

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	ii
<b>BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR</b> .....	iii
<b>PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI</b> .....	iv
<b>PERNYATAAN KEASLIAN</b> .....	vi
<b>MOTTO</b> .....	viii
<b>PERSEMBAHAN</b> .....	ix
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	xi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xiii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xvi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xviii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xix
<b>DAFTAR LAMBANG DAN NOTASI</b> .....	xx
<b>ABSTRAK</b> .....	xxiv
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Maksud dan Tujuan .....	2
1.4 Hipotesis .....	3
1.6 Sistematika Laporan .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
2.1 Beton.....	5
2.2 Komponen Penyusun Beton .....	7
2.2.1 Agregat .....	9
2.2.2 Semen .....	10
2.2.3 Air.....	11
2.2.4 <i>Superplasticizer</i> .....	11
2.2 Baja Tulangan.....	12
2.3 Perilaku Balok Beton.....	12
2.3.1 Momen Inersia Penampang Retak.....	17
2.3.2 Retak pada Balok.....	18
2.3.3 Jenis Keruntuhan pada Balok .....	18
2.3.4 Perhitungan Beban Maksimum yang Dapat Dipikul Balok .....	19
2.4 <i>Carbon Fiber Reinforced Polymer (CRFP)</i> .....	23

2.4.1	Debonding CFRP.....	25
2.4.2	Alasan penggunaan CFRP.....	27
2.5	Epoxy Resin.....	28
2.6.1	Pekerjaan untuk Fosroc Nitowrap FRC.....	29
<b>BAB III</b>	<b>METODE PENELITIAN</b> .....	<b>30</b>
3.1	TINJAUAN UMUM.....	30
3.2	RUANG LINGKUP PEKERJAAN.....	30
3.3	<i>Flowchart Penelitian</i> .....	31
3.4	Bahan dan Peralatan.....	32
3.4.1	Bahan.....	32
3.4.2	Peralatan.....	32
3.6	<i>Concrete Mix Design</i> .....	34
3.7	Persiapan dan Pembuatan Benda Uji.....	35
3.8	Pengecoran Benda Uji.....	36
3.9	Perawatan Benda Uji.....	37
3.10	Pemasangan CFRP Wrap.....	38
3.11	Pengujian Benda Uji.....	39
3.11.1	Pengujian Kuat Tekan Beton.....	39
3.11.2	Pengujian Balok Beton.....	40
<b>BAB IV</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	<b>42</b>
4.1	Pendahuluan.....	42
4.2	Perhitungan Mix design.....	42
4.3	Hubungan FAS dengan kuat tekan beton.....	44
4.4	Berat Volume Beton.....	45
4.5	Pengujian Kuat Tarik Kawat Galvanis.....	46
4.6	Pengujian Kuat Tekan Silinder.....	46
4.7	Spesifikasi CFRP.....	48
4.8	Analisis Perhitungan Geser balok CFRP.....	48
4.9	Analisa teoritis lentur balok beton.....	50
4.9.1	Beban pada balok beton bertulang tanpa CFRP.....	51
4.9.2	Beban pada balok beton bertulang dengan CFRP pelapisan bawah.....	52
4.9.3	Beban pada balok beton bertulang dengan CFRP pelapisan U.....	59
4.10	Pembahasan hasil pengujian.....	65
<b>BAB V</b>	<b>PENUTUP</b> .....	<b>76</b>
5.1	Kesimpulan.....	76
5.2	Saran.....	76

<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	78
<b>LAMPIRAN</b> .....	80

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2. 1</b>	Hubungan faktor air semen dengan kuat tekan beton.....	8
<b>Gambar 2.2</b>	Perbandingan umur dan kuat tekan beton.....	8
<b>Gambar 2.3</b>	Distribusi regangan balok ultimit .....	13
<b>Gambar 2.4</b>	Perilaku lentur pada beton sebelum retak.....	14
<b>Gambar 2.5</b>	Perilaku lentur beton setelah retak.....	15
<b>Gambar 2.6</b>	Perilaku lentur pada beban ultimit.....	15
<b>Gambar 2.7</b>	Blok tegangan ekuivalen.....	16
<b>Gambar 2.8</b>	Jenis retakan pada balok .....	18
<b>Gambar 2.9</b>	Permodelan Pembebanan Balok Konvensional .....	20
<b>Gambar 2.10</b>	Distribusi tegangan – regangan beton dengan FRP .....	20
<b>Gambar 2.11</b>	Lembaran CFRP .....	23
<b>Gambar 2. 12</b>	Lepasnya ikatan CFRP dengan beton .....	25
<b>Gambar 2.13</b>	Jenis lepasnya ikatan CFRP dengan beton .....	26
<b>Gambar 3.1</b>	Bagan Alir Penelitian.....	31
<b>Gambar 3.2</b>	Shieve Shaker Machine .....	33
<b>Gambar 3.3</b>	Flexure Machine Test .....	33
<b>Gambar 3.4</b>	Proses penimbangan komposisi penyusun beton.....	36
<b>Gambar 3.5</b>	Pengecoran benda uji.....	37
<b>Gambar 3.6</b>	Perawatan benda uji silinder dan balok .....	38
<b>Gambar 3.7</b>	Epoxy Adhesive (Fosfroc) dan CFRP .....	39
<b>Gambar 3.8</b>	Pemasangan CFRP pada balok .....	39
<b>Gambar 4.1</b>	Perbandingan kuat tekan dengan FAS .....	44
<b>Gambar 4.2</b>	Diagram batang berat volume beton.....	46
<b>Gambar 4.3</b>	Detail Balok.....	48
<b>Gambar 4.4</b>	Pembebanan balok tanpa CFRP.....	51
<b>Gambar 4.5</b>	Pembebanan balok bertulang dengan CFRP lapis bawah.....	52
<b>Gambar 4.6</b>	Pembebanan balok bertulang dengan CFRP lapis U .....	59
<b>Gambar 4.7</b>	Grafik hasil uji kemampuan balok beton menahan beban.....	66
<b>Gambar 4.8</b>	Grafik hasil analisa uji kuat lentur balok beton .....	70
<b>Gambar 4.9</b>	Perbandingan analisis teoritis dan uji kuat lentur balok .....	72
<b>Gambar 4.10</b>	Presentase peningkatan kuat lentur balok.....	73

<b>Gambar 4.11</b> Hasil uji kuat lentur balok TA-BK .....	74
<b>Gambar 4.12</b> Hasil uji kuat lentur balok TA-BT CFRP lapis bawah.....	74
<b>Gambar 4.13</b> Hasil uji kuat lentur balok TA-BT CFRP lapis U.....	74

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Batas komposisi Semen Portland .....	10
<b>Tabel 2.2</b> Presentase penggunaan Sika ViscoCrete-1003 .....	12
<b>Tabel 2.3</b> Tipe dan spesifikasi FRP .....	24
<b>Tabel 2.4</b> Spesifikasi CFRP SikaWrap 231C .....	25
<b>Tabel 2.5</b> Perbandingan performance FRP .....	27
<b>Tabel 3.1</b> Perbandingan Campuran Beton .....	35
<b>Tabel 4.1</b> Berat Volume Rata – Rata Beton .....	45
<b>Tabel 4.2</b> Data Kuat Tekan Beton .....	47
<b>Tabel 4.3</b> Spesifikasi CFRP .....	48
<b>Tabel 4.4</b> Hasil uji kuat lentur beton tanpa tulangan serta tanpa perkuatan .....	65
<b>Tabel 4.5</b> Hasil uji kuat lentur beton bertulang dengan perkuatan CFRP tipe .....	66
<b>Tabel 4.6</b> Hasil uji kuat lentur beton bertulang dengan perkuatan CFRP tipe .....	66
<b>Tabel 4.7</b> Perbandingan kemampuan uji balok beton dalam menahan .....	71
<b>Tabel 4.8</b> Perbandingan nilai uji kuat lentur balok beton .....	71

## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran 1.</b> Persiapan Bekisting.....	80
<b>Lampiran 2.</b> Penimbangan Bekisting .....	80
<b>Lampiran 3.</b> Pengecoran Benda Uji .....	80
<b>Lampiran 4.</b> Penimbangan Berat Basah Beton.....	81
<b>Lampiran 5.</b> Perawatan Beton .....	81
<b>Lampiran 6.</b> Proses Laminasi CFRP .....	81
<b>Lampiran 7.</b> Proses Pengeringan Benda Uji dengan Penambahan FRP.....	82
<b>Lampiran 8.</b> Pengujian Kuat Lentur dan Kuat Tekan .....	82
<b>Lampiran 9.</b> Hasil Pengujian .....	82
<b>Lampiran 10.</b> Grafik Uji Kuat Lentur Balok dan Kuat Tekan Silinder S1 dan S2 .....	83

## DAFTAR LAMBANG DAN NOTASI

$A_c$	[mm <sup>2</sup> ]	luas penampang beton pada komponen tekan
$A_e$	[mm <sup>2</sup> ]	luas permukaan melintang pada penampang beton terkekang efektif
$A_f$	[mm <sup>2</sup> ]	luas perkuatan eksternal FRP
$A_{fv}$	[mm <sup>2</sup> ]	luas perkuatan geser FRP dengan spasi $s$
$A_g$	[mm <sup>2</sup> ]	luas bruto penampang beton
$A_s$	[mm <sup>2</sup> ]	luas tulangan baja nonprategang
$a$	[mm]	tinggi blok tekan beton ekuivalen
$ab$	[mm]	dimensi terkecil untuk batang FRP persegi
$b$	[mm]	lebar penampang tertekan dari elemen
$CE$	[-]	faktor reduksi lingkungan
$c$	[mm]	jarak antara serat tekan paling jauh ke sumbu netral
$c_y$	[mm]	jarak antara serat tekan paling jauh ke sumbu netral pada titik leleh
$d$	[mm]	jarak dari serat tekan terjauh ke titik pusat tulangan tarik
$d'$	[mm]	jarak dari serat tekan terjauh ke titik pusat $A_{sc}$
$d_f$	[mm]	tinggi efektif perkuatan lentur FRP
$d_{fv}$	[mm]	tinggi efektif perkuatan geser FRP
$E_c$	[MPa]	modulus elastisitas beton
$E_f$	[MPa]	modulus elastisitas tarik FRP
$E_s$	[MPa]	modulus elastisitas baja
$f_c$	[MPa]	tegangan tekan beton
$f'_c$	[MPa]	kekuatan tekan beton spesifik



ff	[MPa]	tegangan di dalam perkuatan FRP
ffd	[MPa]	tegangan desain pada perkuatan terlekat FRP eksternal
ffe	[MPa]	tegangan efektif di dalam FRP; tegangan yang tercapai pada penampang runtuh
ffu	[MPa]	kekuatan tarik ultimit rencana FRP
ffu *	[MPa]	kekuatan tarik ultimit material FRP berdasarkan keterangan manufaktur
fs	[MPa]	tegangan tulangan baja nonprategang
fy	[MPa]	kuat leleh spesifik dari tulangan baja nonprategang
h	[mm]	tebal keseluruhan atau tinggi penampang
	[mm]	sisi terpanjang dimensi penampang dari komponen tekan persegi
Icr	[mm <sup>4</sup> ]	momen inersia penampang retak yang ditransfer ke beton
K	[-]	rasio antara tinggi sumbu netral terhadap tinggi tulangan diukur dari serat tekan terdalam
k1	[-]	faktor modifikasi untuk kv dengan memperhitungkan kekuatan tekan beton
k2	[-]	faktor modifikasi untuk kv dengan memperhitungkan skema pembungkusan
kf	[-]	nilai kekakuan per unit per lapisan dari perkuatan FRP, N/mm; $k_f = E_{ftf}$
Le	[mm]	panjang lekatan aktif laminasi
MI	[MPa]	momen lapangan akibat pembebanan
Mn	[N-mm ]	kekuatan lentur nominal
Mnf	[N-mm ]	kontribusi perkuatan FRP terhadap kekuatan lentur nominal
Mns	[N-mm ]	kontribusi tulangan baja terhadap kekuatan lentur nominal
N	[-]	jumlah lapisan perkuatan FRP
P	[kN]	beban lentur maksimal

$T_f$	[mm ]	tebal nominal satu lapis perkuatan FRP
$V_c$	[N ]	kekuatan geser nominal beton dengan tulangan baja lentur
$V_n$	[N ]	kekuatan geser nominal
$V_n^*$	[N ]	kekuatan geser batang eksisting
$V_s$	[N ]	kekuatan geser nominal sengkang
$w_f$	[mm ]	lebar tulangan FRP per lapisan
$W$	[cm <sup>3</sup> ]	momen tahanan
$\alpha$	[-]	sudut tulangan utama FRP terhadap sumbu longitudinal komponen struktur
$\alpha_1$	[-]	pengali pada $f'_c$ untuk menentukan intensitas distribusi tegangan ekuivalen beton
$\beta_1$	[-]	rasio tinggi blok tegangan beton terhadap sumbu tengah
$\epsilon_b$	[mm/mm ]	regangan subtrat beton akibat momen lentur (tarik adalah positif)
$\epsilon_{bi}$	[mm/mm ]	regangan subtrat beton saat pemasangan tulangan FRP (tarik adalah positif)
$\epsilon_c$	[mm/mm ]	regangan beton
$\epsilon_c'$	[mm/mm ]	regangan tekan beton tak-terkekang terhadap $f'_c$ , dapat diambil sebagai 0,002
$\epsilon_f$	[mm/mm ]	regangan tulangan FRP
$\epsilon_{fd}$	[mm/mm ]	regangan lekatan tulangan FRP eksternal
$\epsilon_{fe}$	[mm/mm ]	regangan efektif tulangan FRP saat runtuh
$\epsilon_{fu}$	[mm/mm ]	regangan runtuh tulangan FRP
$\epsilon_{fu}^*$	[mm/mm ]	regangan runtuh ultimate pada tulangan FRP
$\epsilon_s$	[mm/mm ]	regangan tulangan non-prategang
$\phi$	[-]	faktor reduksi kekuatan

$\kappa_a$	[-]	faktor efisiensi tulangan FRP dalam menentukan $f'_{cc}$ (berdasarkan geometri penampang)
$\kappa_b$	[-]	faktor efisiensi tulangan FRP dalam menentukan $\epsilon_{ccu}$ (berdasarkan geometri penampang)
$\kappa_v$	[-]	koefisien fungsi lekatan untuk geser
$\epsilon_{\kappa}$	[-]	faktor efisiensi sama dengan 0,55 untuk regangan FRP untuk menghitung perbedaan antara regangan runtuh yang diamati pada kekangan dan regangan runtuh dari uji Tarik
$\rho_f$	[-]	rasio tulangan FRP
$\psi_f$	[-]	faktor reduksi kekuatan tulangan FRP  = 0,85 untuk lentur (berdasarkan sifat material)  = 0,85 untuk geser (berdasarkan analisa keandalan) untuk Lilitan-U FRP tiga sisi atau dua sisi untuk skema penguatan = 0,95 untuk penampang yang dilapisi semua bagiannya