

Investigasi dan *Retrofitting* Struktur Balok, dan Kolom Beton Bertulang dengan *Glass Fiber Reinforced Polymer* (GFRP)

Arnaldo Clever¹⁾

Fikri Alami²⁾

Mohd Isneini³⁾

Abstract

The construction of educational hospital building Lampung University has been stalled and abandoned for years. There is a concern about the existing strength in the field. Therefore, it is necessary to evaluate and strengthen the structure for increasing the strenght and assuring appropriateness of the building. Two methods used in evaluating this buildings are direct survey method in the field and using FEA based analysis method. For strengthening calculation, the American Concrete Institute Regulation (ACI 440.2R, 2008) is applied. The main material for strengthening is Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP). From the data processing result, it was obtained that 46,5% of 43 first floor beam that were reviewed need reinforcement in the flexural area, and 21,95% from 41 basement column and the first floor need reinforcement in the axial area. In the calculation of flexural beam reinforcement, it can be obtained that at most 7 layes of GFRP material and 6 layers of CFRP material are used. Whereas in the calculation of axial column reinforcement, there are 8 layers of GFRP material and 7 layers of CFRP material. The flexural beam structure elemen strengthen in this study has a tensile collapse type and for axial reinforced column structure has a compressive collapse type.

Keywords : Structures Evaluation, Retrofitting Structures, GFRP, Concrete beam and Column.

Abstrak

Bangunan Rumah Sakit Pendidikan Universitas Lampung sudah cukup lama terhenti dan terbengkalai pembangunannya, sehingga memunculkan kekhawatiran akan kekuatan eksisting yang ada jika pembangunan dilakukan kembali. Oleh sebab itu, perlu dilakukan evaluasi dan perkuatan struktur untuk meningkatkan kekuatan dan kelayakan bangunan tersebut. Ada dua metode yang digunakan dalam mengevaluasi bangunan ini yaitu metode survey langsung di lapangan dan metode analisis menggunakan program berbasis FEA. Untuk perhitungan perkuatan digunakan peraturan American Concrete Institute (ACI 440.2R, 2008). Sedangkan material utama perkuatannya digunakan Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP). Dari hasil pengolahan data, didapatkan 46,5% dari 43 balok lantai 1 yang ditinjau membutuhkan perkuatan di daerah lentur dan 21,95% dari 41 kolom basement dan lantai 1 yang ditinjau membutuhkan perkuatan di daerah aksial. Pada perhitungan perkuatan balok lentur didapatkan paling banyak 7 lapis material GFRP dan 6 lapis untuk material CFRP. Sedangkan pada perhitungan perkuatan kolom aksial didapatkan paling banyak 8 lapis GFRP dan 7 lapis untuk material CFRP. Element struktur balok lentur yang diperkuat pada penelitian ini memiliki tipe keruntuhan tarik dan untuk struktur kolom aksial yang diperkuat memiliki tipe keruntuhan tekan.

Kata kunci : Evaluasi Struktur, Perkuatan Struktur, GFRP, Balok dan Kolom.

¹⁾ Mahasiswa pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Surel: ephanmt02@gmail.com

²⁾ Staf pengajar pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan. Prof. Sumantri Brojonegoro 1. Gedong Meneng Bandar Lampung. 35145.

³⁾ Staf pengajar pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan Prof. Sumantri Brojonegoro 1. Gedong Meneng Bandar Lampung. 35145.

1. PENDAHULUAN

Bandar Lampung merupakan salah satu kota yang maju di Indonesia. Di kota ini banyak sekali bangunan besar yang berdiri baik itu bangunan gedung, jembatan layang (*fly over*) dan lain-lain. Pertumbuhan pembangunan di kota ini pun terus bertambah terutama dibidang kesehatan. Hal ini dipicu oleh peningkatan angka jumlah penduduk yang terus bertambah. Salah satu pertumbuhan pembangunan dibidang kesehatan yaitu dengan dibangunnya Rumah Sakit Pendidikan Universitas Lampung.

Rumah Sakit Pendidikan Universitas Lampung seharusnya sudah menjadi salah satu rumah sakit yang ada di Bandar Lampung, namun pembangunan rumah sakit ini terhenti sejak beberapa tahun yang lalu. Pembangunan yang sudah berjalan hanyalah struktur bawah bangunan. Hal ini menyebabkan adanya perbedaan waktu pelaksanaan yang cukup panjang.

Jika pembangunan akan dilaksanakan kembali, maka diperlukan kajian-kajian dari berbagai aspek guna menunjang kesenjangan jarak pembangunan yang terjadi di lapangan. Evaluasi pada bangunan terbengkalai dilakukan untuk mengetahui kondisi struktur bangunan yang sudah berdiri. Evaluasi dilakukan secara keseluruhan secara visual maupun non-visual. Oleh karena itu, diperlukan investigasi serta *retrofitting* terkait kelayakan struktur bangunan tersebut.

Banyak metode *retrofitting* yang dikenal pada zaman ini, salah satunya yaitu dengan menggunakan material FRP (*Fiber Reinforced Polymer*). FRP sendiri memiliki beberapa jenis salah satunya yaitu GFRP (*Glass Fiber Reinforced Polymer*). Metode ini banyak digunakan di berbagai negara karena memiliki nilai yang cukup ekonomis dan dapat memperbaiki kekuatan hingga melebihi kekuatan awal rencana. Menurut Alami (2010) GFRP memiliki beberapa kelebihan seperti material yang tahan korosi, mempunyai kuat tarik yang tinggi, superior dalam daktilitas, beratnya yang ringan sehingga tidak memerlukan peralatan yang berat untuk membawanya ke perbaikan struktur, dan selain itu dalam pelaksanaan tidak mengganggu aktifitas yang ada pada daerah perbaikan struktur tersebut. Dengan metode inilah peneliti melakukan investigasi dan *retrofitting* terhadap struktur bagian bawah Rumah Sakit Pendidikan Universitas Lampung.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Evaluasi Struktur Gedung

Evaluasi pada bangunan terbengkalai dilakukan untuk mengetahui kondisi struktur bangunan yang sudah berdiri. Evaluasi dilakukan secara keseluruhan secara visual maupun non-visual. Pengamatan visual diperlukan sebagai tahapan awal untuk mendefinisikan permasalahan yang ada di lapangan. Dari pengamatan visual ini bisa didapatkan informasi mengenai tingkat layanan (*service ability*) dari komponen struktur, baik tidaknya pengerjaan pada saat pembangunan struktur/komponen struktur (misalnya ada bagian keropos dan "*honey combing*" pada beton material (misal pelapukan beton) maupun tingkat struktural (seperti retak-retak akibat lenturan pada struktur beton) (Lubis, 2003). Setelah itu baru kita lakukan evaluasi yang lebih mendalam dengan bantuan alat uji beton seperti *hammer test*

dan *ultrasonic pulse velocity* untuk mendapatkan kapasitas eksisting material yang sudah terpasang.

2.2 Struktur Gedung

a) Struktur Balok

Balok beton adalah bagian dari struktur yang berfungsi sebagai penyalur momen menuju struktur kolom. Balok dikenal sebagai elemen lentur, yaitu elemen struktur yang dominan memikul gaya dalam berupa momen lentur dan gaya geser (SNI 2847, 2013).

b) Struktur Kolom

Kolom adalah komponen struktur bangunan yang tugas utamanya menyangga beban aksial tekan vertikal dengan bagian tinggi yang tidak ditopang paling tidak tiga kali dimensi lateral terkecil. Fungsi kolom adalah sebagai penerus beban seluruh bangunan ke pondasi (SNI 2847, 2013).

2.3 Pembebanan Struktur

a) Beban Mati

Beban mati adalah seluruh beban konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafond, tangga, dinding partisi tetap, finishing, dan komponen arsitektural dan struktural lainnya serta peralatan pelayanan. (SNI 1727, 2013)

b) Beban Hidup

Beban hidup adalah beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir atau beban mati (SNI 1727, 2013)

c) Beban Gempa

Beban gempa adalah semua beban yang bekerja pada bangunan atau bagian bangunan dari pergerakan tanah akibat gempa itu. Pengaruh gempa pada penelitian ini ditentukan berdasarkan analisa dinamik.

d) Beban Angin

Beban angin merupakan beban yang diakibatkan oleh faktor lingkungan yaitu faktor angin itu sendiri. Beban angin ditentukan dengan menganggap adanya tekanan positif dan tekanan negatif (isapan), yang bekerja tegak lurus pada bidang-bidang yang ditinjau (PPIUG, 1983).

2.4 Perkuatan Struktur Gedung

a) Material Perkuatan

Material perkuatan struktur yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Fiber Reinforced Polymer* (FRP). Perkembangan pesat FRP terjadi sekitar tahun 1980-an terutama di Eropa dan Jepang. Jumlah proyek yang menggunakan material FRP meningkat secara drastis di seluruh dunia (ACI 440.2R, 2008). Hal ini dikarenakan material FRP memiliki beberapa kelebihan seperti kuat tariknya cukup tinggi, beratnya yang ringan, tidak memerlukan joint/sambungan meskipun bentang yang diperkuat cukup panjang, tidak berkarat, dan mudah dalam pengerjaannya.

b) Spesifikasi Material Perkuatan Yang Digunakan

Penelitian ini menggunakan material GFRP dari produk Tyfo S dengan tipe SEH-51 *Composite* dan CFRP dari produk Tyfo S dengan tipe SCH-41 *Composite* untuk

perhitungan perkuatannya. Jika dalam perhitungan perkuatan dengan menggunakan GFRP menghasilkan jumlah lapis yang terlalu banyak, maka peneliti menyiapkan material CFRP guna mendapatkan jumlah lapisan yang lebih efisien. Berikut Spesifikasi material kompositnya :

Tabel 1. Spesifikasi material GFRP yang digunakan

Karakteristik lapisan komposit (GFRP + Epoxy)			
Sifat	Metode ASTM	Nilai Test	Nilai Desain
Kuat Tarik	D-3039	575 MPa	460 MPa
Regangan	D-3039	2,2 %	1,76 %
Modulus Elastis	D-790	24,1 GPa	20,5 Gpa
Tebal Lapisan		1,3 mm	1,3 mm

Tabel 2. Spesifikasi material CFRP yang digunakan

Karakteristik lapisan komposit (CFRP + Epoxy)			
Sifat	Metode ASTM	Nilai Test	Nilai Desain
Kuat Tarik	D-3039	986 MPa	834 MPa
Regangan	D-3039	1,0 %	0,85 %
Modulus Elastis	D-790	95,8 GPa	82 Gpa
Tebal Lapisan		1,0 mm	1,0 mm

3. METODE PENELITIAN

3.1 Investigasi Lapangan

Adapun bangunan yang ingin diteliti berada di Jalan Professor Dr. Ir. Sumantri Brojonegoro No.1 Gedong Meneng, Rajabasa, Bandar Lampung, Lampung. Lokasi bangunan ini masih berada di area lingkungan kampus Universitas Lampung. Alat pengujian beton yang digunakan dilapangan adalah *Hammer Test* dan *Ultrasonic Pulse Velocity*, sedangkan alat uji tarik tulangan baja yang digunakan di lab adalah *Universal Test Machine*.

3.2 Metode Teoritis

Metode perhitungan perkuatan pada penelitian ini mengacu pada standar American Concrete Institute (ACI 440.2R, 2008), berikut metode teoritis yang dipergunakan :

a) Kekuatan lentur nominal (Mn)

Perkuatan lentur terpenuhi apabila nilai phi dikali momen nominal lebih besar dari momen ultimate ($\phi.Mn \geq Mu$), jika tidak maka $\phi.Mn$ didesain dengan menjumlahkan Mn dari tulangan dengan Mn dari perkuatan FRP (Mnf) yang dikalikan dengan factor reduksi ψf .

$$\phi.Mn = \phi.(A_s f_s (d - \frac{\beta_1 c}{2}) + \psi f A_f f_{fe} (h - \frac{\beta_1 c}{2}))$$

b) Kekuatan geser nominal (Vn)

Perkuatan geser bisa terpenuhi apabila nilai phi dikali geser nominal lebih besar dari geser ultimate ($\phi.Vn \geq Vu$). Jika tidak maka $\phi.Vn$ didesain dengan menjumlahkan Vn dari beton, tulangan, dan FRP.

$$\phi.Vn = \phi.(V_c + V_s + \psi f.V_f)$$

c) Debonding

Debonding adalah lepasnya ikatan antara beton dengan Fiber Reinforced Polymer (FRP). Debonding biasa terjadi dalam beberapa kejadian seperti lepasnya selimut beton pada ujung lapisan FRP, lepasnya FRP tanpa ikut lepasnya beton, Lepasnya FRP akibat retak geser lentur, dan lepasnya FRP akibat retak lentur murni.

3.3 Konsep Perkuatan

Setelah didapat hasil analisa kebutuhan perkuatan menggunakan material FRP, kemudian dilakukan pemasangan FRP dilapangan. Jika beton yang ingin diperkuat mengalami keropos atau berongga maka kita harus *grouting* beton tersebut dengan semen khusus. Setelah di *grouting*, bersihkan permukaan beton dan oleskan permukaan beton dengan *Epoxy*. Lalu tempel serat fiber pada permukaan beton yang sudah diberi *epoxy*, pastikan lapisan tersebut kedap udara agar tidak mudah terjadi debonding.

3.4 Langkah Penelitian

Langkah penelitian selengkapnya terdapat dalam bagan alir penelitian. Setelah mendapatkan data dari investigasi lapangan berupa data kuat tekan beton eksisting dan kuat tarik baja eksisting, maka dilakukan analisa menggunakan SAP2000v14 dan dilakukan perhitungan perkuatan FRP menggunakan ACI 440.2R-08.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Investigasi Lapangan

a) Pengamatan Visual

Pengamatan ini dilakukan untuk mengetahui kondisi lingkungan dan kondisi material eksisting terkini secara visual. Pada kondisi lingkungannya terlihat di sekeliling bangunan dipenuhi rumput dan tumbuhan liar karena sudah bertahun-tahun tidak terawat. Kemudian pada basement sebagian besar pelat digenangi oleh air dan sebagian lagi ditutupi lumpur. Lalu pada kondisi materialnya, terlihat banyak mengalami korosi sehingga terjadi pengecilan diameter tulangan walau sangat kecil dan pada struktur betonnya secara visual masih terlihat baik karena tidak terlihat adanya kerusakan ataupun retakan struktur disetiap elemen strukturnya.

b) Pengolahan Data Lapangan

Pengolahan data lapangan dilakukan untuk mencari nilai kuat tekan beton dari uji *Hammer Test* dan *Ultrasonic Pulse Velocity*, serta mendapatkan nilai kuat tarik baja tulangan dari uji *Universal Test Machine*. Berikut hasil dari pengolahan data lapangan yang didapat :

Tabel 3. Hasil uji *Hammer Test*

Elemen Struktur	Kuat Tekan Beton / f'_c (MPa)
Basement	
Pelat	21,2761

Dinding Geser	21,9892
<i>Retaining Wall</i>	24,1560
Kolom	22,1148
Lantai 1	
Pelat	17,9511
Dinding Geser	20,8418
Kolom	17,7447
Balok	24,5196

Tabel 4. Hasil uji *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV)

Elemen Struktur	Kuat Tekan Beton / f'_c (MPa)
Lantai 1	
Pelat	1,09
Kolom	33,23
Balok	22,30

Tabel 5. Hasil uji *Universal Test Machine* (UTM)

Sampel Uji	Diameter	Kuat Leleh (σ_y)	Kuat Tarik (σ_u)	Elongasi (ϵ)	Setara dengan spesifikasi
	(mm)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(%)	
S 10 A	10	432,9	656,6	18,4	BjTS 40
S 10 C	10	446,1	673,0	16,7	BjTS 40
S 22 A	22	489,4	595,3	19,4	BjTS 40
S 22 B	22	489,1	593,9	18,0	BjTS 40
S 22 C	22	493,8	600,7	18,7	BjTS 40

Dari hasil pengolahan data diatas, didapatkan kesimpulan bahwa nilai kuat tekan beton (f'_c) yang digunakan adalah hasil uji dari *hammer test* karena nilai dari pengujian UPV tidak maksimal. Kemudian untuk baja tulangan dapat disimpulkan bahwa nilai kuat leleh dan kuat tariknya masih setara dengan nilai perencanaan terdahulu.

4.2 Perhitungan Analisa Struktur

a) Pembebanan

Persyaratan pembebanan beban mati tambahan mengacu pada standar ASCE 7-10, beban hidup mengacu pada SNI 1727-2013, beban gempa mengacu pada SNI 03-1726-2012, dan beban angin mengacu pada PPIUG 1983.

b) Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang digunakan dalam analisa mengacu pada kombinasi beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur pada SNI 1727-2013.

c) Analisis Struktur Gedung menggunakan SAP2000v14

Langkah-langkah analisa gedung Rumah Sakit Pendidikan Universitas Lampung menggunakan program SAP2000v14 dilakukan setelah peneliti mendapatkan kuat tekan beton dan kuat tarik baja tulangan eksisting serta setelah mendapatkan gambar *shop drawing* bangunan yang ingin ditinjau.

d) Hasil Analisa SAP2000v14

1. Hasil Analisa pada Balok

Pada analisa balok menggunakan SAP2000v14 ini, balok yang ditinjau adalah balok lantai 1. Pada analisa lentur balok ini diambil nilai momen dari kombinasi pembebanan U2.

Tabel 6. Nilai momen maksimum balok

No.	Jenis Balok	Letak Pengujian	Momen Max Balok (kN-m)	
			Lapangan	Tumpuan
Lantai 1				
1	B1	D2 - D4	55,3504	267,2432
2	B2	B4' - C4'	78,4695	167,0177
3	G1	D4 - D6	407,4551	473,1942
4	G2	D6- E6	277,4750	524,9915
5	G3	D'2 - D'4	40,7432	128,3727

Tabel 7. Nilai geser maksimum balok

No.	Jenis Balok	Letak Pengujian	Geser Max Balok (kN)
Lantai 1			
1	B1	D2 - D4	213,523
2	B2	E''4 - E''4'	105,261
3	G1	D4 - D6	351,392
4	G2	D6 - E6	480,388
5	G3	D'2 - D'4	101,701

2. Hasil Analisa pada Kolom

Pada analisa kolom menggunakan SAP2000v14 ini, kolom yang ditinjau adalah kolom *basement* dan lantai 1. Pada analisa geser kolom ini diambil nilai geser dari kombinasi pembebanan U6.

Tabel 8. Nilai gaya geser maksimum kolom

No.	Jenis Kolom	Letak Pengujian	Geser Max Kolom (kN)	
			Major (V2)	Minor (V3)
Basement				
1	K1	D6	153,528	218,576
2	K2	B6	34,437	128,436
3	K5	D4	216,869	204,746
4	K6	B4	118,029	106,225
5	K8	F4	36,771	156,628
6	K9	A4	26,913	9,026

7	K11	E'4'	19,848	441,325
Lantai 1				
8	K3	J6	39,024	120,125
9	K4	G6	141,375	171,196
10	K7	H4	14,276	170,540
11	K10	K1	22,543	24,623

Tabel 9. Nilai rasio gaya aksial maksimum

No.	Jenis Kolom	Letak Pengujian	Rasio Max
Basement			
1	K1	D6	1,361
2	K2	B6	0,769
3	K5	D4	1,219
4	K6	B4	0,714
5	K8	E4	1,028
6	K9	A4	0,276
7	K11	E'6	0,398
Lantai 1			
8	K3	J2	0,388
9	K4	G6	1,269
10	K7	G4	1,133
11	K10	K1	0,455

e) Perhitungan *Shop Drawing*

Setelah mendapatkan gambar shop drawing, kuat tekan beton eksisting, serta kuat tarik baja tulangan eksisting, maka penulis dapat menghitung kapasitas lentur (M_n) serta geser (V_n) pada balok dan kolom. Berikut hasil analisa yang didapat :

Tabel 10. Perhitungan momen resultan pada balok ($\emptyset.M_n$)

No.	Jenis Balok	Tingkat	Momen Rencana (kNm)	
			Lapangan	Tumpuan
1	B1	Lantai 1	271,7799	260,7192
2	B2	Lantai 1	115,5778	108,4466
3	G1	Lantai 1	268,6144	380,1907
4	G2	Lantai 1	240,9346	240,9346
5	G3	Lantai 1	115,2382	108,4466

Tabel 11. Perhitungan gaya geser resultan pada balok ($\emptyset.V_n$)

No.	Jenis Balok	Tingkat	Gaya Geser (kN)
1	B1	Lantai 1	749,2680
2	B2	Lantai 1	341,8419

3	G1	Lantai 1	856,3063
4	G2	Lantai 1	695,1302
5	G3	Lantai 1	341,8419

Tabel 12. Perhitungan gaya geser resultan pada kolom ($\emptyset.V_n$)

No.	Jenis Kolom	Tingkat	Gaya Geser (kN)
1	K1	Basement	643,4664
2	K2	Basement	643,4664
3	K5	Basement	643,4664
4	K6	Basement	643,4664
5	K8	Basement	456,1429
6	K9	Basement	456,1429
7	K11	Basement	456,1429
8	K3	Lantai 1	565,6386
9	K4	Lantai 1	565,6386
10	K7	Lantai 1	565,6386
11	K8	Lantai 1	400,9720
12	K10	Lantai 1	349,4332

4.4 Analisa Perkuatan Struktur

Setelah penulis mendapatkan nilai-nilai dari hasil analisa *shop drawing* dan analisa SAP2000v14, lalu penulis mengklasifikasikan elemen struktur balok dan kolom mana saja yang membutuhkan perkuatan. Setelah itu dilakukan perhitungan perkuatan dengan material *Glass Fiber Reinforced Polymer* (GFRP) yang mengacu pada metode ACI 440.2R-08. Berikut hasil perhitungan kebutuhan FRP yang didapat :

1. Perkuatan Lentur pada Balok

Perkuatan ini diperlukan apabila momen resultan *shopdrawing* yang didapatkan lebih kecil dari momen ultimate hasil analisis menggunakan program SAP2000v14 ($\emptyset.M_n < M_u$).

Tabel 13. Kebutuhan FRP untuk perkuatan lentur pada balok Arah X

No	Jenis Balok	Letak Pengujian	Jumlah FRP (lapis)		Lebar FRP (mm)		Jenis FRP	
			Lap.	Tum.	Lap.	Tum.	Lap.	Tum.
Lantai 1								
1	G3	B'2 - B'4	-	1	-	250	-	GFRP
2	G1	C4 - C6	2	1	400	400	GFRP	GFRP
3	G3	C'2 - C'4	-	1	-	250	-	GFRP
4	B1	D2 - D4	-	1	-	350	-	GFRP
5	G1	D4 - D6	5	1	400	400	GFRP	GFRP
6	G3	D'2 - D'4	-	1	-	250	-	GFRP
7	G3	E'''2 - E'''4	2	-	250	-	GFRP	-

Tabel 14. Kebutuhan FRP untuk kekuatan lentur pada balok Arah Y

No	Jenis Balok	Letak Pengujian	Jumlah FRP (lapis)		Lebar FRP (mm)		Jenis FRP	
			Lap.	Tum.	Lap.	Tum.	Lap.	Tum.
Lantai 1								
1	G2	B2 - C2	-	1	-	350	-	GFRP
2	G2	D2 - E2	-	1	-	350	-	GFRP
3	G2	E2 - F2	-	1	-	350	-	GFRP
4	G2	B4 - C4	1	3	350	350	GFRP	CFRP
5	G2	C4 - D4	1	3	350	350	GFRP	CFRP
6	G2	D4 - E4	1	3	350	350	GFRP	CFRP
7	G2	E4 - F4	-	2	-	350	-	GFRP
8	B2	B4' - C4'	-	5	-	250	-	GFRP
9	B2	C4' - D4'	-	1	-	250	-	GFRP
10	B2	D4' - E4'	-	5	-	250	-	GFRP
11	G2	B6 - C6	-	7	-	350	-	GFRP
12	G2	C6 - D6	-	3	-	350	-	CFRP
13	G2	D6 - E6	1	6	350	350	GFRP	CFRP

2. Perkuatan Geser pada Balok

Perkuatan ini diperlukan apabila gaya geser resultan *shopdrawing* yang didapatkan lebih kecil dari gaya geser ultimate hasil analisis menggunakan program SAP2000v14 ($\phi \cdot V_n < V_u$).

Tabel 15. Kebutuhan FRP untuk perkuatan geser max pada balok

No	Jenis Balok	Letak Uji	Geser Balok (kN)		Kebutuhan Perkuatan
			Ø.Vn	Vu	
Lantai 1					
1	B1	D2 - D4	749,2680	213,523	Tidak
2	B2	E''4 - E''4'	341,8419	105,261	Tidak
3	G1	D4 - D6	856,3063	351,392	Tidak
4	G2	D6 - E6	695,1302	480,388	Tidak
5	G3	D'2 - D'4	341,8419	101,701	Tidak

3. Perkuatan Geser pada Kolom

Perkuatan ini diperlukan apabila gaya geser resultan *shopdrawing* yang didapatkan lebih kecil dari gaya geser ultimate hasil analisis menggunakan program SAP2000v14 ($\phi \cdot V_n < V_u$).

Tabel 16. Kebutuhan FRP untuk perkuatan geser max pada kolom

No	Jenis Kolom	Letak Uji	Geser Kolom (kN)				Kebutuhan Perkuatan
			Ø.Vn	Major (V2)	Ø.Vn	Minor (V3)	
Basement							
1	K1	D6	643,466	153,528	643,466	218,576	Tidak
2	K2	B6	643,466	34,437	643,466	128,436	Tidak
3	K5	D4	643,466	216,869	643,466	204,746	Tidak
4	K6	B4	643,466	118,029	643,466	106,225	Tidak
5	K8	F4	456,143	36,771	456,143	156,628	Tidak
6	K9	A4	456,143	26,913	456,143	9,026	Tidak
7	K11	E'4'	456,143	19,848	456,143	441,325	Tidak
Lantai 1							
8	K3	J6	565,639	39,024	565,639	120,125	Tidak
9	K4	G6	565,639	141,375	565,639	171,196	Tidak
10	K7	H4	565,639	14,276	565,639	170,540	Tidak
11	K10	K1	349,433	22,543	349,433	24,623	Tidak

4. Perkuatan Aksial pada Kolom

Perkuatan ini diperlukan apabila nilai rasio aksial kolom yang didapatkan dari hasil analisis menggunakan program SAP2000v14 melebihi angka 1 (rasio > 1).

Tabel 17. Kebutuhan FRP untuk perkuatan aksial pada kolom

No	Jenis Kolom	Letak Uji	Rasio	Perkuatan Rencana (%)	Jumlah FRP (lapis)	Jenis FRP	Keruntuhan
Basement							
1	K5	C4	1,186	20	4	GFRP	Tekan
2	K1	C6	1,203	25	4	GFRP	Tekan
3	K5	D4	1,219	25	5	CFRP	Tekan
4	K1	D6	1,361	40	7	CFRP	Tekan
5	K8	E4	1,028	10	4	GFRP	Tekan
Lantai 1							
6	K7	G4	1,133	20	8	GFRP	Tekan
7	K4	G6	1,269	30	4	CFRP	Tekan
8	K7	H4	1,065	10	5	GFRP	Tekan
9	K4	H6	1,153	20	8	GFRP	Tekan

Dari hasil tabel diatas disimpulkan bahwa kondisi balok dan kolom geser eksisting yang sudah terpasang pada gedung 1 Rumah Sakit Pendidikan Universitas Lampung (RSP UNILA) mampu menahan gaya geser ultimate ($\phi V_n > V_u$). Sehingga kebutuhan perkuatan geser pada balok dan kolom tidak diperlukan.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan, dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil investigasi lapangan secara *visual* pada Rumah Sakit Pendidikan Universitas Lampung (RSP UNILA) terlihat buruk dikarenakan kondisi lingkungan yang tidak terawat selama bertahun-tahun sehingga banyak ditumbuhi tumbuhan liar disekitar maupun didalam gedung, bahkan pada *basement* digenangi air dan lumpur. Selain itu, banyak tulangan yang sudah dipasang di lapangan namun belum di cor beton sehingga tulangan mengalami korosi
2. Berdasarkan hasil pengolahan data lapangan, didapatkan kuat tekan beton eksisting (semua $f'c \leq 25$ MPa) pada pelat, kolom, balok, dinding geser, dan *retaining wall* baik di basement maupun di lantai 1 mengalami pengurangan dari kuat tekan beton rencananya ($f'c = 25$ MPa). Sedangkan pada sampel baja tulangan yang diuji, ternyata kuat lelehnya masih baik ($f_y \geq 400$ MPa) dan masih setara dengan spesifikasi baja rencana yaitu BJTS 40
3. Pada analisis perkuatan balok lantai 1 dapat disimpulkan bahwa kondisi eksisting yang terpasang telah mengalami penurunan kualitas, dikarenakan momen rencana *shop drawing* yang didapatkan lebih besar dibandingkan dengan momen *ultimate* eksisting yang ada di lapangan ($\phi M_n \geq M_u$) sehingga membutuhkan perkuatan lentur di beberapa balok. Sedangkan pada analisis balok geser sudah memenuhi syarat, dimana gaya geser *ultimate* eksisting yang ada di lapangan lebih besar dibandingkan gaya geser rencana *shop drawing* ($\phi V_n \leq V_u$) sehingga tidak membutuhkan perkuatan
4. Pada analisis perkuatan kolom *basement* dan lantai 1 juga dapat disimpulkan bahwa kondisi eksisting yang terpasang telah mengalami penurunan kualitas, dikarenakan pada analisis beban aksial kolom terdapat nilai rasio yang melebihi angka *safety factor* ($ratio > 1$) sehingga membutuhkan perkuatan aksial di beberapa kolom. Sedangkan pada analisis kolom geser sudah memenuhi syarat, dimana gaya geser *ultimate* eksisting yang ada di lapangan lebih besar dibandingkan gaya geser rencana *shop drawing* ($\phi V_n \leq V_u$) sehingga tidak membutuhkan perkuatan.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI 440.2R-08, 2008, *Guide For Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems For Strengthening Concrete Structures*, Farmington Hills.
- SNI 1727-2013, 2013, *Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain*, Jakarta.
- SNI 2847-2013, 2013, *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*, Jakarta.
- SNI 1726-2012, 2012, *Tata Cara Perancangan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*, Jakarta.
- PPIUG, 1983, *Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung*, Bandung.
- Basuki, Ariyadi. 2005. *Sistem Penguatan Stuktur Beton Menggunakan Serat Polimer*. Berita Teknologi Bahan dan Barang Teknik No. 19/2005.
- Alami, F., 2010, *Perkuatan Lentur Balok Beton Bertulang dengan Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP)*, Seminar dan pameran HAKI.