

PERKUATAN BALOK BETON BERTULANG DENGAN *FIBER GLASS JACKET* PADA KONDISI LENTUR

Laporan Tugas Akhir
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana dari
Universitas Atma Jaya Yogyakarta

Oleh :
PAULINUS PERJUANGAN ZEBUA
NPM : 11 02 13844



PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA
YOGYAKARTA
SEPTEMBER 2015

PERNYATAAN

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

PERKUATAN BALOK BETON BERTULANG DENGAN *FIBER GLASS JACKET* PADA KONDISI LENTUR

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 Tugas Akhir ini. Apabila terbukti dikemudian hari bahwa Tugas Akhir ini merupakan hasil plagiasi, maka ijazah yang saya peroleh dinyatakan batal dan akan saya kembalikan kepada Rektor Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

Yogyakarta, 17 September 2015

Yang membuat pernyataan,



(Paulinus P. Zebua)

PENGESAHAN

Laporan Tugas Akhir

PERKUATAN BALOK BETON BERTULANG DENGAN *FIBER* GLASS JACKET PADA KONDISI LENTUR

Oleh :
PAULINUS PERJUANGAN ZEBUA
NPM : 11 02 13844

Telah disetujui oleh Pembimbing
Yogyakarta, 18 September 2015

Pembimbing 18/9-15

(J. Januar Sudjati, S.T., M.T.)

Disahkan oleh :
Program Studi Teknik Sipil
Ketua

(J. Januar Sudjati, S.T., M.T.)

PENGESAHAN PENGUJI

Laporan Tugas Akhir

PERKUATAN BALOK BETON BERTULANG DENGAN *FIBER GLASS JACKET* PADA KONDISI LENTUR



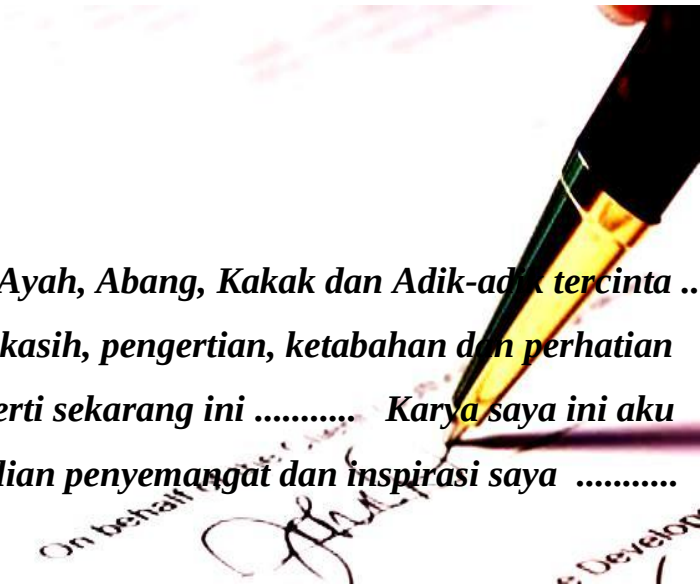
Oleh :
PAULINUS PERJUANGAN ZEBUA
NPM : 11 02 13844

Telah diuji dan disetujui oleh

Nama	Tanda tangan	Tanggal
Ketua : J. Januar Sudjati, S.T., M.T.		15/5-15
Anggota : Anggun T. Atmajayanti, S.T., M.Eng.		18/9 15
Anggota : Ir. Agt. Wahjono, M.T.		18/9 15

PERSEMBAHAN

*Rencana Tuhan Begitu Indah Dalam Setiap Perjalanan Kehidupan
Ini.. Trimakasih Tuhan Buat Berkat-Mu.
Skripsi yang jauh dari sempurana ini aku persembahkan
buat Tuhan Yesus Kristus*



*Almarhum Mama, Ayah, Abang, Kakak dan Adik-adik tercinta ..
Trimakasih atas cinta, kasih, pengertian, ketabahan dan perhatian
sehingga saya bisa seperti sekarang ini Karya saya ini aku
persembahkan buat kalian penyemangat dan inspirasi saya*

*“If you **Want** something you’ve never **Had**, you must be willing to do
something you’ve never **Done**”*

~- Thomas Jefferson ~-

KATA HANTAR

Puji dan Syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas kehadiran-Nya dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik dan lancar yang berjudul “Perkuatan Balok Beton Bertulang Dengan *Fiber Glass Jacket* Pada Kondisi Lentur.”

Penyusunan Tugas Akhir ini merupakan untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan jenjang pendidikan tinggi Program Strata 1 (S1) di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

Penyelesaian Tugas akhir ini tidak mungkin dapat terselesaikan oleh penulis dengan sebaik-baiknya tanpa bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan penulisan Tugas Akhir ini, antara lain sebagai berikut ini.

1. Bapak Prof. Ir. Yoyong Arfiadi, M.Eng, Ph.D., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
2. Bapak J. Januar Sudjati, S.T, M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta, sekaligus sebagai dosen pembimbing penulis yang telah dengan sabar membimbing penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Dinar Gumilang Jati, S.T, M.Eng., selaku Ketua Program peminatan tugas akhir struktur yang telah mengajarkan penulis tentang kedisiplinan dan mengarahkan serta memberikan masukan selama proses penelitian penulis ini.

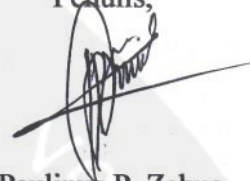
4. Keluarga tercinta, Ayah, Abang, Kakak dan Adik-adik yang selalu memberi dukungan doa, kasih, perhatian, dan semangat, serta almarhum mama yang selalu menjadi inspirasi dan penyemangat penulis sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
5. Bapak Sukaryantara selaku staff Laboratorium Struktur dan Bahan Bangunan yang telah banyak membantu dan memberikan ilmu serta memberikan pengalaman yang menarik bagi penulis.
6. Teman-teman yang telah membantu dalam pembuatan dan pengujian benda uji; Jordy, Billy, Irwan, Ando, Sem, Detha, Poltak, Kadek, Thedy, Tya, Diah, dan Anggara.
7. Bapak dan Ibu kos penulis di TB 04/20B serta teman-teman kos yang selalu memberikan ide dan tenaga selama penyelesaian tugas akhir penulis ini.
8. Teman-teman Asisten Lab. SBB 2013 dan 2014 yang selalu memberikan dukungan dan semangat serta memberikan pengalaman menarik bagi penulis.
9. Sahabat seperjuangan penulis terkhusus grup nusantara, perkumpulan anak-anak Nias IMANI-UAJY dan keseluruhan teman-teman angkatan 2011 Teknik Sipil UAJY, serta Semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu yang secara langsung maupun tidak langsung membantu penulis dalam menyelesaikan studi di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

Ada pun harapan besar penulis kiranya tugas akhir yang telah disusun oleh penulis ini mampu memberikan wawasan baru di bidang teknik sipil. Namun penulis juga menyadari bahwa di sisi lain masih banyak kekurangan dalam

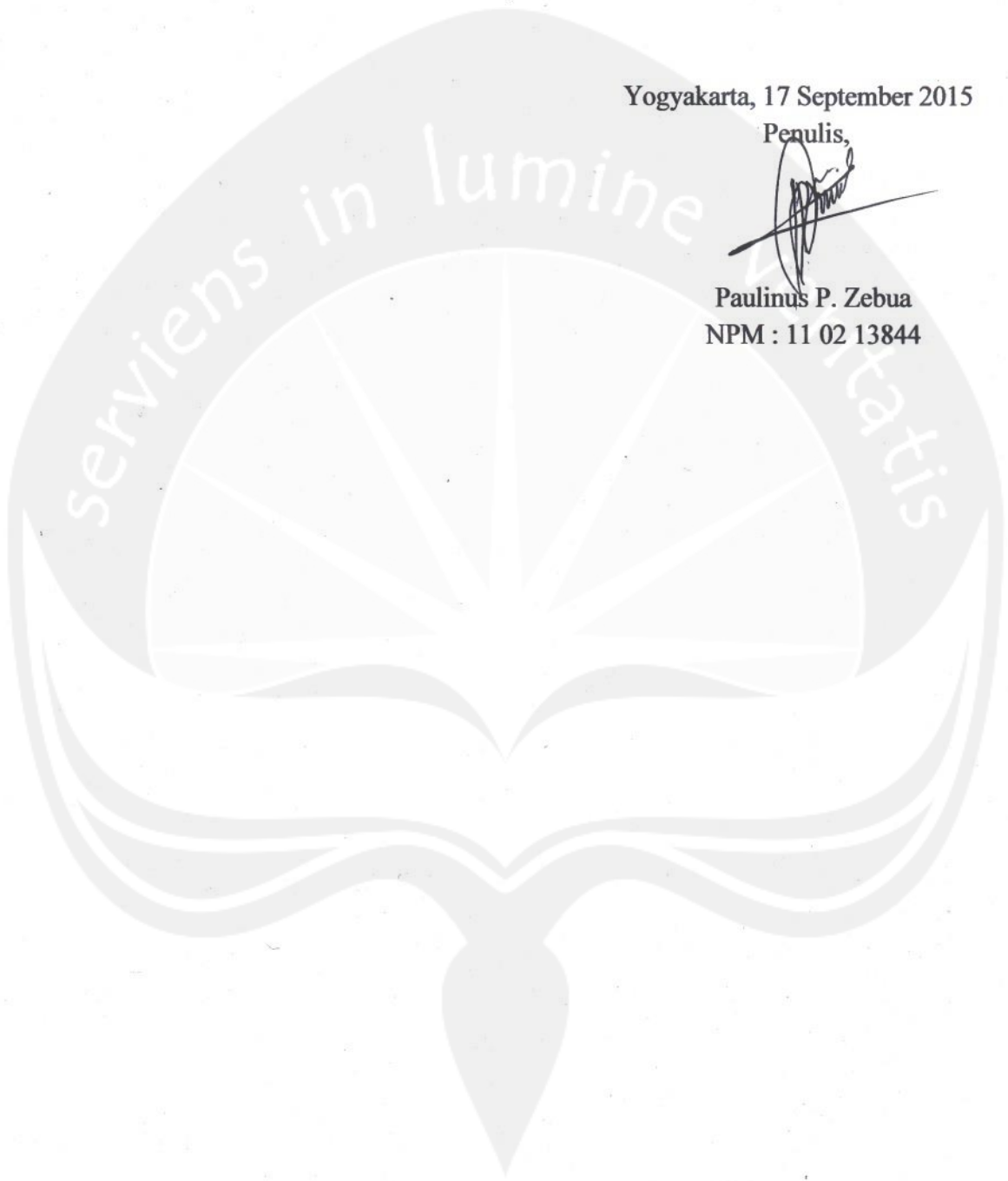
penulisan tugas akhir ini, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun.

Yogyakarta, 17 September 2015

Penulis,



Paulinus P. Zebua
NPM : 11 02 13844



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
KATA HANTAR	vi
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR NOTASI	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
INTISARI	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Keaslian Tugas Akhir	4
1.5 Manfaat Tugas Akhir	5
1.6 Tujuan Tugas Akhir	5
1.7 Lokasi Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Beton	6
2.2 Baja	7
2.3 Balok	9
2.4 <i>Fiber Glass</i>	11
2.5 Beberapa Penelitian Perkuatan Beton Bertulang Pada Kolom dan Balok	12
BAB III LANDASAN TEORI	16
3.1 Kuat Tekan Beton	16
3.2 Kuat Lentur Balok	17
3.3 Momen Ultimit	18
3.4 Perancangan Keruntuhan Lentur	20
3.5 Hubungan Beban dan Defleksi	21
3.6 Kelengkungan Balok	22
3.7 Beban Pada Saat Retak Pertama	23
3.8 Beban pada Saat Luluh Pertama	24
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN	25
4.1 Umum	25
4.2 Tahap Persiapan	27
4.2.1 Pengumpulan Bahan	27
4.2.2 Peralatan Penelitian	32
4.3 Tahap Pengujian Bahan	46
4.3.1 Pengujian Agregat Halus	46

4.3.2 Pengujian Agregat Kasar	52
4.3.3 Pengujian Baja Tulangan	57
4.3.4 Pengujian <i>Fiber Glass Jacket</i>	59
4.4 Tahap Pembuatan Benda Uji	60
4.4.1 Pembuatan <i>Mix Design</i>	62
4.4.2 Pembuatan Bekesting	62
4.4.3 Perakitan Tulangan	63
4.4.4 Pengecoran Benda Uji	63
4.5 Tahap Perawatan Benda Uji	69
4.6 Tahap Pengujian Benda Uji	71
4.6.1 Pengujian Silinder Beton	71
4.6.2 Pengujian Balok Beton	72
4.7 Tahap Analisis Data	77
4.8 Hambatan Pelaksanaan	77
BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	79
5.1 Pengujian Bahan	79
5.1.1 Pengujian Agregat Halus	79
5.1.2 Pengujian Agregat Kasar	80
5.1.3 Pengujian Kuat Tarik Baja	80
5.1.4 Pengujian Kuat Tarik <i>Fiber Glass Jacket</i>	81
5.2 Pengujian <i>Slump</i>	82
5.3 Pengujian Kuat Tekan Silinder Beton	82
5.4 Hasil Pengujian Balok Beton Normal dan Balok Beton dengan Perkuatan <i>Fiber Glass</i>	83
5.4.1 Perbandingan Beban Maksimum Hasil Pengujian Dengan Hasil Analisis Teoritis	83
5.4.2 Perbandingan Beban Maksimum Balok Normal Dengan Balok Perkuatan <i>Fiber Glass</i>	84
5.4.3 Beban pada Saat Retak dan Luluh Pertama	86
5.4.4 Kelengkungan Balok pada Retak Pertama	89
5.4.5 Hubungan Beban dan Defleksi ($P - \delta$)	90
5.4.6 Hubungan Momen dan Defleksi ($M - \delta$)	91
5.4.7 Hubungan Momen dan Kelengkungan ($M - \phi$)	92
5.4.8 Hubungan Beban dan Kelengkungan ($P - \phi$)	93
5.6 Pola dan Jenis Retak Balok	94
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	96
6.1 Kesimpulan	96
6.2 Saran	97
DAFTAR PUSTAKA	98
LAMPIRAN	100

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Mutu Baja Tulangan	9
Tabel 2.2	Tegangan Baja yang Diijinkan	9
Tabel 4.1	Kode Benda Uji Balok Beton dan Silinder Beton	68
Tabel 5.1	Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja	80
Tabel 5.2	Hasil Pengujian <i>Fiber Glass Jacket</i>	81
Tabel 5.3	Hasil Pengujian <i>Slump</i>	82
Tabel 5.4	Hasil Pengujian Kuat Tekan Silinder Beton	82
Tabel 5.5	Perbandingan Beban Maksimum Hasil Pengujian dan Hasil Analisis Teoritis Balok Beton	84
Tabel 5.6	Perbandingan Beban Maksimum Balok Normal Dengan Balok Perkuatan <i>Fiber Glass</i>	85
Tabel 5.7	Perbandingan Beban Retak Pertama Hasil Pengujian dan Analisis.	87
Tabel 5.8	Perbandingan Beban Retak Pertama Balok Normal Dengan Balok Perkuatan <i>Fiber Glass</i>	87
Tabel 5.9	Perbandingan Beban Luluh Pertama Hasil Pengujian dan Analisis	88
Tabel 5.10	Perbandingan Beban Luluh Pertama Balok Normal Dengan Balok Perkuatan <i>Fiber Glass</i>	88
Tabel 5.11	Perbandingan Kelengkungan Retak Pertama Balok Normal Dengan Balok Perkuatan <i>Fiber Glass</i>	89

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Pengujian Kuat Tekan Beton pada Benda Uji Silinder	16
Gambar 3.2	Pengujian Kuat Lentur Balok (satuan dalam mm)	17
Gambar 3.3	Distribusi Tegangan dan Regangan pada Penampang Balok Beton Normal yang Dilapisi <i>Fiber Glass Jacket</i>	18
Gambar 3.4	Lendutan Balok Dipengaruhi Beban Terpusat	21
Gambar 3.5	Lendutan Balok Tumpuan Sederhana Akibat Beban Terpusat (Sumber : Chapra dan Canale, 1989)	22
Gambar 4.1	<i>Flow Chart</i> Pelaksanaan Penelitian	26
Gambar 4.2	Semen <i>Portland</i>	27
Gambar 4.3	Agregat Halus	28
Gambar 4.4	Agregat Kasar	28
Gambar 4.5	Air	29
Gambar 4.6	Lem Epoxy merek “ALF”	29
Gambar 4.7	<i>Fiber glass jacket</i>	30
Gambar 4.8	Baja Tulangan Polos Ø 5,63 mm	30
Gambar 4.9	Baja Polos diameter 10 mm	31
Gambar 4.10	Kawat Bendrat	31
Gambar 4.11	Multiplek Tebal 10 mm	32
Gambar 4.12	<i>Loading Frame</i>	32
Gambar 4.13	<i>Dial Gauge</i>	33
Gambar 4.14	<i>Dewetron</i>	33
Gambar 4.15	<i>Hydraulic Jack</i>	34
Gambar 4.16	<i>Transfer Beam</i>	34
Gambar 4.17	Kerucut <i>Abrams</i>	35
Gambar 4.18	Penumbuk	35
Gambar 4.19	Molen	36
Gambar 4.20	Bak Adukan Beton	36
Gambar 4.21	Timbangan.....	36
Gambar 4.22	Cetakan Silinder.....	37
Gambar 4.23	Gelas Ukur 250 ml	37
Gambar 4.24	Labu <i>Erlenmeyer</i>	38
Gambar 4.25	Kerucut SSD dan Penumbuk	38
Gambar 4.26	Saringan dan Mesin Pengayak	39
Gambar 4.27	Kaliper	39
Gambar 4.28	Oven Listrik	40
Gambar 4.29	<i>Compression Testing Machine</i>	40
Gambar 4.30	<i>Los Angeles Abration</i>	41
Gambar 4.31	Bola Baja	41
Gambar 4.32	<i>Universal Testing Machine</i>	41
Gambar 4.33	Cetok	42
Gambar 4.34	<i>Gardner Standard Color</i>	42
Gambar 4.35	<i>Extensometer</i>	42
Gambar 4.36	Gergaji	43
Gambar 4.37	Palu	43

Gambar 4.38	Meteran	43
Gambar 4.39	<i>Bar Cuter</i>	44
Gambar 4.40	Ember Plastik	44
Gambar 4.41	Piring	44
Gambar 4.42	Kuas	45
Gambar 4.43	Pelumas	45
Gambar 4.44	Tang	45
Gambar 4.45	Alat Tulis	46
Gambar 4.46	Pengujian Kandungan Lumpur dalam Pasir	50
Gambar 4.47	Pengujian Kandungan Zat Organik dalam Pasir	51
Gambar 4.48	Sketsa Benda Uji <i>Fiber Glass Jacket</i> (satuan dalam mm)	60
Gambar 4.49	Benda Uji Balok (satuan dalam mm)	61
Gambar 4.50	Detail Potongan A (satuan dalam mm)	61
Gambar 4.51	Perakitan Tulangan	63
Gambar 4.52	Pengujian Nilai <i>Slump</i>	67
Gambar 4.53	Proses Pengecoran Balok	68
Gambar 4.54	Perawatan Balok Beton	70
Gambar 4.55	Pengujian Kuat Tekan Slinder Beton	71
Gambar 4.56	Rencana Pembuatan <i>Grid</i> Balok: {(a).Tampak Samping; (b).Tampak atas dan Bawah; (c).Tampak Ujung} (satuan dalam mm)	74
Gambar 4.57	<i>Setting</i> Alat Pengujian Kuat Lentur Balok	76
Gambar 4.58	Pengujian Kuat Lentur Balok	77
Gambar 5.1	Pengujian <i>Fiber Glass Jacket</i>	81
Gambar 5.2	Grafik Perbandingan Beban Maksimum Balok Normal Dengan Balok Perkuatan <i>Fiber Glass</i>	86
Gambar 5.3	Grafik Hubungan Beban dan Defleksi ($P - \delta$)	90
Gambar 5.4	Grafik Hubungan Momen dan Defleksi ($M - \delta$)	91
Gambar 5.5	Grafik Hubungan Momen dan Kelengkungan ($M - \phi$)	92
Gambar 5.6	Grafik Hubungan Beban dan Kelengkungan ($P - \phi$)	93
Gambar 5.7	Retak Benda Uji BBN	94
Gambar 5.8	Retak Benda Uji BBFG 4	95
Gambar 5.9	Retak Benda Uji BBFG 5	95

DAFTAR NOTASI

a	Tinggi blok tegangan beton ekuivalen
A	Luas benda uji
A_s	Luas tulangan Tarik
BBN	Balok Beton Normal
BBFG 4	Balok Beton <i>Fiber Glass</i> 4 Lapisan
BBFG 5	Balok Beton <i>Fiber Glass</i> 4 Lapisan
L	Panjang balok
M	Momen
M_{cr}	Momen retak dari beton
M_n	Momen nominal
M_u	Momen <i>ultimate</i>
b	Lebar balok
c	Jarak sumbu netral penampang keserat paling tertekan
C_c	Gaya tekan beton
C_s	Gaya tekan baja
d	Tinggi efektif balok
d'	Jarak dari tepi serat tertekan kepusat tulangan tekan
E	Modulus elastis
E_c	Modulus elastis beton
E_s	Modulus elastis baja
f_c'	Kuat tekan beton
f_s	Tegangan baja Tarik
f_s'	Tegangan luluh baja pada daerah tekan balok
f_r	Tegangan lentur
f_u	Tegangan tarik ultimit
f_y	Tegangan luluh baja
h	Tinggi balok
I	Inersia penampang
k	Faktor tinggi garis netral
M_y	Momen leleh pertama
P	Gaya, beban
P_u	Beban ultimit
P_y	Beban leleh
s	Jarak antar sengkang
T_s	Gaya tarik pada baja
T_f	Gaya tarik <i>fiber glass</i>
y	Tegangan geser
y	Jarak antara titik berat desak beton ke titik berat tarik beton
z	Lengan dari titik berat baja ke titik berat blok desak beton
V	Gaya geser
V_c	Gaya geser beton
V_n	Gaya geser nominal total
V_s	Gaya geser yang ditahan oleh sengkang
Δ	Lendutan, defleksi

Δ_y	Lendutan leleh
β_1	Konstanta yang merupakan fungsi dari kuat tekan beton
ε_c	Regangan beton
ε_{cu}	Regangan beton ultimit
ε_s	Regangan baja tarik
ε_s'	Regangan baja tekan
ε_y	Regangan leleh baja
ρ	Rasio luas penampang tulangan tarik terhadap luas efektif penampang balok
ρ_b	Rasio tulangan seimbang
ϕ	Kelengkungan
ϕ_{cr}	Kelengkungan
ϕ_y	Kelengkungan leleh pertama
$\emptyset$	Faktor reduksi
y_{i+1}	LVDT 1
y_i	LVDT 2
y_{i-1}	LVDT 3
CB I	Campuran Beton Pertama
CB II	Campuran Beton Kedua
CB III	Campuran Beton Ketiga
SBN	Silinder Beton Normal
SBFG 4	Silinder Beton <i>Fiber Glass</i> 4 Lapisan
SBFG 5	Silinder Beton <i>Fiber Glass</i> 5 Lapisan

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Pengujian Bahan	100
Lampiran 2	Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja	108
Lampiran 3	Pengujian Kuat Tarik <i>Fiber Glass Jacket</i>	111
Lampiran 4	Perencanaan Adukan Untuk Beton Normal	112
Lampiran 5	Perhitungan Perencanaan Tulangan	121
Lampiran 6	Perencanaan Perhitungan Nilai Defleksi Maksimum	126
Lampiran 7	Data Pengujian Silinder Beton	127
Lampiran 8	Data Hasil Pengujian Perkuatan Balok Beton Bertulang Dengan <i>Fiber Glass Jacket</i> Pada Kondisi Lentur	128
Lampiran 9	Tabel Beban, Momen, Lendutan, dan Kelengkungan Balok ...	141
Lampiran 10	Perhitungan Analisis Balok Beton Bertulang	154
Lampiran 11	Dokumentasi Penelitian	166

INTISARI

PERKUATAN BALOK BETON BERTULANG DENGAN *FIBER GLASS JACKET* PADA KONDISI LENTUR, Paulinus Perjuangan Zebua, NPM 11 02 13844, tahun 2015, Bidang Peminatan Struktur, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

Perkembangan pada setiap bidang kehidupan pada era globalisasi saat ini terjadi dengan sangat pesat tanpa terkecuali di bidang konstruksi. Balok merupakan salah satu elemen struktur yang berfungsi untuk menahan dan meneruskan beban dari struktur di atasnya seperti kuda-kuda, dinding, dan plat lantai. Pada kenyataannya perencanaan struktur dari suatu bangunan belum tentu sama dengan pelaksanaannya di lapangan. Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor, salah satunya disebabkan oleh perubahan fungsi dari bangunan tersebut. Perubahan ini tentunya akan berdampak pada beban rencana yang harus ditopang oleh struktur tersebut. Perubahan beban yang lebih besar dari beban semula mengharuskan perencanaan ulang dari komponen struktur bangunan yang telah direncanakan tersebut. Oleh karena itu salah satunya digunakanlah bahan *fiber* sebagai bahan alternatif perkuatan tambahan pada komponen struktur bangunan tersebut tanpa penambahan berat dan perubahan dimensi yang terlalu besar.

Penelitian ini dilakukan dengan membandingkan kekuatan balok beton bertulang normal dengan balok beton bertulang dengan perkuatan *fiber glass* pada kondisi lentur. Ukuran penampang benda uji balok adalah 100 mm x 150 mm dengan panjang bersih (l_u) 1800 mm dan panjang total 2000 mm. Tulangan lentur yang digunakan diameter 10 mm sedangkan tulangan gesernya digunakan berdiameter 5,6 mm. Tipe *fiber glass*-nya yaitu *fiber glass* tipe *woven roving*. Sampel benda uji ada 6 buah dan diberi kode BBN, BBFG 4 dan BBFG 5. Benda uji balok dibebani dengan beban terpusat dua titik pada jarak sepertiga bentang bersih yaitu sejauh 600 mm dari masing-masing tumpuan balok. Balok ini didesain untuk menahan beban lentur.

Dari hasil pengujian maka beban maksimum yang diperoleh BBN, BBFG 4 dan BBFG 5 secara berurutan adalah 28,248 kN; 35,083 kN; dan 38,152 kN. Ada pun persentase kenaikan beban yang dihasilkan bila dibandingkan balok beton bertulang normal dengan balok beton bertulang perkuatan *fiber glass*-nya yaitu untuk BBFG 4 lapisan sebesar 19,481% dan untuk BBFG 5 lapisan menghasilkan kenaikan beban sebesar 25,959%. Pada peresentase perbandingan beban retak pertama balok normal terhadap balok perkuatan *fiber glass* hasil pengujian yaitu sebesar 13,546% untuk BBFG 4 dan 20,043% untuk BBFG 5. Sedangkan untuk luluh pertama persentase kenaikan bebannya dari balok normal terhadap balok perkuatan *fiber glass*-nya yaitu untuk BBFG 4 sebesar 16,029% dan BBFG 5 sebesar 25,07%.

Kata Kunci: *fiber glass*, tegangan lentur, balok bertulang