

## UJI EKSPERIMENTAL PENGARUH *GLASS FIBRE REINFORCED POLYMER (GFRP)* TERHADAP PERKUATAN SENGGANG KOLOM BETON BERTULANG

Zia Betros Malikul A<sup>1</sup>, Atika Ulfah Jamal<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia

Email: [ziabetros@gmail.com](mailto:ziabetros@gmail.com)

<sup>2</sup> Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia

Email: [atika.ulfah@uii.ac.id](mailto:atika.ulfah@uii.ac.id)

**Abstract:** *In this study, Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) is used as a restraint on stirrups reinforcement, as it is known that as a result of the axial force, the column on one side will experience a shortening but on the other hand the column will expand to one side, because the stirrup's purpose is to bind the core of the column so that the concrete does not break, and also the closer the distance between stirrups will increase the effectiveness of restraint (confined). The more distance between stirrups then the more volume of concrete that will be unfettered (unconfined) and the possibility of collapse. The purpose of this study was to determine the behavior of column damage, maximum load and determine the effect with and without GFRP as stirrups reinforcement in the column. The examination is done with concentric loading where the specimens were continuously loaded until failure occurs. The test object in the form of reinforced concrete columns with dimensions of 150 x 150 x 1200 mm is in 3 pieces in which the first piece serve as the standart columns without GFRP reinforcement and 2 pieces of columns with GFRP reinforcement are in the field column. The test results shows that the behavioral damage that occurs in the test object KS is the destruction of buckling in the column field area, the behavioral damage that occurs in KG1 and KG2 changed from KS which is damage on the field area to be damage on the top and bottom pedestal. The maximum load capable to be detained by the column, for the test object KS is 634.2333 KN, for KG1 it is amounted to 847.7563 KN and 548.9146 KN of the test object KG2. The use of GFRP as a restraint on stirrups reinforcement were able to increase the axial load capacity of the column and the column suffered no damage on the part that is confined with GFRP.*

**Keywords:** *GFRP, Column, Stirrup Reinforced, Buckling*

### 1. PENDAHULUAN

Struktur beton bertulang banyak digunakan pada konstruksi bangunan gedung di Indonesia, yaitu pada elemen balok, kolom, pelat maupun pondasi. Kolom merupakan salah satu elemen dari struktur rangka yang mengalami desak dan lentur serta pemakaiannya selalu dihubungkan dengan elemen struktur yang lain yaitu balok sebagai satu kesatuan. Kolom juga berfungsi menahan gaya-gaya yang berkerja pada balok dan meneruskannya ke pondasi. Sebagai bagian dari suatu kerangka bangunan dengan fungsi tersebut maka kolom menempati posisi penting di dalam sistem struktur bangunan. Kolom beton

bertulang dapat menahan beban aksial lebih besar jika dibandingkan dengan kolom beton tanpa tulangan baja. Tulangan baja pada kolom ada dua jenis, yaitu tulangan baja yang berfungsi sebagai penahan tekan atau tulangan longitudinal, kemudian tulangan baja yang berfungsi sebagai penahan tegangan lateral pada inti penampang kolom atau tulangan sengkang. Selain menahan tegangan lateral tulangan sengkang juga berfungsi sebagai pengekekang (*confinement*) agar akibat gaya aksial suatu kolom tetap menyatu tidak pecah. Sebagaimana diketahui bahwa akibat gaya aksial, kolom disatu sisi akan mengalami pemendekan tetapi disisi lain kolom akan mengembang kearah samping, sebagai penahan tekuk

(*buckling*), semakin langsing atau semakin panjang suatu kolom, kekuatan penampangannya akan berkurang bersamaan dengan timbulnya masalah tekuk (*buckling*) yang dihadapi dan juga sebagai pengikat tulangan pokok, pada fungsi ini merupakan fungsi teknis yang paling praktis yaitu untuk mengikat tulangan pokok agar tempat, jarak atau posisinya dalam kondisi yang benar.

Oleh karena itu, untuk mencegah keruntuhan kolom yang terjadi secara tiba-tiba, tanpa adanya peringatan, maka dalam merencanakan struktur kolom harus diperhitungkan secara cermat dengan memberikan kekuatan cadangan lebih tinggi atau penambahan kekuatan dari pada untuk komponen struktur lainnya, sehubungan dengan faktor keselamatan jiwa. Sehingga dalam suatu struktur keruntuhan kolom struktural merupakan hal yang sangat penting untuk ditinjau.

Tujuan penelitian ini adalah:

- untuk mengetahui perilaku kerusakan kolom tanpa perkuatan tulangan sengkang menggunakan *GFRP*,
- untuk mengetahui perilaku kerusakan kolom dengan perkuatan tulangan sengkang menggunakan *GFRP*,
- untuk mengetahui beban maksimal yang dapat diterima kolom beton bertulang setelah diperkuat (*strengthening*) dengan *GFRP*, dan
- untuk mengetahui pengaruh *GFRP* terhadap perkuatan sengkang sebagai pengembang pada kolom.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Glass Fibre Reinforced Polymer

*Fibre Reinforced Polymer (FRP)* adalah inovasi perkuatan komposit yang saat ini banyak digunakan sebagai perkuatan eksternal tambahan pada struktur karena sifatnya setelah dipasang pada struktur beton mampu menghilangkan kekurangan beton yang getas menjadi struktur yang *ductile*. Dua jenis serat yang umum digunakan untuk perkuatan struktur adalah *Glass Fibre Reinforced Polymer (GFRP)* dan *Carbon Fibre Reinforced Polymer (CFRP)*.

Komposit serat kaca adalah jenis serat yang relatif lebih murah dibanding serat karbon dan serat aramid. Serat kaca memiliki regangan yang lebih besar dibandingkan serat karbon (Parmo dan Taufikurrahman, 2014).

Fikri A dan Ratna W (2010) telah melakukan studi eksperimental perkuatan geser balok beton bertulang dengan *GFRP*. Hasil penelitian didapat penambahan *GFRP* pada kedua sisi balok sepanjang bentang geser mempengaruhi pola retak yang terjadi. Retak pada beton beralih/terjadi ke posisi yang tidak ada perkuatan *GFRP*. Hal tersebut membuat beton bertambah kedaktailanya.

Fitriana dkk (2012) telah melakukan penelitian perkuatan kolom bulat dari beton bertulang dengan menggunakan *GFRP-Sheet*. Hasil penelitian menunjukkan adanya peningkatan kapasitas beban aksial dengan penambahan 1 lapis *GFRP-S jacketing* dan 2 lapis *GFRP-S jacketing* masing-masing sebesar 30.0% dan 42.1% terhadap kolom bulat beton bertulang normal, peningkatan kapasitas beban lentur dengan penambahan 1 lapis *GFRP-S jacketing* dan 2 lapis *GFRP-S jacketing* masing-masing sebesar 114.5 % dan 156.5 % terhadap kolom bulat beton bertulang normal dan model kegagalan yang terjadi adalah kegagalan geser pada kolom bulat beton bertulang normal dan model kegagalan yang terjadi pada kolom bulat beton bertulang dengan *GFRP-S jacketing* adalah kegagalan lentur dan sobeknya *GFRP-S* setelah tulangan tarik meleleh (*rupture failure of GFRPS*).

Ginardi (2014) telah melakukan penelitian perbandingan kekuatan lentur balok beton bertulang dengan menggunakan perkuatan *CFRP* dan *GFRP*. Hasil penelitian didapat bahwa *CFRP* dan *GFRP* berpengaruh terhadap kuat lentur balok. Beban maksimal yang bisa ditahan balok dengan perkuatan *CFRP* maupun *GFRP* lebih besar dari pada beban maksimal yang dapat ditahan balok kontrol. *CFRP* lebih baik dalam menambah kekuatan lentur balok daripada *GFRP*. Pertambahan besar beban yang bisa ditahan

balok BC dari balok kontrol lebih besar dari pertambahan beban BG dari balok kontrol. Hal ini dikarenakan mutu dan bahan dasar *CFRP* yang lebih baik dalam menahan beban daripada mutu dan bahan dasar *GFRP*. Selain itu, inersia penampang balok yang diperkuat *CFRP* lebih kecil daripada inersia dari balok yang diperkuat *GFRP*.

## 2.2 Kapasitas Kolom Persegi Tanpa *GFRP*

Kondisi kolom yang akan dianalisis adalah kondisi terbebani sentris pada kolom, beban sentris menyebabkan tegangan tekan yang merata diseluruh bagian penampang yang menyebabkan saat terjadi keruntuhan, tegangan dan regangannya akan merata diseluruh bagian penampang. Kondisi ini adalah kondisi dimana beban bekerja tepat pada titik berat potongan kolom (beban aksial murni), sehingga tidak ada momen. Kapasitas beban aksial kolom *non slender* dapat dihitung dengan rumus:

$$P_u = 0,8\phi\{0,85 f'_c(A_g - A_{st}) + f_y A_{st}\} \quad (1)$$

Keterangan:

$P_u$  = beban aksial ultimate, MPa

$f'_c$  = kuat tekan beton, MPa

$f_y$  = kuat leleh baja, MPa

$A_g$  = luas bruto kolom persegi, mm<sup>2</sup>

$A_{st}$  = luas penampang total tulangan longitudinal, mm<sup>2</sup>

$\phi$  = faktor reduksi

## 2.3 Kapasitas Kolom Persegi Dengan *GFRP*

Kapasitas beban aksial kolom *non slender* perkuatan FRP dengan pengekanan *tied* menurut ACI.2R-08 dapat dihitung dengan rumus:

$$P_u = 0,8\phi\{0,85 f'_c c(A_g - A_{st}) + f_y A_{st}\} \quad (2)$$

$$f'_c c = f'_c + 3,3 k_a f_l \quad (3)$$

$$k_a = \frac{A_e}{A_c} \left( \frac{b}{h} \right)^2 \quad (4)$$

$$f_l = \frac{\psi_f E_f n t_f \varepsilon_{fe}}{\sqrt{b^2 + h^2}} \quad (5)$$

$$\varepsilon_{fe} = \min(0,004, k_e \varepsilon_{fu}) \quad (6)$$

Keterangan:

$P_u$  = beban aksial ultimate, MPa

$f'_{cc}$  = kuat tekan beton terkekang *FRP*, MPa

$f_l$  = kuat tekan maksimum oleh selubung *FRP*, MPa

$k_a$  = faktor efisiensi perkuatan *FRP* dalam penentuan  $f'_{cc}$

$\psi_f$  = faktor reduksi kekuatan *FRP*

$n$  = jumlah lapis *FRP*

$E_f$  = modulus elastis *FRP*, MPa

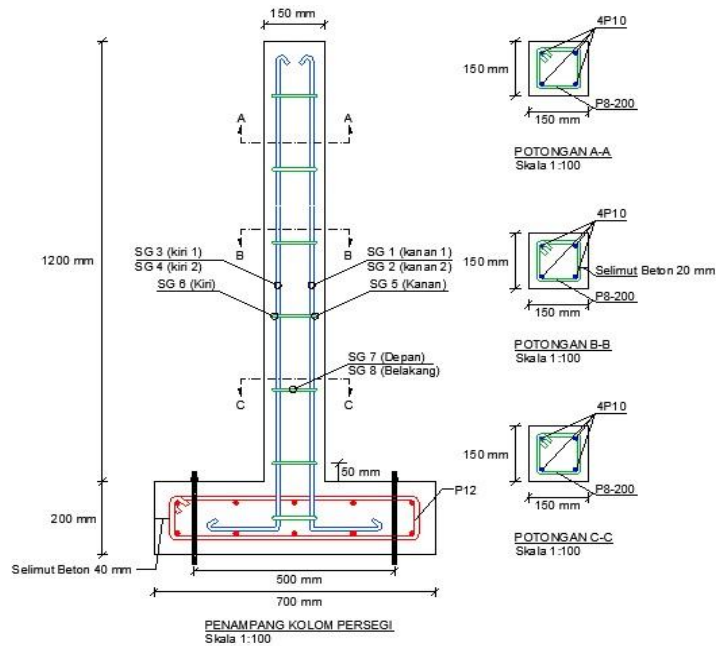
$P_u$  = beban aksial ultimate, MPa

$\varepsilon_{fe}$  = tingkat tegangan efektif pada perkuatan *FRP* saat mencapai keruntuhan

## 3. METODE PENELITIAN

### 3.1 Benda Uji

Benda uji dalam penelitian ini adalah kolom beton bertulang dengan ukuran 15 cm x 15 cm x 120 cm. Benda uji kolom diberi tulangan longitudinal 4P10 dan sengkang pada daerah tumpuan P8-200 dan pada daerah lapangan P8-200. Benda uji dibuat sebanyak 3 buah yaitu 1 kolom tidak diberi perkuatan *GFRP* sebagai kolom standar sedangkan 2 kolom diberi perkuatan *GFRP*. Benda uji dalam penelitian ini diberi nama KS (Kolom Standar) yaitu kolom yang belum diberi *GFRP* dan KG (Kolom *Glass*) yaitu kolom yang telah diberi *GFRP*. Detail kolom dapat dilihat pada Gambar 1 dan Tabel 1 berikut.



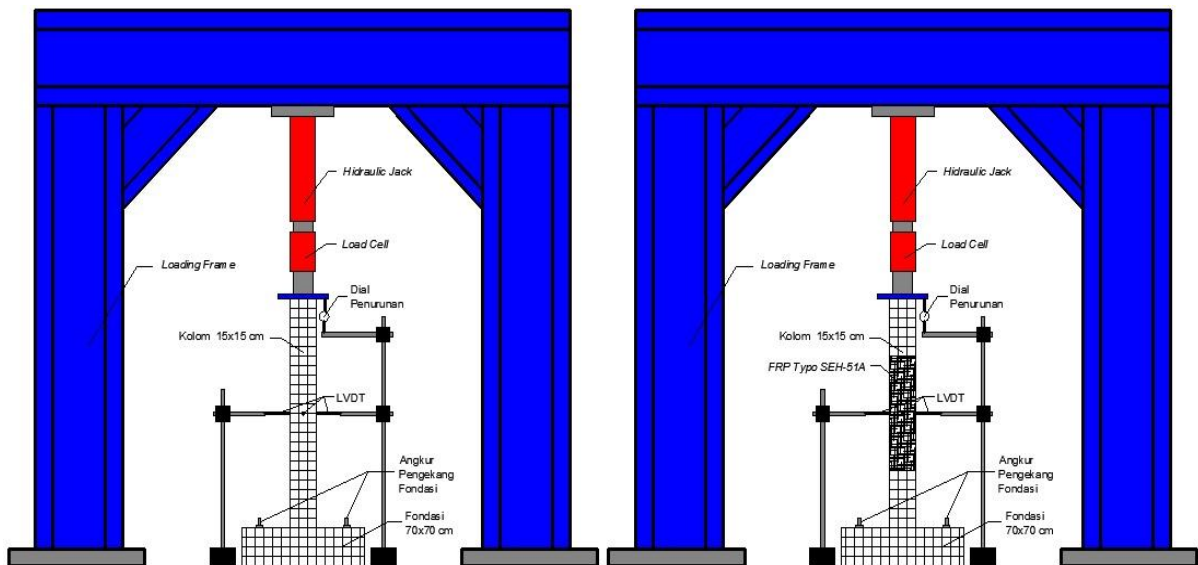
Gambar 1 Detail benda uji kolom beton bertulang dan posisi *strain gauge*

Tabel 1 Perincian Benda Uji

Nama Benda uji	Ukuran Benda uji (cm)	Jumlah Lapis <i>GFRP</i>
KS	15 x 15 x 120	
KG1	15 x 15 x 120	1 lapis
KG2	15 x 15 x 120	1 lapis

### 3.2 Persiapan Benda Uji

Posisi benda uji adalah vertikal, instalasi dan kalibrasi sensor-sensor yang digunakan pada mesin pembaca *data logger*, letakan *load cell* dan *hydraulic pump* pada posisinya. Persiapan benda uji dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 persiapan benda uji kolom tanpa dan dengan perkuatan *GFRP*

### 3.3 Batasan Masalah

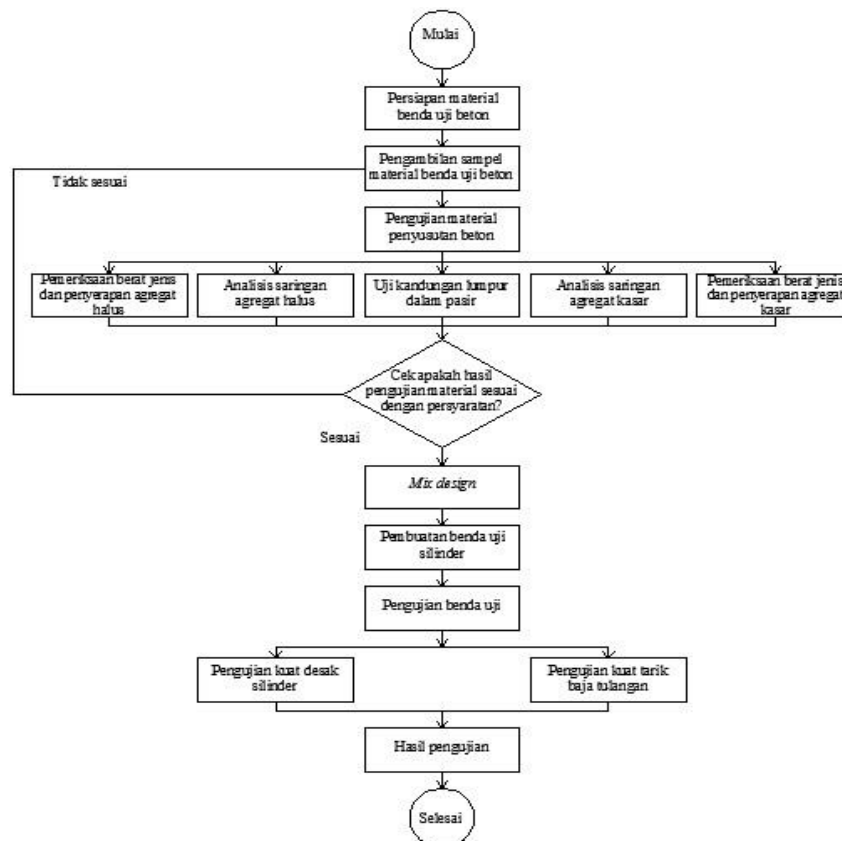
Adapun batasan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Pada penelitian ini, beton yang digunakan adalah beton normal dengan mutu 20 MPa, sesuai SNI 2847-2013 pasal 21.1.4.2 bahwa kekuatan beton yang ditetapkan  $f'c$  untuk beton pada rangka momen khusus tidak boleh kurang dari 20 MPa.
2. Baja tulangan menggunakan baja polos dengan mutu baja minimal 240 MPa.
3. Metode campuran (*mix design*) yang digunakan sesuai SNI 03-2834-2000.
4. Pengujian kuat tekan silinder beton dilakukan pada saat umur beton 7 hari.
5. Agregat halus (pasir) berasal dari Merapi.
6. Agregat kasar (kerikil) berasal dari Merapi.
7. Bahan perkuatan yang digunakan adalah *GFRP* tipe *Tyfo SEH 51A*.
8. Perekat digunakan *epoxy* tipe *Tyfo S*.

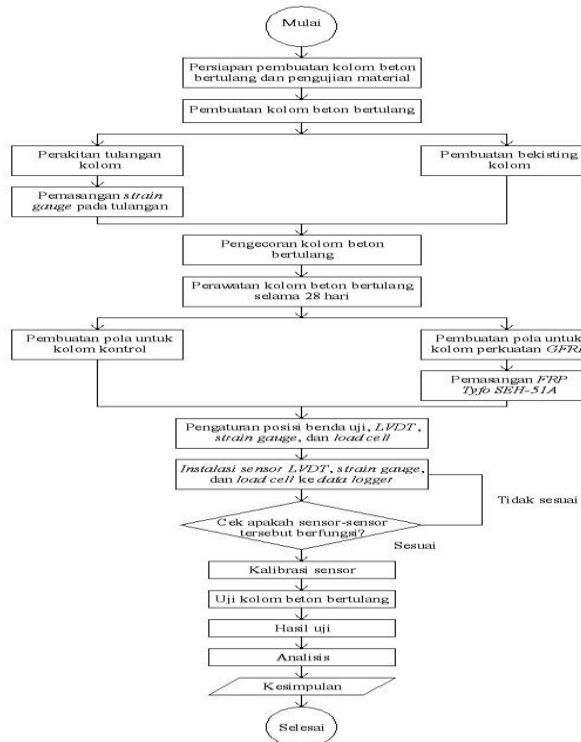
9. Pemasangan *GFRP* hanya pada daerah lapangan kolom, hal ini dilakukan karena kemungkinan kerusakan terparah akan terjadi pada daerah lapangan kolom.
10. Jenis pembebanan yaitu pembebanan aksial dengan beban terpusat atau beban titik dan mekanisme pembebanan diberikan secara bertahap dengan menggunakan *hydrolick pump* sesuai besar pembebanan tiap benda uji.
11. Penelitian dilakukan di laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (BKT) dan Laboratorium Struktur dan Mekanika Rekayasa Program Studi Teknik Sipil FTSP UII

### 3.4 Tahapan Penelitian

Secara keseluruhan tahapan penelitian dapat dilihat secara skematis dalam bentuk bagan alir pada Gambar 3 dan 4 berikut.



Gambar 3 bagan alir pengujian material



Gambar 4 bagan alir pembuatan dan pengujian kolom

#### 4. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

##### 4.1 Pengujian Kolom Beton Bertulang

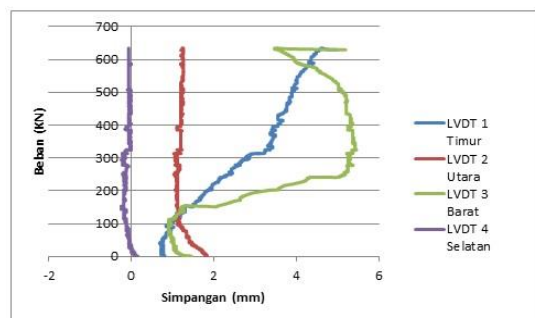
Hasil pengujian berupa respon beban-simpangan, beban-penurunan, dan tegangan-regangan baja tulangan *strain gauge* pada benda uji KS, KG1 dan KG2 yang dipresentasikan dalam bentuk grafik sebagai berikut.

##### Grafik Hubungan Beban-Simpangan Benda Uji Kolom

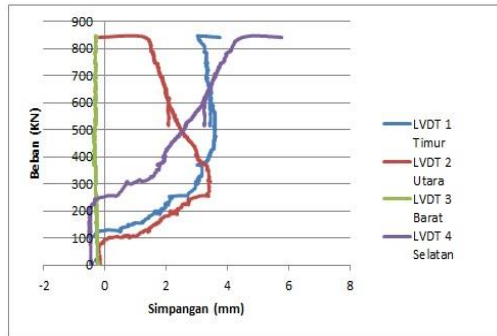
Pada pengujian ini data simpangan diambil dari 4 sisi dan diambil pada tengah bentang. Besarnya simpangan ini diukur dengan menempatkan LVDT pada tempat-tempat tersebut. Penempatan LVDT dapat dilihat pada Gambar 5 berikut.



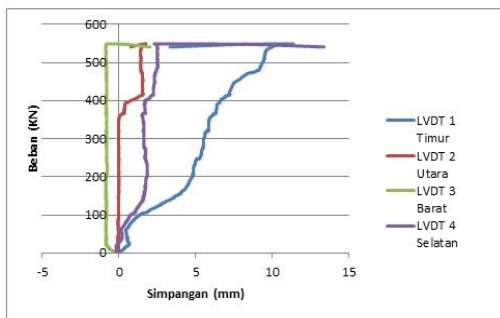
Gambar 5 Posisi penempatan LVDT



Gambar 6 grafik hubungan beban-simpangan LVDT benda uji KS



Gambar 7 grafik hubungan beban-simpangan LVDT benda uji KG1



Gambar 8 grafik hubungan beban-simpangan LVDT benda uji KG2

Dari grafik pada Gambar 6 sampai dengan gambar 8 terdapat perbedaan simpangan yang terjadi pada kolom-kolom tersebut. Kolom-kolom yang diuji pada pengujian ini mempunyai dimensi yaitu tinggi dan luasan yang sama akan tetapi terdapat 1 buah kolom tanpa perkuatan sebagai kolom standar dan 2 buah kolom dengan perkuatan pada bagian lapangan dengan menggunakan *GFRP* sehingga kemampuan menahan beban dan nilai simpangan pun berbeda-beda. LVDT 1, LVDT 2, LVDT 3, dan LVDT 4 digunakan untuk mengetahui besarnya simpangan pada daerah tengah kolom dimana pada daerah ini kemungkinan mengalami daerah simpangan terbesar. Nilai pembacaan simpangan maksimum dari setiap benda uji dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

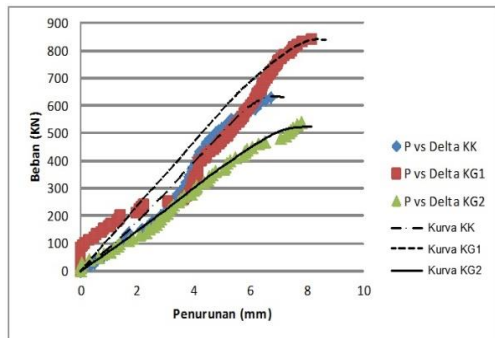
Tabel 2 Simpangan maksimum pada semua benda uji

Benda Uji	No LVDT	Simpangan Terbesar (mm)
KK	1 (timur)	4,98084
	2 (utara)	1,83209
	3 (barat)	5,45920
	4 (selatan)	0,15298
KG1	1 (timur)	3,75745
	2 (utara)	3,44900
	3 (barat)	-0,18906
	4 (selatan)	5,77860
KG2	1 (timur)	11,35479
	2 (utara)	1,75435
	3 (barat)	2,02643
	4 (selatan)	13,36038

Pada benda uji KS nilai simpangan untuk arah timur dan barat lebih besar dibandingkan dengan arah utara dan selatan, hal ini disebabkan terjadi pengembangan pada arah tersebut. Sebagaimana diketahui bahwa akibat gaya aksial, kolom disatu sisi akan mengalami pemendekan tetapi disisi lain kolom akan mengembang kearah samping. Benda uji KG1 dan KG2 nilai simpangan untuk arah timur dan barat terdapat selisih yang besar, dimana pada arah timur nilai simpangan lebih besar dari arah barat, untuk arah utara dan selatan juga terdapat selisih yang besar, dimana pada arah selatan nilai simpangan lebih besar dari arah utara, hal ini mungkin disebabkan karena posisi pembebanan yang kurang sentris dimana posisi pembebanan lebih cenderung ke arah timur dan selatan, dan juga kemungkinan bisa disebabkan karena adanya tegangan yang tinggi terhadap kolom, karena bagian lapangan kolom terkekang oleh *GFRP* sehingga menyebabkan terjadinya kerusakan pada daerah atas dan daerah bawah terlebih dahulu.

#### Grafik Hubungan Beban-Penurunan Benda Uji Kolom

Pada pengujian ini besarnya penurunan pada kolom diukur dengan menempatkan dial dibawah *load cell* yang ditahan dengan plat penghubung antara *load cell* dengan permukaan kolom.



Gambar 9 Grafik hubungan beban-penurunan dial KS, KG1 dan KG2

Dari grafik pada Gambar 9 dapat dilihat pada saat peningkatan pembebanan nilai penurunan pun semakin meningkat, pembacaan dial dilakukan dengan nilai pembebanan kelipatan 10 KN. Beban maksimum dan nilai penurunan pada kolom dapat dilihat pada Tabel 3 sebagai berikut.

Tabel 3 Beban maksimum dan nilai penurunan pada semua benda uji

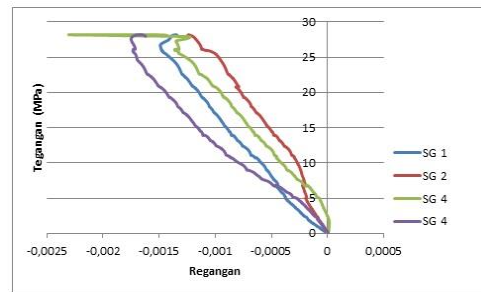
Benda Uji	Beban Maksimal (KN)	Penurunan (mm)	Rata-rata Beban (KN)	Rata-rata Penurunan (mm)
KS	634.2333	6,74	634,2333	6,74
KG1	847.7563	8,18	698,3355	7,995
KG2	548.9146	7,81		

Dari Tabel 3 dapat dilihat bahwa benda uji kolom yang dilapisi *GFRP* mempunyai beban lebih besar dan mengalami penurunan yang lebih besar dibandingkan dengan benda uji yang tidak dilapisi *GFRP*. Hal ini membuktikan bahwa pengaruh *GFRP* sebagai pengekang dan perkuatan kolom mampu meningkatkan kapasitas beban aksial

### Grafik Hubungan Tegangan-Regangan Baja Tulangan *Strain gauge* Kolom

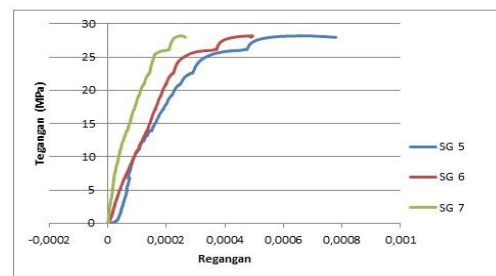
Hubungan tegangan dan regangan pada baja tulangan ini meninjau pada dua titik yaitu pada bagian baja tulangan yang mengalami tarik (sejang) dan baja tulangan yang mengalami tekan (pokok). *Strain gauge* pada baja tulangan tekan dipasang di bagian tengah bentang dengan jumlah empat buah, setiap tulangan pokok mempunyai satu buah *strain gauge*, sedangkan untuk

tulangan tarik dipasang pada tulangan sejang dengan jumlah dua buah untuk sejang di bagian tengah bentang dan dua buah untuk sejang bagian bawah. Pada grafik di bawah ini dapat dilihat hubungan tegangan dan regangan baja tulangan untuk ketiga benda uji.



Gambar 10 Grafik hubungan tegangan-regangan baja tulangan *strain gauge*-1,2,3, dan 4 (Tul. Pokok) KS

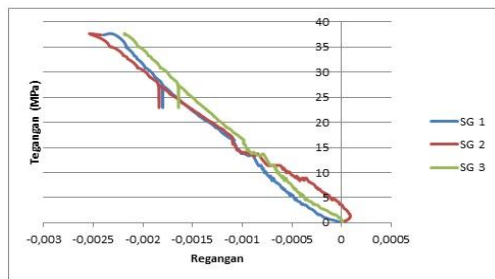
Dari grafik pada Gambar 10 dapat dilihat hasil pembacaan besarnya nilai regangan baja tulangan pokok benda uji KS untuk SG 1 sebesar -0,001491, SG 2 sebesar -0,001257, SG 3 sebesar -0,002306, dan SG 4 sebesar -0,001750. Nilai regangan untuk baja tulangan pokok hasilnya minus, hal ini dikarenakan baja tulangan pokok mengalami tekan. Dari besarnya nilai regangan baja pada tulangan pokok yang terbaca oleh *strain gauge*, nilainya lebih rendah dibandingkan dengan regangan leleh teoritis baja tulangan sebesar 0,001733. Pada benda uji KS baja tulangan menjadi tekuk akibat ditekan, hal ini menunjukkan bahwa baja tulangan yang tertekuk atau bengkok karena ditekan belum tentu sudah mencapai batas leleh.



Gambar 11 Grafik hubungan tegangan-regangan baja tulangan *strain gauge*- 5,6, dan 7 (Tul. Sejang) KS

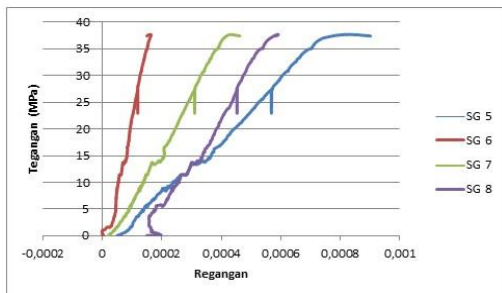


Dari besarnya nilai regangan baja tulangan yang terbaca oleh *strain gauge* pada Tabel 4, dapat disimpulkan bahwa regangan baja tulangan sengkang KS belum mencapai regangan leleh. Hal ini dapat dilihat dari nilai regangan pengujian lebih kecil dibandingkan dengan nilai regangan leleh teoritis baja tulangan sengkang sebesar 0,001559. Hal ini disebabkan karena keruntuhan beton yang terjadi lebih dahulu sebelum baja tulangan mencapai batas regangan leleh.



Gambar 12 Grafik hubungan tegangan-regangan baja tulangan *strain gauge*- 1,2, dan 3 (Tul. Pokok) KG1

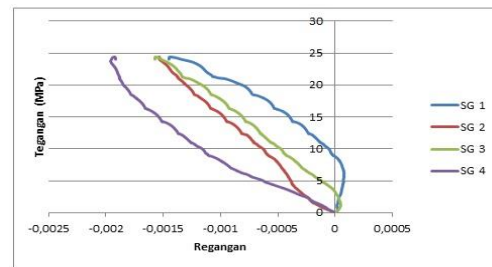
Nilai regangan untuk baja tulangan pokok hasilnya minus, hal ini dikarenakan baja tulangan pokok mengalami tekan. Dari besarnya nilai regangan baja pada tulangan pokok yang terbaca oleh *strain gauge* pada Tabel 4, nilainya lebih rendah dibandingkan dengan regangan leleh teoritis baja tulangan sebesar 0,001733. Pada benda uji KG1 baja tulangan menjadi tekuk akibat ditekan, hal ini menunjukkan bahwa baja tulangan yang tertekuk atau bengkok karena ditekan belum tentu sudah mencapai batas leleh.



Gambar 13 Grafik hubungan tegangan-regangan baja tulangan *strain gauge*- 5,6,7, dan 8 (Tul. Sengkang) KG1

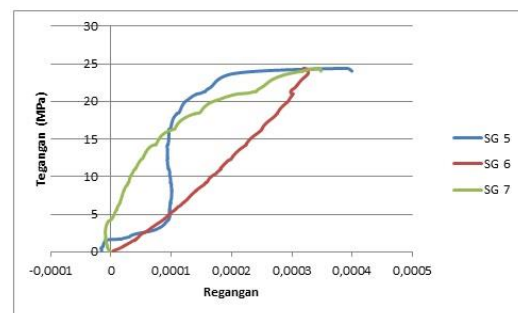
Dari besarnya nilai regangan baja tulangan yang terbaca oleh *strain gauge* pada Tabel

4, dapat disimpulkan bahwa regangan baja tulangan sengkang KG1 belum mencapai regangan leleh. Hal ini dapat dilihat dari nilai regangan pengujian lebih kecil dibandingkan dengan nilai regangan leleh teoritis baja tulangan sengkang sebesar 0,001559. Hal ini disebabkan karena kolom sudah mencapai tegangan maksimum sebelum baja tulangan mencapai batas regangan leleh.



Gambar 14 Grafik hubungan tegangan-regangan baja tulangan *strain gauge*- 1,2,3, dan 4 (Tul. Pokok) KG2

Nilai regangan untuk baja tulangan pokok hasilnya minus, hal ini dikarenakan baja tulangan pokok mengalami tekan. Dari besarnya nilai regangan baja pada tulangan pokok yang terbaca oleh *strain gauge* pada Tabel 4, nilainya lebih rendah dibandingkan dengan regangan leleh teoritis baja tulangan sebesar 0,001733. Pada benda uji KG2 baja tulangan menjadi tertekuk akibat ditekan, hal ini menunjukkan bahwa baja tulangan yang tertekuk atau bengkok karena ditekan belum tentu sudah mencapai batas leleh.



Gambar 15 Grafik hubungan tegangan-regangan baja tulangan *strain gauge*- 5,6, dan 7 (Tul. Sengkang) KG2

Dari besarnya nilai regangan baja tulangan yang terbaca oleh *strain gauge* pada Tabel 4, dapat disimpulkan bahwa regangan baja tulangan sengkang KG2 belum mencapai

regangan leleh. Hal ini dapat dilihat dari nilai regangan pengujian lebih kecil dibandingkan dengan nilai regangan leleh teoritis baja tulangan sengkang sebesar 0,001559. Hal ini disebabkan karena keruntuhan beton yang terjadi lebih dahulu sebelum baja tulangan mencapai batas leleh.

Dapat disimpulkan bahwa regangan baja tulangan benda uji yang diperkuat dengan *GFRP* nilainya lebih rendah dibandingkan dengan benda uji tanpa perkuatan *GFRP*, hal ini mungkin dikarenakan beton yang terkekang oleh *GFRP* sehingga menyebabkan baja tulangan seperti tulangan sengkang dan pokok ikut terkekang sehingga terjadinya peregangannya pada baja tulangan menjadi lebih kecil. Nilai regangan baja tulangan pokok dapat dilihat pada Tabel 4 sebagai berikut.

Tabel 4 Nilai regangan baja tulangan maksimum semua benda uji

Benda Uji	Strain gauge Tulangan Pokok			Strain gauge Tulangan Sengkang		
	Kode SG	Nilai Regangan	Rata-rata Regangan	Kode SG	Nilai Regangan	Rata-rata Regangan
KK	SG1 (tekan)	-0,001491	-0,001701	SG5 (tarik)	0,000779	0,000513
	SG2 (tekan)	-0,001257		SG6 (tarik)	0,000495	
	SG3 (tekan)	-0,002306		SG7 (tarik)	0,000265	
	SG4 (tekan)	-0,001750				
KG1	SG1 (tekan)	-0,002398	-0,002335	SG5 (tarik)	0,000901	0,000530
	SG2 (tekan)	-0,002422		SG6 (tarik)	0,000164	
	SG3 (tekan)	-0,002185		SG7 (tarik)	0,000462	
				SG8 (tarik)	0,000592	
KG2	SG1 (tekan)	-0,001451	-0,001618	SG5 (tarik)	0,000399	0,000355
	SG2 (tekan)	-0,001532		SG6 (tarik)	0,000318	
	SG3 (tekan)	-0,001373		SG7 (tarik)	0,000348	
	SG4 (tekan)	-0,001916				

Pada Tabel 4 dapat dilihat bahwa regangan baja pada tulangan tarik untuk kolom yang terkekang oleh *GFRP* nilainya lebih kecil dibandingkan dengan nilai regangan baja tulangan tarik kolom yang tidak terkekang, akan tetapi pada benda uji KG1 nilai regangan baja tulangan tarik sedikit lebih besar dibandingkan dengan benda uji KS, hal ini disebabkan beban yang diterima oleh benda uji KG1 lebih besar dari pada benda uji KS.

#### 4.2 Pola Keretakan Dan Kerusakan Kolom Beton Bertulang

##### Pola Kerusakan Benda Uji Kolom Standar (KS)

Kerusakan yang terjadi pada KS adalah kerusakan tekuk (*buckling*) pada daerah lapangan kolom dan saat beban maksimum terjadi kolom mengalami keruntuhan mendadak (*sudden failure*) disertai dengan suara ledakan keras akibat energi disipasi pada beton saat mengalami pembebanan, karena tidak memberikan tanda-tanda kerusakan seperti retakan atau terkelupasnya selimut beton, hal ini mungkin karena beton menjadi getas. Selain itu juga kerusakan yang terjadi pada benda uji KS adalah kerusakan tekuk (*buckling*) dan kegagalan kolom yang tidak terkekang (*unconfined concrete*) yang terjadi diakibatkan karena jarak tulangan sengkang yang berfungsi sebagai pengekang yang terlalu jauh, dimana jarak tulangan pengekang digunakan adalah 200 mm.

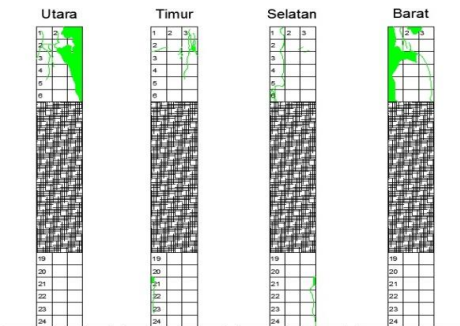


Gambar 16 Kerusakan KS

##### Pola Kerusakan Benda Uji Kolom Glass-1 (KG1)

Kerusakan kolom mengalami kegagalan material dimana kolom mengalami keretakan dan *spalling* pada bagian ujung kolom. Awalnya permukaan kolom mengalami retak rambut, dengan meningkatnya beban, penjarangan dan lebar retak permukaan makin banyak dan membesar hingga selimut beton terkelupas (*spalling*), hal ini dikarenakan posisi *load cell* yang tidak sentris dengan permukaan kolom, sehingga kerusakan hanya terjadi pada bagian atas kolom, untuk daerah lapangan yang diselimuti oleh *GFRP* tidak menunjukkan kerusakan sama sekali seperti terkelupasnya lapisan *GFRP* dengan beton atau sobeknya lapisan *GFRP* itu sendiri.

Hal ini membuktikan bahwa pengaruh *GFRP* sebagai pengekang terhadap kolom mampu merubah pola dan posisi kerusakan yang awalnya diperkirakan kerusakan akan terjadi pada bagian tengah kolom seperti benda uji KS berpindah ke bagian atas kolom.



Gambar 17 Pola keretakan KG1



Gambar 18 Kerusakan KG1

#### Pola Kerusakan Benda Uji Kolom *Glass-2* (KG2)

Kerusakan KG2 mengalami keruntuhan pada bagian bawah kolom. Awalnya pada bagian bawah mengalami retak rambut dengan arah horizontal (lentur), dengan meningkatnya beban, penjaralan dan lebar retak permukaan bagian bawah kolom makin banyak dan membesar, saat beban maksimum terjadi keruntuhan mendadak (*sudden failure*) disertai dengan suara ledakan keras akibat energi disipasi pada beton selama mengalami pembebanan. Untuk daerah lapangan yang diselimuti oleh *GFRP* tidak menunjukkan kerusakan sama sekali seperti terkelupasnya lapisan *GFRP* dengan beton atau sobeknya lapisan *GFRP* itu sendiri. Hal ini membuktikan bahwa pengaruh *GFRP* sebagai pengekang

terhadap kolom mampu merubah pola dan posisi kerusakan yang awalnya diperkirakan kerusakan akan terjadi pada bagian tengah kolom seperti benda uji KS berpindah ke bagian bawah kolom.



Gambar 19 Kerusakan KG2

## 5. SIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

- Perilaku kerusakan yang terjadi pada benda uji KS adalah kerusakan tekuk (*buckling*) pada daerah lapangan kolom, beton menjadi pecah dan terkelupas dari baja tulangan akibat tidak terkekang (*unconfined concrete*) dan mengalami keruntuhan mendadak (*sudden failure*).
- Perilaku kerusakan benda uji KG1 dan KG2 yang terjadi mengalami perubahan dari benda uji KS yaitu rusak bagian lapangan menjadi rusak pada bagian atas dan bawah. Hal ini dikarenakan pada bagian tengah kolom diperkuat dengan *GFRP* sehingga beton menjadi terkekang (*confined concrete*).
- Beban maksimum yang mampu ditahan oleh kolom, untuk benda uji KS sebesar 634,2333 KN, KG1 sebesar 847,7563 KN, dan benda uji KG2 sebesar 548,9146 KN.
- Penggunaan *GFRP* sebagai pengekang pada perkuatan sengkang kolom beton bertulang mampu meningkatkan kapasitas beban aksial kolom tersebut

dan kolom tidak mengalami kerusakan pada bagian yang terkekang dengan *GFRP*.

## 5.2 SARAN

Adapun, saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut.

- a. Pada penelitian selanjutnya untuk mendapatkan data regangan yang lebih akurat, sebaiknya pembebanan yang diberikan jangan hanya aksial saja tetapi diberikan juga beban dari arah samping (horizontal) agar tulangan longitudinal tidak hanya mengalami gaya tekan saja akan tetapi mengalami gaya tarik juga. Cara pemasangan dan penempatan *strain gauge* harus sangatlah diperhatikan, ketika salah tempat pemasangan maka hasil yang didapatkanpun tidak akurat dan pemasangannya harus sangat hati-hati sehingga regangan dapat dibaca dengan baik.
- b. Untuk penelitian selanjutnya apabila ingin menggunakan *GFRP* sebagai bahan perkuatan (*strengthening*) atau perbaikan (*retrofitting*) pada kolom, pemasangannya dilakukan dengan menyelimuti seluruh permukaan (*full wrap*) kolom, bukan hanya pada bagian tertentu saja, agar kapasitas beban aksialnya benar-benar tercapai.
- c. Untuk penelitian selanjutnya perlu diperhatikan jarak antar tulangan sengkang pada daerah tumpuan agar dihitung secara cermat dan jangan disamakan dengan jarak tulangan daerah lapangan agar tidak terjadi kerusakan pada bagian tumpuan terlebih dahulu dibandingkan dengan daerah lapangan dan juga agar tercapainya beban maksimum yang dihasilkan.

*Construction Of Externally Bonded FRP Systems For Strengthening Concrete Structure (ACI 440.2R-08) : Reported By ACI Committe 440, ACI Committe 440.*

- [2]Fitriana, N., Parang, H., dan Amiruddin, A.A., 2012, Perkuatan Kolom Bulat Dari Beton Bertulang Dengan *Glass Fibre Reinforced Polymer Sheet*, Universitas Hasanuddin, Makasar.
- [3]Fikri, A., dan Ratna, W., 2010, Studi Eksperimental Perkuatan Geser Balok Beton Bertulang Dengan *GFRP*, Universitas Lampung, Bandar Lampung
- [4]Ginardi, I.P., 2014, Perbandingan Kekuatan Lentur Balok Beton Bertulang Dengan Menggunakan Perkuatan *CFRP* Dan *GFRP*, *Jurnal Mahasiswa*, Vol.I No.2, Universitas Brawijaya, Malang.
- [5]Parmo dan Taufikurrahman., 2014, Perbaikan Kekuatan Dan Daktilitas Balok Beton Bertulang Menggunakan *Glass Fibre Reinforced Polymer Strips*, *Jurnal Ilmu Teknik*, Vol.X No.3, Universitas Wisnuwardhana, Malang.
- [6]Standar Nasional Indonesia, 2000, *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*, SNI 03-2834, Indonesia.
- [7]Standar Nasional Indonesia, 2013, *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*, SNI 03-2847, Indonesia.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]American Concrete Institute, 2008, *Guide For The Design And*