

## DAFTAR ISI

JUDUL	i
PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 RUMUSAN MASALAH	4
1.3 TUJUAN PENELITIAN	4
1.4 BATASAN MASALAH	5
1.5 MANFAAT PENELITIAN	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 <i>GLASS FIBRE REINFORCED POLIMER (GFRP)</i>	7
2.2 <i>RETROFITTING, PERBAIKAN ARSITEKTUR (REPAIR),</i> RESTORASI ( <i>RESTORATION</i> ), PERKUATAN ( <i>STRENGTHENING</i> )	9
2.2.1 <i>Retrofitting</i>	9
2.2.2 Perbaikan Arsitektur ( <i>Repair</i> )	9
2.2.3 Restorasi ( <i>Restoration</i> )	10
2.2.4 Perkuatan ( <i>Strengthening</i> )	10
2.3 PERKUATAN DENGAN <i>GLASS FIBRE REINFORCED</i> <i>POLYMER</i>	11

2.4 PERBANDINGAN PENELITIAN SEKARANG DAN PENELITIAN TERDAHULU	14
2.5 KEASLIAN PENELITIAN	15
BAB III LANDASAN TEORI	17
3.1 BETON	17
3.1.1 <i>Portland Cement</i>	17
3.1.2 Air	19
3.1.3 Agregat	20
3.2 FAKTOR YANG MEMPENGARUHI KUAT TEKAN BETON	23
3.2.1 Faktor Air Semen (FAS)	23
3.2.2 Umur Beton	24
3.2.3 Jumlah dan Jenis Semen	25
3.2.4 Sifat Agregat	25
3.2.5 Kelecekan ( <i>workability</i> )	25
3.3 PERAWATAN BETON ( <i>CURING</i> )	26
3.4 METODE PERANCANGAN CAMPURAN BETON ( <i>MIX DESIGN</i> )	27
3.5 KUAT TEKAN BETON	43
3.6 KEKUATAN BAJA TULANGAN	44
3.7 KAPASITAS KOLOM PERSEGI TANPA GFRP	45
3.8 KAPASITAS KOLOM PERSEGI DENGAN GFRP	46
3.9 KAPASITAS GESER KOLOM TANPA GFRP	47
3.10 KAPASITAS GESER KOLOM DENGAN GFRP	49
3.11 PENAHAN GAYA GESER	50
3.12 BATAS KELANGSINGAN KOLOM	51
3.13 KAPASITAS BEBAN TEKUK	52
3.14 BEBAN - SIMPANGAN	53
3.15 TIPE KERUSAKAN KOLOM PERSEGI	54
3.16 TIPE KERUSAKAN KOLOM PERSEGI DENGAN GFRP	55
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN	56
4.1 METODOLOGI PENELITIAN	56

4.2 BAHAN DAN BENDA UJI	56
4.2.1 Bahan	56
4.2.2 Benda Uji	59
4.3 PERALATAN PENELITIAN	61
4.4 PERSIAPAN BENDA UJI	70
4.4.1 Pemeriksaan Material Yang Digunakan	70
4.4.2 Perencanaan Campuran Beton	70
4.4.3 Pembuatan Benda Uji Silinder	71
4.4.4 Pengujian Kuat Tekan Silinder Beton	72
4.4.5 Pengujian Kuat Tarik Baja	73
4.4.6 Pembuatan Benda Uji Kolom	73
4.4.7 Persiapan Benda Uji	73
4.4.8 Persiapan Program MG Assistant	75
4.4.9 Pelaksanaan Pengujian	75
4.5 DATA PENGUJIAN	76
4.6 PENGOLAHAN DATA DAN ANALISIS	76
4.7 BAGAN ALIR	76
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN	80
5.1 PENDAHULUAN	80
5.2 HASIL PENELITIAN	81
5.2.1 Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus	81
5.2.2 Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar	81
5.2.3 Modulus Halus Butir (MHB) Agregat Halus	81
5.2.4 Modulus Halus Butir (MHB) Agregat Kasar	82
5.2.5 Uji Kandungan Lumpur dalam Pasir	83
5.2.6 Kuat Tekan Beton	83
5.2.7 Kuat Tarik Baja	84
5.3 PENGUJIAN KOLOM BETON BERTULANG	84
5.3.1 Hubungan Beban-Simpangan Benda Uji Kolom	84
5.3.2 Hubungan Beban-Penurunan Benda Uji Kolom	89
5.3.2.1 Perhitungan Teoritis Beban Sentris	89

5.3.2.2 Perhitungan Estimasi Beban Tekuk	91
5.3.2.3 Beban Sentris Maksimum Berdasarkan Hasil Uji Laboratorium	93
5.3.2.4 Perbandingan Beban Sentris Maksimum Hasil Perhitungan Teoritis Dengan Hasil Laboratorium	94
5.3.3 Hubungan Tegangan-Regangan Baja Tulangan <i>Strain Gauge</i> Kolom	95
5.3.3.1 Perhitungan Teoritis Regangan Baja Tulangan	95
5.3.3.2 Regangan Baja Tulangan Berdasarkan Hasil Uji Laboratorium	97
5.4 POLA KERETAKAN DAN KERUSAKAN KOLOM BETON BERTULANG	103
5.4.1 Benda Uji Kolom Standar (KS)	103
5.4.2 Benda Uji Kolom <i>GFRP</i> (KG1)	104
5.4.3 Benda Uji Kolom <i>GFRP</i> (KG2)	106
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	107
6.1 KESIMPULAN	107
6.2 SARAN	107
DAFTAR PUSTAKA	109
DAFTAR LAMPIRAN	
LAMPIRAN 1	
LAMPIRAN 2	
LAMPIRAN 3	

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan penelitian sekarang dengan penelitian terdahulu	14
Tabel 3.1 Bahan-bahan utama penyusun semen <i>portland</i>	18
Tabel 3.2 Batas gradasi agregat halus	22
Tabel 3.3 Batas gradasi agregat kasar menurut <i>British Standard</i> (BS)	23
Tabel 3.4 Hubungan antara umur beton dan kuat tekan beton	24
Tabel 3.5 Faktor pengali untuk deviasi standar bila data hasil uji yang tersedia kurang dari 30 benda uji	28
Tabel 3.6 Batas gradasi agregat halus	30
Tabel 3.7 Batas gradasi agregat kasar	32
Tabel 3.8 Persyaratan jumlah semen minimum dan faktor air semen maksimum untuk berbagai macam pembetonan dalam lingkungan khusus	35
Tabel 3.9 Ketentuan untuk beton yang berhubungan dengan air tanah yang mengandung sulfat	36
Tabel 3.10 Ketentuan minimum untuk beton bertulang kedap air	37
Tabel 3.11 Penetapan nilai <i>slump</i>	37
Tabel 3.12 Perkiraan kebutuhan air per meter kubik beton	38
Tabel 4.1 <i>Typical dry fiber properties</i>	58
Tabel 4.2 <i>Composite gross laminate properties</i>	58
Tabel 4.3 <i>Epoxy material properties</i>	59
Tabel 4.4 Rekapitulasi benda uji	60
Tabel 4.5 Data pengujian kolom beton bertulang	76
Tabel 5.1 Simpangan maksimum pada semua benda uji	88
Tabel 5.2 Rekapitulasi nilai $f'_{cc}$ kolom dengan perkuatan <i>GFRP</i>	90
Tabel 5.3 Nilai beban sentris kolom tanpa perkuatan dan dengan perkuatan <i>GFRP</i>	91

Tabel 5.4 Hasil perhitungan beban tekuk ( $P_c$ ) semua kolom tanpa dan dengan perkuatan <i>GFRP</i>	93
Tabel 5.5 Beban maksimum dan nilai penurunan pada semua benda uji	94
Tabel 5.6 Perbandingan nilai beban sentris teoritis dan beban sentris pengujian	94
Tabel 5.7 Nilai regangan baja tulangan untuk bermacam kondisi	96
Tabel 5.8 Nilai regangan baja tulangan maksimum semua benda uji	102



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sifat mekanis serat kaca dan serat karbon	7
Gambar 3.1 Hubungan antara kuat tekan beton dan faktor air semen	24
Gambar 3.2 Pengukuran nilai <i>slump</i>	26
Gambar 3.3 Hubungan antara kuat tekan beton dengan perawatan	27
Gambar 3.4 Grafik gradasi daerah I	30
Gambar 3.5 Grafik gradasi daerah II	31
Gambar 3.6 Grafik gradasi daerah III	31
Gambar 3.7 Grafik gradasi daerah IV	31
Gambar 3.8 Grafik gradasi maksimum 40 mm	32
Gambar 3.9 Grafik gradasi maksimum 20 mm	32
Gambar 3.10 Grafik hubungan antara kuat tekan dan faktor air semen (benda uji berbentuk silinder diameter 150 mm, tinggi 300 mm)	33
Gambar 3.11 Grafik hubungan antara kuat tekan dan faktor air semen (benda uji berbentuk kubus 150 mm x 150 mm x 150 mm)	34
Gambar 3.12 Persen pasir terhadap kadar total agregat yang dianjurkan untuk ukuran butir maksimum 10 mm	40
Gambar 3.13 Persen pasir terhadap kadar total agregat yang dianjurkan untuk ukuran butir maksimum 20 mm	40
Gambar 3.14 Persen pasir terhadap kadar total agregat yang dianjurkan untuk ukuran butir maksimum 40 mm	41
Gambar 3.15 Perkiraan berat isi beton basah yang telah selesai dipadatkan	42
Gambar 3.16 Hubungan antara tegangan dan regangan tarik baja tulangan	45
Gambar 3.17 Gaya potong tulangan	50
Gambar 4.1 <i>GFRP Typo SEH-51A</i>	58
Gambar 4.2 <i>Epoxy</i>	59
Gambar 4.3 Detail benda uji kolom beton bertulang dan posisi <i>strain gauge</i>	60
Gambar 4.4 Detail pemasangan posisi <i>strain gauge</i> pada baja tulangan	61

Gambar 4.5 Detail pelapisan <i>FRP</i>	61
Gambar 4.6 Mistar	62
Gambar 4.7 Kaliper	62
Gambar 4.8 Mesin pengaduk campuran beton	62
Gambar 4.9 Cetakan silinder beton	63
Gambar 4.10 Timbangan kapasitas 100 kg	64
Gambar 4.11 Timbangan kapasitas 20 kg	64
Gambar 4.12 <i>Slump test set</i>	65
Gambar 4.13 Mesin uji desak tipe ADR 3000	65
Gambar 4.14 Mesin uji tarik Shimazu tipe UMH 30	66
Gambar 4.15 <i>Loading frame</i>	66
Gambar 4.16 <i>Hydraulic pump</i>	67
Gambar 4.17 <i>Data logger</i>	67
Gambar 4.18 <i>Strain gauge</i>	68
Gambar 4.19 LVDT	68
Gambar 4.20 <i>Load cell</i>	69
Gambar 4.21 Komputer	69
Gambar 4.22 Persiapan benda uji dan pemasangan LVDT pada kolom tanpa GFRP	74
Gambar 4.23 Persiapan benda uji dan pemasangan LVDT kolom dengan GFRP	74
Gambar 4.24 Bagan alir pengujian material	77
Gambar 4.25 Bagan alir pembuatan dan pengujian kolom	78
Gambar 4.26 Bagan alir pengerjaan tugas akhir	79
Gambar 5.1 Daerah Gradasi II	82
Gambar 5.2 Gradasi Maksimum 40 mm	82
Gambar 5.3 Penempatan posisi LVDT pada 4 sisi kolom	85
Gambar 5.4 Hubungan beban-simpangan LVDT KS	85
Gambar 5.5 Hubungan beban-simpangan LVDT KG1	86
Gambar 5.6 Hubungan beban-simpangan LVDT KG2	86
Gambar 5.7 Nilai faktor panjang efektif kolom (k)	92



Gambar 5.8 Hubungan beban-penurunan dial KS, KG1, dan KG2	93
Gambar 5.9 Hubungan gaya desak (P)-regangan desak ( $\epsilon$ ) baja tulangan <i>strain gauge</i> -1,2,3, dan 4 tulangan pokok pada kolom standar (KS)	97
Gambar 5.10 Hubungan gaya desak (P)-regangan tarik ( $\epsilon$ ) baja tulangan <i>strain gauge</i> - 5,6, dan 7 tulangan sengkang pada kolom standar (KS)	98
Gambar 5.11 Hubungan gaya desak (P)-regangan desak ( $\epsilon$ ) baja tulangan <i>strain gauge</i> - 1,2, dan 3 tulangan pokok pada kolom <i>glass</i> 1 (KG1)	99
Gambar 5.12 Hubungan gaya desak (P)-regangan tarik ( $\epsilon$ ) baja tulangan <i>strain gauge</i> - 5,6,7, dan 8 tulangan sengkang pada kolom <i>glass</i> 1 (KG1)	99
Gambar 5.13 Hubungan gaya desak (P)-regangan desak ( $\epsilon$ ) baja tulangan <i>strain gauge</i> - 1,2,3, dan 4 tulangan pokok pada kolom <i>glass</i> 2 (KG2)	100
Gambar 5.14 Hubungan gaya desak (P)-regangan tarik ( $\epsilon$ ) baja tulangan <i>strain gauge</i> - 5,6, dan 7 tulangan sengkang pada kolom <i>glass</i> 2 (KG2)	101
Gambar 5.15 Kerusakan Kolom Standar (KS)	104
Gambar 5.16 Pola keretakan Kolom <i>Glass</i> 1 (KG1)	105
Gambar 5.17 Kerusakan Kolom <i>Glass</i> 1 (KG1)	105
Gambar 5.18 Kerusakan Kolom <i>Glass</i> 2 (KG2)	106

## DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

- $A$  : luas tampang,  $\text{mm}^2$
- $C_E$  : faktor reduksi lingkungan untuk berbagai jenis FRP
- $E_2$  : kemiringan bagian linier dari model tegangan-regangan beton perkuatan FRP, MPa
- $E_c$  : modulus elastis beton, MPa
- $E_f$  : modulus elastis FRP, MPa
- $E_s$  : modulus elastis baja, MPa
- $f'_c$  : kuat desak beton, MPa
- $f'_{cc}$  : kuat beton terkekang, MPa
- $f_{fu}$  : kuat regangan ultimit terencana untuk FRP, MPa
- $f_{fu}^*$  : kuat regangan ultimit FRP, MPa
- $f_l$  : kuat tekan maksimum oleh selubung FRP, MPa
- $f_y$  : kuat leleh baja, MPa
- $n$  : jumlah lapisan FRP
- $P_n$  : beban axial nominal
- $t_f$  : tebal tiap lapisan FRP
- $\varepsilon_f$  : tingkat tegangan perkuatan FRP
- $\varepsilon_{fe}$  : tingkat tegangan efektif pada perkuatan FRP saat mencapai keruntuhan
- $\varepsilon_{fu}$  : tegangan putus terencana pada perkuatan FRP
- $\varepsilon_{fu}^*$  : tegangan putus FRP
- $\phi$  : faktor reduksi kekuatan
- $k_a$  : faktor efisiensi perkuatan FRP dalam penentuan  $f'_{cc}$
- $k_b$  : faktor efisiensi perkuatan FRP dalam penentuan  $\varepsilon_{ccu}$
- $\psi_f$  : faktor reduksi kekuatan FRP
- $\emptyset$  : diameter tulangan, mm