

TESIS

STUDI PERILAKU KOLOM PENDEK BETON BERTULANG
DENGAN KEKANGAN *CARBON FIBER REINFORCED*
POLYMER (CFRP) YANG DIKENAI BEBAN KONSENTRIK



STANISLAUS PATI

No. Mhs : 125101811/PS/MTS

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA

2014



UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA
PROGRAM PASCASARJANA
PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL

PENGESAHAN TESIS

Nama : STANISLAUS PATI
Nomor Mahasiswa : 125101811/PS/MTS
Konsentrasi : Struktur
Judul tesis : Studi Perilaku Kolom Pendek Beton Bertulang Dengan
Kekangan *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP) yang
Dikenai Beban Konsentrik

Nama Pembimbing

Tanggal

Tanda tangan

Dr.Ir. Ade Lisantono, M. Eng

19/09/2014
.....


.....



UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA
PROGRAM PASCASARJANA
PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL

PENGESAHAN TESIS

Nama : STANISLAUS PATI
Nomor Mahasiswa : 125101811/PS/MTS
Konsentrasi : Struktur
Judul tesis : Studi Perilaku Kolom Pendek Beton Bertulang Dengan
Kekangan *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP) yang
Dikenai Beban Konsentrik.

Nama Penguji

Tanggal

Tanda tangan

Dr. Ir. Ade Lisantono, M. Eng

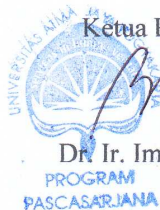
19/09/2014

Ir. John Tri Hatmoko, M.Sc

22/10/2014

Prof. Ir. Yoyong Arfiadi, M.Eng., Ph.D

17/9/2014



Ketua Program Studi

Dr. Ir. Imam Basuki, MT

PROGRAM
PASCASARJANA

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Stanislaus Pati

Nomor Mahasiswa : 125101811/PS/MTS

Program Studi : Magister Teknik Sipil

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tesis dengan judul :

STUDI PERILAKU KOLOM PENDEK BETON BERTULANG DENGAN
KEKANGAN *CARBON FIBER REINFORCED POLYMER* (CFRP) YANG
DIKENAI BEBAN KONSENTRIK

Merupakan hasil karya sendiri bukan merupakan pekerjaan orang lain dan bukan merupakan salinan atau hasil jiplakan dari tesis atau karya tulis orang lain. Apabila dikemudian hari ternyata terdapat ketidaksesuaian dengan pernyataan tersebut diatas, penulis bersedia menerima segala sanksi untuk dibatalkan kelulusannya dan melepas gelar Magister Teknik dengan penuh rasa tanggung jawab.

Yogyakarta, 12 Agustus 2014

Yang membuat pernyataan,



(Stanislaus Pati)

NPM : 125101811/PS/MTS

KATA HANTAR

Tujuan dari penulisan tesis dengan judul “STUDI PERILAKU KOLOM PENDEK BETON BERTULANG DENGAN KEKANGAN *CARBON FIBER REINFORCED POLYMER* (CFRP) YANG DIKENAI BEBAN KONSENTRIK” yakni untuk memenuhi syarat penyelesaian Program Strata-2 (S2) Program Studi Magister Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

Dari penulisan tesis ini, penulis berharap dapat memberikan manfaat bagi perkembangan ilmu dalam bidang Teknik Sipil serta dapat memberikan manfaat tambahan pemahaman bagi pihak-pihak yang bergerak dalam bidang Teknik Sipil.

Dalam penyelesaian penyusunan Tesis ini, penulis menyadari adanya bantuan dari beberapa pihak baik langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu dalam kesempatan ini, penulis mengucapkan limpah terima kasih kepada :

1. Allah bapak yang maha kudus, melalui tuntunannya Ia mengarahkanku kepada jalan kesuksesan, sukses dalam penyusunan laporan Tesis ini.
2. Bapak Dr. Ir. Ade Lisantono, M. Eng., selaku dosen pembimbing sehingga Tesis ini dapat diselesaikan.
3. Bapak Dr. Ir. Imam Basuki, MT., selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
4. Bapak Ir. John Tri Hatmoko, M. Sc dan Bapak Prof. Ir. Yoyong Arfiadi, M.Eng., Ph.D selaku dosen penguji.

5. Bapak Dinar Gumilang Jati, ST., M.Eng., selaku Kepala Laboratorium Struktur dan Bahan Bangunan Universitas Atma Jaya Yogyakarta Prodi Teknik Sipil Fakultas Teknik.
6. Bapak V. Sukaryantara selaku Staf Laboratorium Struktur dan Bahan Bangunan Universitas Atma Jaya Yogyakarta Prodi Teknik Sipil Fakultas Teknik.
7. Teman-teman asisten praktikum Laboratorium Struktur dan Bahan Bangunan Universitas Atma Jaya Yogyakarta Prodi Teknik Sipil Fakultas Teknik yang telah meluangkan pikiran dan waktunya.
8. Keluarga tercinta, kedua orang tua penulis Dominikus Mau dan Anastasia Meo, kakak penulis Elisabet Rere dan Imakulata Ripo, adik penulis Gregorius Susu dan Wenseslaus Aprianus Geu, pacar penulis Thanty Nae yang telah mendukung melalui doa dan semangat.
9. Seluruh teman-teman seperjuangan di Program Studi Magister Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, angkatan 2012.
10. Serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Dalam laporan Tesis ini, penulis menyadari bahwa Tesis ini masih jauh dari sempurna, oleh karenanya penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun guna menyempurnakan laporan Tesis ini.

Yogyakarta, Agustus 2014

Penulis,

(Stanislaus Pati)
NPM : 125101811/PS/MTS

DAFTAR ISI

JUDUL.....	i
PENGESAHAN TESIS.....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS... ..	iv
KATA HANTAR.....	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xii
INTISARI.....	xiii
BAB I	
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar belakang	1
1.2 Rumusan masalah	3
1.3 Batasan masalah.....	3
1.4 Tujuan penelitian	3
1.5 Manfaat penelitian	4
BAB II	
TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Umum.....	5
2.2 <i>Fiber Reinforced Polymer (FRP)</i>	7
2.2.1 Perekat	8
2.2.2 Fiber	9
BAB III	
LANDASAN TEORI.....	11
3.1 Kolom	11
3.2 Persamaan kekuatan tekan beton f'_c dan beberapa model kekuatan tekan beton FRP f'_{cc}	11
3.3 Tulangan	14
3.4. <i>Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)</i>	14
3.4. Hipotesis.....	14
BAB IV	
METODOLOGI PENELITIAN	15
4.1 Bahan penelitian.....	15
4.2 Proses penelitian.....	18

BAB V	HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	26
5.1	Pemeriksaan zat organik dalam pasir.....	26
5.1.1	Maksud.....	26
5.1.2	Alat dan bahan	26
5.1.3	Cara kerja	27
5.1.4	Hasil pengujian.....	28
5.1.5	Pembahasan.....	30
5.2	Pemeriksaan kandungan lumpur dalam pasir	31
5.2.1	Maksud.....	31
5.2.2	Alat dan bahan	31
5.2.3	Cara kerja	32
5.2.4	Pembahasan.....	33
5.2.5	Hasil pengujian.....	33
5.3	Pemeriksaan gradasi pasir	34
5.3.1	Maksud.....	34
5.3.2	Alat dan bahan	34
5.3.3	Cara kerja	35
5.4	Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air dalam pasir	36
5.4.1	Alat dan bahan	36
5.4.2	Cara kerja	37
5.5	Pemeriksaan gradasi batu pecah.....	39
5.5.1	Maksud.....	39
5.5.2	Alat dan bahan	39
5.5.3	Cara kerja.....	40
5.6	Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air dalam batu pecah.....	41
5.6.1	Alat dan bahan	41
5.6.2	Cara kerja.....	42
5.7	Pemeriksaan kuat tarik baja tulangan.....	43
5.7.1	Alat-alat.....	43
5.7.2	Hasil pengujian.....	43
5.8	Rencana campuran adukan beton.....	44
5.8.1	Bahan susun untuk 1 m ³ adukan beton	44
5.8.2	Pelaksanaan	44
5.9	Pengujian benda uji	47
5.9.1	Pengujian silinder beton.....	47
5.9.2	Pengujian kolom.....	54
5.10	Perbandingan kekuatan tekan kolom hasil pengujian dengan beberapa model kekuatan tekan beton FRP f'_{cc}	62

BAB VI	KESIMPULAN DAN SARAN	89
	6.1 Kesimpulan.....	89
	6.2 Saran	90
DAFTAR PUSTAKA.....		92
LAMPIRAN		92
	1. PEMERIKSAAN KANDUNGAN LUMPUR DALAM PASIR.....	94
	2. PEMERIKSAAN KANDUNGAN ZAT ORGANIK DALAM PASIR.....	96
	3. PEMERIKSAAN GRADASI BESAR BUTIRAN PASIR.....	98
	4. PEMERIKSAAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AGREGAT HALUS.....	100
	5. PEMERIKSAAN GRADASI BESAR BUTIRAN KERIKIL	101
	6. PEMERIKSAAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AGREGAT KASAR	103
	7. PEMERIKSAAN KELANGSINGAN KOLOM	104
	8. PENGUJIAN SILINDER TANPA LAPISAN CFRP UMUR 7 HARI.....	106
	9. PENGUJIAN SILINDER SATU LAPIS CFRP UMUR 7 HARI.....	107
	10. PENGUJIAN SILINDER DUA LAPIS CFRP UMUR 7 HARI.....	108
	11. PENGUJIAN SILINDER TIGA LAPIS CFRP UMUR 7 HARI.....	109
	12. PENGUJIAN SILINDER TANPA LAPISAN CFRP UMUR 14 HARI.....	110
	13. PENGUJIAN SILINDER SATU LAPIS CFRP UMUR 14 HARI.....	111
	14. PENGUJIAN SILINDER DUA LAPIS CFRP UMUR 14 HARI.....	112
	15. PENGUJIAN SILINDER TIGA LAPIS CFRP UMUR 14 HARI.....	113
	16. PENGUJIAN SILINDER TANPA LAPISAN CFRP UMUR 28 HARI.....	114
	17. PENGUJIAN SILINDER SATU LAPIS CFRP UMUR 28 HARI.....	115
	18. PENGUJIAN SILINDER DUA LAPIS CFRP UMUR 28 HARI.....	116
	19. PENGUJIAN SILINDER TIGA LAPIS CFRP UMUR 28 HARI.....	117
	20. PEMERIKSAAN KUAT TEKAN KOLOM KONSENTRIK (K0).....	118

21. PEMERIKSAAN KUAT TEKAN KOLOM KONSENTRIK (K1).....	119
22. PEMERIKSAAN KUAT TEKAN KOLOM KONSENTRIK (K2).....	120
23. PEMERIKSAAN KUAT TEKAN KOLOM KONSENTRIK (K3).....	121



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Area kolom persegi panjang yang terkekang dan tidak terkekang oleh FRP.....	2
Gambar 4.1	Parameter kolom 1.....	22
Gambar 4.2	Parameter kolom 2.....	23
Gambar 4.3	Parameter kolom 3.....	23
Gambar 4.4	Parameter kolom 4.....	24
Gambar 4.5	Ilustrasi pemberian beban.....	25
Gambar 4.6	<i>Flowchart</i> metodologi penelitian.....	25
Gambar 5.1	Hasil pengujian dengan bahan pasir gendol.....	29
Gambar 5.2	Hasil pengujian dengan bahan pasir progo.....	29
Gambar 5.3	Hasil pengujian dengan bahan pasir gendol.....	30
Gambar 5.4	Pemeriksaan kuat tarik baja.....	43
Gambar 5.5	Diagram batang hasil uji modulus elastisitas beton.....	48
Gambar 5.6	Diagram batang hasil uji kuat tekan beton.....	49
Gambar 5.7	Diagram batang hasil uji modulus elastisitas beton.....	50
Gambar 5.8	Diagram batang hasil uji kuat tekan beton.....	51
Gambar 5.9	Diagram batang hasil uji modulus elastisitas beton.....	53
Gambar 5.10	Diagram batang hasil uji kuat tekan beton.....	54
Gambar 5.11	Pengujian kolom tanpa lapis CFRP.....	55
Gambar 5.12	Pengujian kolom dengan 1 lapis CFRP.....	56
Gambar 5.13	Pengujian kolom dengan 2 lapis CFRP.....	57
Gambar 5.14	Pengujian kolom dengan 3 lapis CFRP.....	57
Gambar 5.15	Diagram batang beban maksimum masing-masing kolom.....	58
Gambar 5.16	Grafik pembebanan kolom tanpa lapisan CFRP.....	59
Gambar 5.17	Grafik pembebanan kolom dengan 1 lapis CFRP.....	60
Gambar 5.18	Grafik pembebanan kolom dengan 2 lapis CFRP.....	60
Gambar 5.19	Grafik Pembebanan Kolom Dengan 3 Lapis CFRP.....	61
Gambar 5.20	Diagram batang perbandingan hasil uji dan model Tautanji et al.....	67
Gambar 5.21	Diagram batang perbandingan hasil uji dan model Lam dan Teng's.....	74
Gambar 5.22	Diagram batang perbandingan hasil uji dan model Campione dan Miraglia's (2003).....	80
Gambar 5.23	Diagram batang perbandingan hasil uji dan model Kumutha et al (2007).....	86

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Parameter kolom yang diuji.....	3
Tabel 2.1 Nilai karakteristik.....	9
Tabel 4.1 Uji Silinder.....	21
Tabel 4.2 Parameter kolom 1	22
Tabel 4.3 Parameter kolom 2	22
Tabel 4.4 Parameter kolom 3	22
Tabel 4.5 Parameter kolom 4	22
Tabel 5.1 Keperluan <i>Carbon Fiber</i> Untuk Silinder Beton Umur 7 Hari	47
Tabel 5.2 Nilai modulus elastisitas beton.....	48
Tabel 5.3 Nilai kuat tekan beton.....	49
Tabel 5.4 Nilai modulus elastisitas beton.....	50
Tabel 5.5 Nilai kuat tekan beton.....	51
Tabel 5.6 Nilai modulus elastisitas beton.....	52
Tabel 5.7 Nilai kuat tekan beton.....	53
Tabel 5.8 Hasil uji kolom tanpa lapisan CFRP (K0)	54
Tabel 5.9 Hasil uji kolom 1 lapis CFRP (K1).....	55
Tabel 5.10 Hasil uji kolom 2 lapis CFRP (K2).....	56
Tabel 5.11 Hasil uji kolom 3 lapis CFRP (K3).....	57
Tabel 5.12 Beban maksimum kolom.....	58
Tabel 5.13 Rekapitulasi hasil verifikasi antara pengujian kolom dengan beberapa model perhitungan	88

INTISARI

Perkuatan kolom secara eksternal dapat dilakukan dengan beberapa metode, salah satunya dengan metode FRP dengan bahan *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP). Awal mulanya perkuatan dengan *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP) diterapkan pada kolom bulat, sedangkan penerapan pada kolom bujur sangkar masi dalam taraf penelitian. Penelitian yang dilakukan oleh Toutanji *et al*, (2007), memberikan pengembangan pemanfaatan FRP pada kolom bujur sangkar dari bahan *Glass Fiber Reinforced Polymer* (GFRP) sebanyak dua lapis. Kurangnya jumlah lapisan pada penelitian terdahulu maka pada penelitian ini, peneliti meneliti kekuatan kolom dalam menahan beban aksial konsentrik yang diberi lapisan perkuatan *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP) sebanyak tiga lapis dengan bahan beton yang diambil di wilayah Yogyakarta.

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Bangunan Universitas Atma Jaya Yogyakarta Prodi Teknik Sipil Fakultas Teknik, dengan meneliti 4 kolom pendek yakni satu kolom tanpa lapisan *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP), satu kolom dilapisi satu lapis *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP), satu kolom dilapisi dua lapis *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP) dan satu kolom dilapisi tiga lapis *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP). Masing-masing kolom dikenai beban konsentrik. Persamaan yang digunakan hanya menghitung kolom K1, K2 dan K3. Penelitian ini bertujuan membandingkan nilai yang diperoleh dari persamaan dengan hasil yang diperoleh dari percobaan. Persamaan-persamaan yang dipakai yakni Toutanji *et al* (2007), Lam dan Teng's (2003), Campione dan Miraglia's (2003), Kumutha *et al* (2007).

Dari hasil pengujian kolom diperoleh kuat tekan aksial kolom yakni K0, K1, K2 dan K3 berturut-turut 121372,1187 N, 179402,3641 N, 151895,6409 N dan 210867,6932 N. Peningkatan kekuatan kolom K1 terhadap kolom K0 yakni 58030,2454 N atau 19,2936 %. Peningkatan kekuatan kolom K2 terhadap kolom K0 yakni 30523,5026 N atau 11,1698 %. Untuk kolom K2 terhadap kolom K1 tidak ada peningkatan kekuatannya yakni - 27506,7428 N atau - 8,3027 % dikarenakan pada kolom K2 memiliki rongga sehingga hasil kekuatannya tidak maksimal. Peningkatan kekuatan kolom K3 terhadap kolom K0 yakni 89495,5745 N atau 26,9370 %, terhadap kolom K1 yakni 31465,3292 N atau 8,0625 % dan terhadap kolom K2 yakni 58972,0720 N atau 16,2563 %.

Hasil yang diperoleh dari persamaan Toutanji *et al* (2007) kolom K1, K2 dan K3 secara berturut-turut adalah 180326,8009 N, 192638,8448 N, 215280,8454 N. Selisih antara hasil percobaan dengan persamaan Toutanji *et al* (2007) untuk K1 adalah 0,256 %, K2 adalah 11,826 %, K3 adalah 1,036 %. Hasil yang diperoleh dari persamaan Lam dan Teng's (2003) kolom K1, K2 dan K3 secara berturut-turut adalah 210286,1388 N, 252557,5206 N, 305158,8591 N. Selisih antara hasil percobaan dengan persamaan Lam dan Teng's (2003) untuk K1 adalah 7,925 %, K2 adalah 24,888 %, K3 adalah 18,273 %. Hasil yang diperoleh dari persamaan Campione dan Miraglia's (2003) kolom K1, K2 dan K3

secara berturut-turut adalah 215569,3425 N, 263123,9279 N, 321008,4701 N. Selisih antara hasil percobaan dengan persamaan Campione dan Miraglia's (2003) untuk K1 adalah 9,157 %, K2 adalah 26,801 %, K3 adalah 20,708 %. Hasil yang diperoleh dari persamaan Kumutha et al (2007) kolom K1, K2 dan K3 secara berturut-turut adalah 200700,7754 N, 274134,7438 N, 398646,6189 N. Selisih antara hasil percobaan dengan persamaan Kumutha et al (2007) untuk K1 adalah 5,603 %, K2 adalah 28,693 %, K3 adalah 30,808 %. Selisih hasil percobaan dengan beberapa persamaan di atas menunjukkan bahwa persamaan Toutanji *et al* (2007) memiliki selisih terkecil yakni untuk K1 adalah 0,256 %, untuk K2 adalah 11,826 %, untuk K3 adalah 1,036 %. Hasil verifikasi menunjukkan persamaan Toutanji *et al* (2007) merupakan persamaan atau model yang mendekati hasil pengujian.

Kata kunci : Kolom pendek beton bertulang, kekangan, *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP), beban konsentrik, kuat tekan aksial.