilai Standar Deviasi (Tri Mulyono, 2004)	25
Tabel 2.7	Faktor Reduksi (ACI 440.2R-02).....	32
Tabel 3.1	Karakteristik Agregat Benda Uji.....	38
Tabel 3.2	Kuat Tekan Beton Silinder	45
Tabel 4.1	Hasil Pengujian Kuat Tekan Kolom Lingkaran	58
Tabel 4.2	Tegangan-regangan Kolom	65
Tabel 4.3	Nilai Daktilitas Kolom.....	73
Tabel LA.1	Tabel Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar.....	84
Tabel LA.1.a	Tabel Hasil Rata-rata Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar.....	84
Tabel LA.2	Tabel Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus.....	86
Tabel LA.2.a	Tabel Hasil Rata-rata Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus.....	86
Tabel LA.3	Tabel Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar	89
Tabel LA.4	Tabel Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Halus	91
Tabel LA.5	Tabel Hasil Pengujian Kadar Lumpur Dalam Agregat Halus	91
Tabel LA.6	Tabel Hasil Berat Isi Padat Agregat Kasar.....	93
Tabel LA.7	Tabel Hasil Berat Isi Gembur Agregat Kasar.....	93
Tabel LA.8	Tabel Hasil Berat Isi Padat Agregat Halus.....	94

Tabel LA.9 Tabel Hasil Berat Isi Gembur Agregat Halus.....	95
Tabel LA.10 Tabel Hasil Pengujian Berat Jenis Semen	96
Tabel LB.1 Nilai Slump yang Disarankan Berbagai Jenis Konstruksi.....	98
Tabel LB.2 Perkiraan Jumlah Air dan Kadar Udara Berdasarkan Hasil Uji Slump dan Ukuran Agregat Maksimum	99
Tabel LB.3 Hubungan Antara Fas (Faktor Air Semen) dan Kuat Tekan Beton ...	99
Tabel LB.4 Volume Agregat untuk Tiap Unit Volume Beton.....	100

DAFTAR NOTASI

Δ_1	: Regangan awal
Δ_2	: Regangan akhir
A	: Luas bidang tekan benda uji (mm^2)
A_c	: Luas kolom silinder normal (mm^2)
A_g	: Luas kolom (mm^2)
A_s	: Luas tulangan (mm^2)
A_{st}	: Luas tulangan total (mm^2)
$A_{st_{min}}$	: Luas tulangan minimum (mm^2)
B	: Berat piknometer berisi air (gram)
b	: Lebar kolom (mm)
B_a	: Berat benda uji kering permukaan jenuh di dalam air (gram)
B_j	: Berat benda uji kering permukaan jenuh (gram)
$B_{J_{Bulk_halus}}$	: Berat jenis curah/kering agregat halus
$B_{J_{Bulk_kasar}}$	: Berat jenis curah/kering agregat kasar
$B_{j_{PC}}$	: Berat jenis semen Portland
B_k	: Berat benda uji kering oven (gram)
B_t	: Berat piknometer berisi benda uji dan air (gram)
C_E	: Faktor reduksi berdasarkan kondisi lingkungan
D	: Berat isi beton (kg/cm^3)
d	: Berat isi pada suhu $20^\circ\text{C} = 1 \text{ gram}/\text{ml}$
D_b	: Diameter tulangan sengkang (mm)

D_c	: Diameter kolom silinder normal (mm)
ϵ_{fu}^*	: Regangan ultimit tulangan FRP (mm/mm)
E_f	: Modulus Elastisitas dari material FRP (MPa)
ϵ_{fe}	: Regangan efektif tingkat pada tulangan FRP, Regangan tingkat tercapai pada bagian keruntuhan.
ϵ_{fe}	: 0,004
ϵ_{fu}	: Regangan keruntuhan rencana tulangan FRP (mm/mm)
ϵ_{fu}	: Regangan keruntuhan rencana tulangan FRP (mm/mm)
f_{fu}^*	: Kuat tegangan ultimit material FRP dari pabrik (MPa)
F	: Gaya tekan (N)
f'_c	: Mutu beton (MPa)
f_{cc}'	: Kekuatan tekan dari pengekan beton yang sebenarnya (MPa)
f'_{cr}	: Kuat tekan rata-rata karakteristik (MPa)
f_{fu}	: Kuat tegangan tarik ultimit rencana material FRP (MPa)
f_i	: Tekanan pengekan akibat selimut FRP (MPa)
h	: Diameter Kolom (mm)
k_a	: Faktor efisiensi, untuk kolom lingkaran = 1
n	: Jumlah tulangan
n_f	: Jumlah lapisan dari material FRP
P_0	: Kapasitas beban aksial kolom (kN)
S	: Jarak sengkang (mm)
s	: Standar deviasi (MPa)

t_f	: Ketebalan dari material FRP (mm)
V	: Volume wadah (cm ³)
V_1	: Volume awal Le chateleir sebelum semen dimasukkan (ml)
V_2	: Volume akhir Le chateleir setelah semen dimasukkan (ml)
W	: Berat benda uji (kg)
$\mu\Delta$	: Nilai daktilitas kolom
ρ_f	: Rasio perkuatan FRP
ρ_s	: Rasio tulangan
ϕ	: 0,85
ϕP_n	: Kekuatan tekan aksial kolom (N)

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A	83
LAMPIRAN B	97
LAMPIRAN C	103
LAMPIRAN D	110
LAMPIRAN E.....	111
LAMPIRAN F.....	120