

TESIS

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



PURWANELSON SAPUTRA PINANG

No. Mhs : 135102089/PS/MTS

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL

PROGRAM PASCASARJANA

UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA

2015

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tesis dengan judul:

"STUDI PERILAKU KOLOM PENDEK BETON BERTULANG DENGAN
PENGEKANG CARBON FIBER REINFORCED POLYMER (CFRP) YANG
DIKENAI BEBAN EKSENTRIK"

Benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri dan bukan merupakan hasil plagiasi dari karya orang lain. Ide, data hasil penelitian maupun kutipan baik langsung maupun tidak langsung yang bersumber dari tulisan atau ide orang lain dinyatakan secara tertulis dalam Tesis ini. Apabila terbukti dikemudian hari bahwa Tesis ini merupakan hasil plagiasi, maka ijazah yang saya peroleh dinyatakan batal dan akan saya kembalikan kepada Rektor Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

Yogyakarta, 5 Maret 2015

Yang membawa pernyataan,



Purwanelson Saputra Pinang



UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA
PROGRAM PASCASARJANA
PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL

PENGESAHAN TESIS

Nama : PURWANELSON SAPUTRA PINANG
Nomor Mahasiswa : 13.51.02089/PS/MTS
Konsentrasi : Struktur
Judul tesis : Studi Perilaku Kolom Pendek Beton Bertulang Dengan
Pengekang *Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)*
Yang Dikenai Beban Eksentrik

Nama Pembimbing

Tanggal

Tanda Tangan

21/04/2015

Dr. Ir. Ade Lisantono, M. Eng

.....

.....






UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA
PROGRAM PASCASARJANA
PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL

PENGESAHAN TESIS

Nama : PURWANELSON SAPUTRA PINANG
Nomor Mahasiswa : 13.51.02089/PS/MTS
Konsentrasi : Struktur
Judul tesis : Studi Perilaku Kolom Pendek Beton Bertulang Dengan Pengekang *Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)* Yang Dikenai Beban Eksentrik

Telah diuji dan disahkan oleh :

Nama Pembimbing	Tanggal	Tanda Tangan
<u>Dr. Ir. Ade Lisantono, M. Eng</u> Dosen Pembimbing	Tanggal : $\frac{21}{04}$ '15	
<u>Ir. Haryanto, YW, MT</u> Dosen Penguji I	Tanggal : $\frac{21}{4}$ '15	
<u>Prof. Ir. Yoyong Arfiadi, M. Eng., Ph.D</u> Dosen Penguji II	Tanggal : $\frac{21}{4}$ 2015	

Ketua Program Studi Magister Teknik Sipil




Dr. Ir. Imam Basuki, MT

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis dengan judul “Studi Perilaku Kolom Pendek Beton Bertulang Dengan Pengekang *Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)* Yang Dikenai Beban Eksentrik”. Tesis ini disusun guna memenuhi sebagian dari syarat-syarat untuk mencapai gelar Magister Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dari berbagai pihak, tesis ini tidak akan selesai. Penulis dengan rendah hati, menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Dr. Ir. Imam Basuki, MT. selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Sipil Program Pascasarjana Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
2. Dr. Ir. Ade Lisantono, M. Eng selaku dosen pembimbing. Yang telah memberikan pengarahan dan bimbingan serta petunjuk dan koreksi yang sangat berharga bagi penelitian Tesis ini.
3. Program Pascasarjana, Magister Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya Yogyakarta yang telah membantu dalam hal pendanaan eksperimental sehingga penelitian “Studi Eksperimental Kapasitas Kolom Pendek Beton Bertulang Dengan Pengekang *Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)* Yang Dikenai Beban Eksentrik” dapat berjalan dengan baik.
4. Dinar Gumilang Jati, ST, M. Eng, selaku Kepala Laboratorium Struktur dan Bahan Bangunan, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta dan

Bapak V. Sukaryantara selaku staff Laboratorium yang telah banyak membantu dalam melakukan penelitian ini.

5. Kedua orang tua tercinta Bapak Supratman Siamping, SH dan Ibu Eviyanti juga kepada kakak dan adik-adik penulis, Purwaningsih, Bastian, dan Risma dalam memberi semangat, doa, dan bantuan dalam penelitian ini.
6. Kepada yang terkasih Maria Puspitasari, yang terus memberikan semangat dan dorongan baik dalam menempuh studi maupun dalam penulisan ini.
7. Kepada teman-teman Asisten Laboratorium Struktur dan Bahan Bangunan, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta atas bantuannya selama melakukan penelitian.
8. Teman-teman seperjuangan di Magister Teknik Sipil, Richard, Deni, Alvian, Amir, Putri, Mbak Sisca, Putu, Adit, Jul, Sonia, Bobby, dan lain-lain yang tidak dapat disebutkan satu persatu.
9. Teman-teman Kost Renny, Norman, Lius, Rey, Phito, Ivan, Eky, dan lain-lain.

Penulis menyadari bahwa tesis ini jauh dari sempurna, sehingga penulis menerima semua kritik dan saran yang membantu dalam penyempurnaan penulisan ini. Akhir kata penulis berharap semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi pembaca sekalian terutama bagi mahasiswa Teknik Sipil.

Yogyakarta, 5 Maret 2015

Purwanelson Saputra Pinang

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PERNYATAAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
INTISARI.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Penelitian	3
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Umum.....	7
2.2. <i>Fiber Reinforced Polymer (FRP)</i>	8
2.3. Perekat.....	9
2.4. Beton	10
2.5. Tulangan	12
BAB III METODE PENELITIAN	13
3.1. Kuat Tekan Beton	13
3.2. Modulus Elatisitas.....	13
3.3. Kelangsingan Kolom	14
3.4. Persamaan Kapasitas Kolom.....	15
3.5. Persamaan Kuat Tekan Beton Dengan FRP (f'_{cc})	18
3.6. Hipotesis	21
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN	22
4.1. Bahan	24
4.1.1. Bahan Beton	24
4.1.2. Bahan Perkuatan	26
4.1.3. Peralatan	27
4.2. Pemeriksaan Bahan	31
4.2.1. Pemeriksaan Zat Organik	31
4.2.2. Pemeriksaan Kadar Lumpur	31
4.2.3. Pemeriksaan Agregat Kasar	32

4.2.4. Pemeriksaan Agregat Halus	33
4.2.5. Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus ...	34
4.2.6. Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus ...	36
4.2.7. Pemeriksaan Kuat Tarik Baja	37
4.3. Pembuatan Benda Uji	39
4.3.1. Pembuatan Benda Uji Kolom dan Silinder Beton	39
4.3.2. Campuran Adukan Beton	41
4.3.3. Pengecoran Benda Uji Kolom dan Silinder	41
4.3.4. Tahap Perawatan Benda Uji (<i>Curing</i>)	42
4.3.5. Persiapan dan Pelapisan <i>CFRP</i>	42
4.4. Pengujian Benda Uji	43
4.4.1. Pengujian Modulus Elastis Beton	43
4.4.2. Pengujian Kuat Tekan Beton	44
4.4.3. Pengujian Benda Uji Kolom Eksentris	45
4.5. Analisis Data	46
BAB V PEMBAHASAN DAN ANALISIS	47
5.1. Hasil Pengujian Bahan dan Benda Uji	47
5.1.1. Pemeriksaan Bahan Penyusun Beton	47
5.1.2. Pengujian Kuat Tarik Baja Tulangan	50
5.1.3. Pengujian Benda Uji Silinder	51
5.1.4. Hasil Pengujian Kolom Eksentris	54
5.2. Perbandingan Hasil Eksperimen dengan Model	62
5.2.1. Analisis Kuat Tekan Beton dengan Model	62
5.2.2. Perbandingan Kapasitas Kolom Eksperimental dan Teori ..	66
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	69
6.1. Kesimpulan	69
6.2. Saran	71
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Daftar Model Uji	4
Tabel 2.1	Nilai Karakteristik Jenis-jenis Fiber	9
Tabel 2.2	Persyaratan untuk beton yang dipengaruhi oleh lingkungan yang mengandung sulfat	11
Tabel 4.1	Variasi Pemasangan <i>CFRP</i> pada Benda Uji Kolom	39
Tabel 4.2	Variasi Pemasangan <i>CFRP</i> pada Benda Uji Silinder	40
Tabel 4.3	Rekap <i>Mix Design</i>	41
Tabel 5.1	Rekap Pengujian Kuat Tarik Baja	50
Tabel 5.2	Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Beton	51
Tabel 5.3	Kuat Tekan Beton	52
Tabel 5.4	Hasil Pengujian Modulus Elastis	53
Tabel 5.5	Hasil Pengujian Kolom Eksentris	54
Tabel 5.6	Perbandingan Kuat Tekan Beton Eksperimental vs Analisis Model Teng et al. (2002)	63
Tabel 5.7	Hasil Perbandingan Kuat Tekan Beton Eksperimental vs Analisis Model Richart (1928)	64
Tabel 5.8	Perbandingan Kuat Tekan Eksperimental Dengan Model Lam dan Teng (2003)	65
Tabel 5.9	Perbandingan Beban Max Kolom Eksperimental vs Model Teng et al	66
Tabel 5.10	Perbandingan Beban Max Kolom Eksperimental vs Model Richart .	67
Tabel 5.11	Perbandingan Beban Max Kolom Eksperimental vs Model Lam dan Teng	67

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Area Kekangan efektif pada Penampang Bulat, Persegi dan Persegi Panjang	7
Gambar 2.2	Area Kolom Persegi yang Terkekang dan Tidak Terkekang Oleh FRP	7
Gambar 2.3	Teknik <i>Circularization</i> yang Dilakukan oleh Lei et al. (2012)	8
Gambar 3.1	Nilai K Untuk Kolom Berdasarkan Ujung Kolom	15
Gambar 3.2	Distribusi Tegangan Pada Penampang Kolom	16
Gambar 4.1	<i>Flowchart</i> Metode Penelitian	23
Gambar 4.2	Agregat Halus (Pasir)	24
Gambar 4.3	Agregat Kasar (Split)	25
Gambar 4.4	Semen	25
Gambar 4.5	<i>Carbon Fiber Reinforced Polymer</i> (Sika 231 C)	26
Gambar 4.6	Sikadur 330	27
Gambar 4.7	Sketsa Pemeriksaan Kandungan Zat Organik	31
Gambar 4.8	Sketsa Pemeriksaan Kandungan Lumpur	32
Gambar 4.9	Baja Tulangan Diameter 10 mm	38
Gambar 4.10	Pengujian Kuat Tarik Baja Tulangan	39
Gambar 4.11	Penulangan Benda Uji Kolom	40
Gambar 4.12	Pengujian Slump	42
Gambar 4.13	Pemasangan <i>CFRP</i> pada Kolom dan Silinder	43
Gambar 4.14	Pengujian Modulus Elastis Beton	44
Gambar 4.15	Pengujian Kuat Tekan Beton	45
Gambar 4.16	Pengujian Kolom Eksentris	46
Gambar 5.1	Hasil Pengujian Kadar Organik pada Pasir	49
Gambar 5.2	Grafik Pengujian Kuat Tarik Baja Tulangan	50
Gambar 5.3	Diagram Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton	52
Gambar 5.4	Diagram Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton	53
Gambar 5.5	Diagram Hasil Pengujian Kolom Eksentris	54
Gambar 5.6	Grafik Beban vs Defleksi Kolom KF0	56
Gambar 5.7	Grafik Beban vs Defleksi Kolom KF1	56
Gambar 5.8	Grafik Beban vs Defleksi Kolom KF2	57
Gambar 5.9	Grafik Beban vs Defleksi Kolom KF3	58
Gambar 5.10	Perbandingan Beban vs Defleksi Kolom	59
Gambar 5.11	Pola Kerusakan Pada Tumpuan Kolom	60
Gambar 5.12	Pola Kerusakan Pada Pertemuan Kolom dan Tumpuan	61
Gambar 5.13	Pola Kerusakan pada Tengah Bentang Kolom	61
Gambar 5.14	Beton yang Telah Mengalami Defleksi	62
Gambar 5.15	Grafik Kuat Tekan Beton Eksperimental vs Model Teng et al (2002)	63
Gambar 5.16	Grafik Perbandingan Kuat Tekan Beton Eksperimental vs Kuat Tekan Beton Analisis Model Richart (1928)	64
Gambar 5.17	Grafik Perbandingan Kuat Tekan Eksperimental vs Model Lam dan Teng (2003)	65
Gambar 5.18	Grafik Perbandingan Kuat Tekan Kolom vs Model	67

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 : Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar
- Lampiran 2 : Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus
- Lampiran 3 : Pemeriksaan Kelangsingan Kolom
- Lampiran 4 : Pemeriksaan Kandungan Zat Organik Dalam Pasir
- Lampiran 5 : Pemeriksaan Kandungan Lumpur Dalam Pasir
- Lampiran 6 : Pemeriksaan Gradasi Butiran Halus
- Lampiran 7 : Pemeriksaan Gradasi Butiran Kasar
- Lampiran 8 : *Mix Design*
- Lampiran 9 : Pengujian Kuat Tarik Baja Tulangan
- Lampiran 10 : Pemeriksaan Berat Jenis Beton
- Lampiran 11 : Rekap Pengujian Kuat Tekan Beton
- Lampiran 12 : Pemeriksaan Modulus Elastisitas Beton
- Lampiran 13 : Pengujian Kolom Eksentrik
- Lampiran 14 : Perhitungan Kuat Tekan Beton Terkekang (f'_{cc})
- Lampiran 15 : Perhitungan Kapasitas Kolom Eksentris

INTISARI

Studi Perilaku Kolom Pendek Beton Bertulang Dengan Pengekang *Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)* Yang Dikenai Beban Eksentrik, Purwanelson Saputra Pinang, 135102089/PS/MTS, Maret 2015, Konsentrasi Struktur, Program Magister Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

Pada masa sekarang, seringkali dijumpai bangunan yang telah berdiri atau selesai proses pembangunannya mengalami perubahan. Baik perubahan fungsi maupun perubahan level lantai. Dalam beberapa kasus, seringkali terjadi penambahan jumlah lantai yang mengakibatkan penambahan beban yang harus dipikul oleh kolom existing. Sehingga langkah yang perlu dilakukan adalah perkuatan struktur kolom tersebut agar mampu menahan beban lantai yang akan ditambahkan. Metode *jacketing* digunakan untuk melakukan perkuatan pada kolom. Bahan yang sering digunakan dalam melakukan metode ini adalah *Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)*.

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji seberapa besar pengaruh penambahan lapisan CFRP pada kolom yang dibebani secara eksentrik. Penelitian ini dilakukan dengan membuat 12 benda uji kolom dengan ukuran (75 x 75 x 750) mm dan 36 benda uji silinder dengan ukuran (150 x 300) mm. Kolom dan silinder diberi lapisan CFRP dengan variasi satu lapis, dua lapis, dan tiga lapis. Benda uji kolom dibebani secara eksentrik dengan eksentrisitas sebesar 50 mm.

Dari pengujian kuat tekan beton dengan satu lapis, dua lapis, dan tiga lapis CFRP diperoleh peningkatan sebesar 9,9%, 81,9%, dan 104,3%. Hasil pengujian diperoleh peningkatan kapasitas kolom dengan satu lapis, dua lapis dan tiga lapis CFRP secara berturut-turut sebesar 5,40%, 10,71%, dan 16,30%. Dari hasil perbandingan kapasitas kolom menggunakan nilai kuat tekan dari Model Teng et al., Richart, dan Lam dan Teng, menunjukkan bahwa Model Teng et al mendekati dengan hasil pengujian.

Kata kunci : kolom pendek, CFRP, confinement, pembebanan eksentrik, kapasitas kolom

ABSTRACT

Study Behavior of Reinforced Concrete Short Columns With Confinement Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) The Subjected to Eccentric Loads, Purwanelson Saputra Pinang, 135 102 089 / PS / MTS, in March 2015, Concentration Structure, Master Program in Civil Engineering, University of Atma Jaya Yogyakarta.

At the present time, it is often found that the existing building has been changed in the function or in the number of the floors. In the some cases, the increasing number of floors make an additional load to the existing columns. So it need to strengthen the existing column to be able to carry the additional load. One method to strengthen the existing column is using jacketing method. One of the jacketing method uses a *Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)*.

This research studies about the effect of *CFRP* layer on the short column subjected to eccentric loading. Twelve column specimens were made with the size of (75 x 75 x 750) mm and 36 cylinder specimens with the size of (150 x 300) mm. The columns and cylinders made in with variation of the layer *CFRP* that are one layer, two layer, and three layer. The loading has eccentricity of 50 mm.

The result shows that the increasing of the compressive strength of concrete using one layer, two layer, and three layer of *CFRP* compare to the cylinder without *CFRP* were 9,9%, 81,9%, and 104,3% respectively, while the capacity of a column with one layer, two layer, and three layer of *CFRP* compare to the specimen without *CFRP* were 5,4%, 10,71%, and 16,3% respectively. The comparison of the capacity of the column using the compressive strength of the Model Teng et al., Richart, and Lam and Teng, shows that the model of Teng et al closed to the experimental result.

Keywords: short columns, CFRP, confinement, eccentric loading, capacity column.