

Evaluasi dan Perkuatan Struktur Pelat, dan Dinding Geser dengan *Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP)*

Stephanus Martua Turnip¹⁾

Fikri Alami²⁾

Ratna Widyawati³⁾

Abstract

The Education hospital building of University of Lampung has been stalled and the construction is abandoned for years. So that, there is concern about the existing strength installed in the field. Therefore, it is necessary to evaluate and to strengthen the structure for increasing the strength and assuring appropriateness of the building. Two methods used in evaluating this building which were direct survey method in the field and numerical method used the Finite Element Analysis (FEA) program. For strengthening calculations the American Concrete Institute code was applied (ACI 440.2R, 2008). The material for strengthening used Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP).

The results showed that the existing concrete compressive strength on all structural elements decreased from the design which was 25 MPa. However, the existing steel reinforcement tests showed good strength which greater than design strength of 400 Mpa. In strengthening calculation with GFRP type of SEH-51A which has tensility strength of 460 MPa, the material can increase flexural strength of several slabs that required for strengthening. In addition, in the shear wall analysis, it concluded that the existing shear wall were strong enough to withstand the nominal shear forces design that might be occurred.

Keywords : *Structures Evaluation, Strengthening Structures, Glass Fiber Reinforced Polymers, Concrete Slab and Shear Walls.*

Abstrak

Bangunan Rumah Sakit Pendidikan Universitas Lampung sudah cukup lama terhenti dan terbengkalai pembangunannya, sehingga memunculkan kekhawatiran akan kekuatan eksisting yang sudah terpasang di lapangan. 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 numerik menggunakan *Finite Element Analysis* (FEA) program. Untuk perhitungan perkuatan digunakan peraturan American Concrete Institute (ACI 440.2R, 2008). Sedangkan material perkuatannya digunakan Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP). Dari hasil pengambilan data lapangan, didapatkan kuat tekan beton eksisting pada semua elemen struktur mengalami pengurangan dari kuat tekan beton rencananya ($f'_c = 25$ MPa). Sedangkan pada tulangan baja yang diuji, ternyata kuat tariknya masih baik ($f_y \geq 400$ MPa) setara dengan spesifikasi baja rencana yaitu BJTS 40. Pada perhitungan perkuatan dengan material GFRP tipe SEH-51A yang memiliki nilai kuat tarik desain 460 MPa, ternyata material tersebut mampu meningkatkan kekuatan lentur pada beberapa pelat yang membutuhkan perkuatan. Selain itu, dalam analisis dinding geser, disimpulkan bahwa dinding geser yang ada cukup kuat untuk menahan desain gaya geser nominal yang mungkin terjadi.

Kata kunci : *Evaluasi Struktur, Perkuatan Struktur, Glass Fiber Reinforced Polymer, Pelat dan Dinding Geser.*

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. Gedung Meneng Bandar Lampung. 35145.

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

1. PENDAHULUAN

Bandar Lampung merupakan salah satu kota besar di Indonesia dan berperan penting sebagai pintu gerbang pulau Sumatera. Maka seiring berjalannya waktu, pembangunan di Bandar Lampung berjalan sangat pesat. Pertumbuhan jumlah penduduk di Bandar Lampung pun dinilai tinggi sehingga mengakibatkan peningkatan kebutuhan-kebutuhan masyarakat terutama dalam bidang kesehatan. Maka dari itu dibangunlah Rumah Sakit Pendidikan Universitas Lampung (RSP UNILA) untuk memenuhi kebutuhan kesehatan masyarakat terkhususnya bagi warga Bandar Lampung.

Namun pada proses pembangunannya, proyek ini terhenti dalam beberapa tahun terakhir. Pembangunan yang sudah berjalan baru sampai pada struktur *basement* dan sebagian lantai satu. Hal ini memunculkan kekhawatiran akan kekuatan struktur yang sudah terpasang karena struktur yang tidak terawat dapat menyebabkan penurunan kualitas pada beton maupun tulangan bajanya. Oleh karena itu perlu dilaksanakan evaluasi dan perkuatan struktur terkait kelayakan bangunan tersebut.

Perkuatan struktur sendiri merupakan pengembalian atau penambahan kekuatan pada struktur bangun yang diakibatkan dari beberapa faktor. Perkuatan struktur dilakukan untuk bangunan yang riskan terhadap beban baru yang akan harus didukung, sehingga perlu meningkatkan kemampuan bangunan tersebut atau menambahkan elemen struktur baru yang tidak tersedia atau dianggap tidak ada pada saat struktur di bangun. Perkuatan atau perbaikan dapat juga dilakukan jika adanya perubahan peraturan – peraturan teknis yang berhubungan dengan struktur (Triwiyono, 2004).

Di zaman modern ini, banyak sekali metode perkuatan yang dapat digunakan untuk memperkuat suatu bangunan. Salah satunya yaitu dengan material *Fiber Reinforced Polymer* (FRP). Material ini sering digunakan di negara maju karena memiliki banyak kelebihan. Material FRP memiliki beberapa kelebihan seperti tahan korosi, kuat tarik yang tinggi, superior dalam daktilitas, berat yang ringan dan pelaksanaannya tidak mengganggu aktifitas yang ada pada daerah perbaikan struktur tersebut (Alami, 2010). Namun harga material FRP masih dinilai lebih mahal dibandingkan dengan material-material perkuatan yang menggunakan baja ataupun beton. Dengan keunikan material inilah peneliti melakukan perkuatan struktur pada bangunan Rumah Sakit Pendidikan Universitas Lampung (RSP UNILA).

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Evaluasi Struktur Gedung

Evaluasi struktur bangunan perlu dilakukan terutama pada bangunan gedung yang berfungsi untuk melayani kepentingan umum. Evaluasi struktur sendiri merupakan proses penilaian kelayakan struktur apakah sesuai atau tidak dengan standar yang berlaku. Maka ketika gedung yang sudah terbengkalai dalam waktu yang cukup lama ingin difungsikan kembali, kita harus melakukan pemeriksaan terlebih dahulu kekuatan struktur yang ada. Namun sebelum melakukan evaluasi secara menyeluruh, diperlukan evaluasi secara visual sebagai tahap awal pemeriksaan struktur. Dari pengamatan visual kita mendapatkan informasi mengenai kondisi sekitar bangunan, kondisi material struktur, baik tidaknya pengerjaan pada saat pembangunan struktur dahulu (apakah terjadi keropos beton atau pelapukan

beton), hingga tingkat struktural eksisting saat ini (apakah terjadi retak akibat lenturan/geser pada struktur beton). 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 Pelat

Pelat beton bertulang dalam suatu struktur dipakai sebagai lantai dan bertumpu pada balok di keempat sisinya. Berdasarkan geometrinya pelat terbagi menjadi dua yaitu pelat satu arah ($L_y/L_x \geq 2$) dan pelat dua arah ($L_y/L_x < 2$).

b) Struktur Dinding Geser

Dinding geser merupakan elemen struktur vertikal yang digunakan pada bangunan tingkat tinggi. Fungsi utama dari dinding geser adalah menahan beban lateral seperti gaya gempa dan angin. Berdasarkan geometrinya dinding geser terbagi menjadi tiga yaitu dinding langsing ($h_w/l_w \geq 2$), dinding pendek ($h_w/l_w \leq 2$), dan dinding berangkai.

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-51A untuk perhitungan perkuatannya. Tipe GFRP ini dinilai cukup memungkinkan untuk meningkatkan kebutuhan lentur pada pelat dan kebutuhan geser pada *shearwall*. 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

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 (M_n)

Perkuatan lentur terpenuhi apabila nilai phi dikali momen nominal lebih besar dari momen ultimate ($\phi.M_n \geq M_u$), jika tidak maka $\phi.M_n$ didesain dengan menjumlahkan M_n dari tulangan dengan M_n dari perkuatan FRP (M_{nf}) yang dikalikan dengan factor reduksi ψ_f .

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

b) Kekuatan geser nominal (V_n)

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

$$\phi.V_n = \phi.(V_c + V_s + \psi_f.V_f)$$

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 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 elmen 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 2. 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

Tabel 2. Hasil uji *Hammer Test* (lanjutan)

Elemen Struktur	Kuat Tekan Beton / f'_c (MPa)
Dinding Geser	20,8418
Kolom	17,7447
Balok	24,5196

Tabel 3. 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 4. Hasil uji *Universal Test Machine* (UTM)

Sampel Uji	Diamete r (mm)	Kuat Leleh (σ_y) (N/mm ²)	Kuat Tarik (σ_u) (N/mm ²)	Elongasi (ϵ) (%)	Setara dengan spesifikasi
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 Pelat

Pada analisa pelat menggunakan SAP2000v14 ini, pelat 120 mm lantai satu didesain melayang dengan diberi beban mati dan beban hidup. Sedangkan pada pelat 200 mm baik di basement maupun di lantai satu didesain dalam dua keadaan ekstrim yaitu dalam keadaan melayang (beban mati dan beban hidup) dan dalam keadaan diatas permukaan tanah berpasir dengan pembebanan beban mati dan nilai daya dukung tanah dengan besar koefisien reaksi subgrade $k_s = 80000 \text{ kN/m}^3$ (Bowles, 1997).

Tabel 5. Tabel nilai momen kondisi pelat melayang

No.	Letak Pengujian	Momen Arah X / M11 (kN-m)		Momen Arah Y / M22 (kN-m)	
		lapangan	tumpuan	lapangan	tumpuan
Basement					
1	B2.B4 - C2.C4	16,28	40,23	14,29	45,01
2	B4.B6 - C4.C6	16,92	40,23	26,76	49,79
3	C2.C4 - D2.D4	15,44	40,23	13,15	45,01
4	C4.C6 - D4.D6	19,28	40,23	25,76	49,79
5	D2.D4 - E2.E4	15,36	40,07	12,47	44,88
6	D4.D6 – E4.E6	18,09	40,07	25,05	58,65
7	E2.E4 - F2.F4	16,66	31,53	15,02	39,48
8	E4.E4c - F4.F4c	9,40	46,54	11,41	39,48
Lantai 1					
9	B2.B4 - C2.C4	5,80	11,72	7,88	11,77
10	B4.B6 - C4.C6	6,20	11,72	7,86	11,77
11	C2.C4 - D2.D4	4,80	14,33	7,00	11,77
12	C4.C6 - D4.D6	7,41	14,33	7,74	11,77
13	D2.D4 - E2.E4	5,47	12,79	7,44	11,73
14	D4.D6 – E4.E6	7,11	12,79	9,45	11,73
15	E2.E4 - F2.F4	5,01	9,84	6,00	15,09
16	E4.E4c - F4.F4c	4,63	13,15	3,31	15,09
17	F2.F4 - G2.G4	11,42	36,13	14,83	42,86
18	F4.F6 - G4.G6	18,50	36,13	29,79	65,04
19	G2.G4 - H2.H4	12,40	41,98	12,46	42,86
20	G4.G6 - H4.H6	17,05	36,13	24,27	49,70
21	H2.H4 - J2.J4	13,42	41,98	12,94	42,13
22	H4.H6 - J4.J6	15,80	35,46	25,80	48,47

Tabel 6. Tabel nilai momen kondisi pelat diatas permukaan tanah

No.	Letak Pengujian	Momen Arah X / M11 (kN-m)		Momen Arah Y / M22 (kN-m)	
		lapangan	tumpuan	lapangan	tumpuan
<i>Basement</i>					
1	B2.B4 - C2.C4	0,93	3,00	0,37	1,36
2	B4.B6 - C4.C6	2,34	2,05	0,57	1,90
3	C2.C4 - D2.D4	0,50	3,77	0,30	1,19
4	C4.C6 - D4.D6	2,34	2,15	0,45	1,90
5	D2.D4 - E2.E4	0,92	3,00	0,37	1,36
6	D4.D6 – E4.E6	2,31	3,55	0,38	1,91
7	E2.E4 - F2.F4	0,50	3,75	0,28	1,36
8	E4.E4c - F4.F4c	4,40	0,97	0,79	2,03
<i>Lantai 1</i>					
17	F2.F4 - G2.G4	14,50	18,89	13,22	2,03
18	F4.F6 - G4.G6	14,61	17,07	9,12	1,69
19	G2.G4 - H2.H4	3,48	3,10	8,21	2,33
20	G4.G6 - H4.H6	3,49	3,05	8,06	2,34
21	H2.H4 - J2.J4	3,48	3,11	8,21	2,33
22	H4.H6 - J4.J6	3,50	3,03	8,07	2,34

2. Hasil analisa pada dinding geser

Tabel 7. Tabel gaya geser pada dinding

Tabel 4.1. Gaya geser pada dinding			
No.	Nama	Tingkat	Gaya Geser (kN)
	Dinding		
1	SW 1	Basement	199,28
2	SW 2	Lantai 1	39,60
3	SW 3	Basement	69,74
4	SW 4	Basement	140,9
5	SW 5	Basement	137,13

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 (Mn) pada pelat dan kapasitas geser pada dinding (Vn). Berikut hasil analisa yang didapat :

Tabel 8. Perhitungan momen nominal pada pelat ($\emptyset$.Mn)

No.	Tebal Pelat (mm)	Tingkat	Arah Sumbu	Momen Rencana (kNm)	Keterangan
1	120	Lantai 1	X (M11)	11,29	Nilai ($\emptyset$.Mn) pada daerah lapangan sama dengan nilai ($\emptyset$.Mn) pada daerah tumpuan dikarenakan diameter tulangan dan jarak antar tulangan sama yaitu D10 – 200.
2	120	Lantai 1	Y (M22)	12,71	
3	200	Lantai 1	X (M11)	22,61	
4	200	Lantai 1	Y (M22)	24,02	
5	200	Basement	X (M11)	22,72	
6	200	Basement	Y (M22)	24,14	

Tabel 9. Perhitungan gaya geser nominal pada dinding ($\emptyset$.Vn)

No.	Letak Pengujian	Tingkat	$\emptyset$.Vn (kN)
1	SW 1	Basement	3808,93
2	SW 2	Lantai 1	3808,93
3	SW 3	Basement	1693,50
4	SW 4	Basement	1572,86
5	SW 5	Basement	1572,86

4.4 Analisa Perkuatan Struktur

Setelah penulis mendapatkan nilai-nilai dari hasil analisa *shop drawing* dan analisa SAP2000v14, lalu penulis mengklasifikasikan elemen struktur pelat dan dinding 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 GFRP yang didapat :

Tabel 10. Kebutuhan GFRP untuk perkuatan lentur pada pelat Arah X (M11)

Nomor pelat	Letak Pengujian	Daerah	Tebal Pelat	Jumlah FRP (lapis)	Lebar FRP (mm/m)
<i>Basement</i>					
1	B2.B4-C2.C4	Tumpuan	200	2	600
2	B4.B6-C4.C6	Tumpuan	200	2	600
3	C2.C4-D2.D4	Tumpuan	200	2	600
4	C4.C6-D4.D6	Tumpuan	200	2	600
5	D2.D4-E2.E4	Tumpuan	200	2	600
6	D4.D6-E4.E6	Tumpuan	200	2	600
7	E2.E4-F2.F4	Tumpuan	200	1	500
8	E4.E4c-F4.F4c	Tumpuan	200	2	800
<i>Lantai 1</i>					
9	B2.B4 - C2.C4	Tumpuan	120	1	200
10	B4.B6 - C4.C6	Tumpuan	120	1	200

Tabel 10. Kebutuhan GFRP untuk perkuatan lentur pada pelat Arah X (M11)
(lanjutan)

Nomor pelat	Letak Pengujian	Daerah	Tebal Pelat	Jumlah FRP (lapis)	Lebar FRP (mm/m)
11	C2.C4-D2.D4	Tumpuan	120	1	200
12	C4.C6-D4.D6	Tumpuan	120	1	200
13	D2.D4 - E2.E4	Tumpuan	120	1	200
14	D4.D6 – E4.E6	Tumpuan	120	1	200
16	E4.E4c-F4.F4c	Tumpuan	120	1	200
17	F2.F4-G2.G4	Tumpuan	200	2	800
18	F4.F6-G4.G6	Tumpuan	200	1	900
19	G2.G4-H2.H4	Tumpuan	200	2	800
20	G4.G6-H4.H6	Tumpuan	200	1	900
21	H2.H4-J2.J4	Tumpuan	200	2	700
22	H4.H6-J4.J6	Tumpuan	200	1	900

Tabel 11. Kebutuhan GFRP untuk perkuatan lentur pada pelat Arah Y (M22)

Nomor pelat	Letak Pengujian	Daerah	Tebal Pelat	Jumlah FRP (lapis)	Lebar FRP (mm/m)
		Basement			
1	B2.B4-C2.C4	Tumpuan	200	2	800
2	B4.B6-C4.C6	Tumpuan	200	2	1000
3	C2.C4-D2.D4	Tumpuan	200	2	800
4	C4.C6-D4.D6	Tumpuan	200	2	1000
5	D2.D4-E2.E4	Tumpuan	200	2	800
6	D4.D6-E4.E6	Tumpuan	200	3	900
7	E2.E4-F2.F4	Tumpuan	200	2	600
8	E4.E4c-F4.F4c	Tumpuan	200	2	600
		Lantai 1			
15	E2.E4-F2.F4	Tumpuan	120	1	100
16	E4.E4c-F4.F4c	Tumpuan	120	1	100
17	F2.F4-G2.G4	Tumpuan	200	2	800
18	F4.F6-G4.G6	Tumpuan	200	4	800
19	G2.G4-H2.H4	Tumpuan	200	2	700
20	G4.G6-H4.H6	Tumpuan	200	2	900
21	H2.H4-J2.J4	Tumpuan	200	2	700
22	H4.H6-J4.J6	Tumpuan	200	2	900

Tabel 12. Kebutuhan GFRP untuk perkuatan geser pada dinding

No.	Letak Pengujian	Tingkat	Gaya Geser (kN)		Kebutuhan Perkuatan
			$\phi.V_n$	V_u	
1	SW 1	<i>Basement</i>	3808,93	199,28	Tidak
2	SW 2	Lantai 1	3808,93	39,60	Tidak
3	SW 3	<i>Basement</i>	1693,50	69,74	Tidak
4	SW 4	<i>Basement</i>	1572,86	140,90	Tidak
5	SW 5	<i>Basement</i>	1572,86	137,13	Tidak

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

5. KESIMPULAN

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

1. Hasil investigasi visual pada Rumah Sakit Pendidikan Universitas Lampung (RSP UNILA) terlihat buruk karena kondisi lingkungannya tidak terawat selama bertahun-tahun sehingga banyak ditumbuhi tumbuhan liar disekitar dan didalam gedung, bahkan pada *basement* digenangi air dan lumpur. Selain itu pada tulangan baja terlihat mengalami korosi, dan juga banyak tulangan yang sudah dipasang dilapangan namun belum di cor beton sehingga terlihat terbengkalai
2. Berdasarkan hasil pengolahan data lapangan, didapatkan kuat tekan beton eksisting (semua $f'_c \leq 25$ MPa) pada pelat, balok, kolom, 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 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. Analisa perkuatan pada pelat (200 mm) dilakukan dalam dua keadaan ekstrim yaitu dalam keadaan melayang dan dalam keadaan diatas permukaan tanah berpasir. Pada Tabel 4.9 s.d. Tabel 4.12 terlihat bahwa pelat yang didesain melayang membutuhkan perkuatan di beberapa titik, sedangkan pada pelat yang didesain berada di atas permukaan tanah tidak ada yang membutuhkan perkuatan. Berikut daerah pelat yang membutuhkan perkuatan saat didesain dalam keadaan melayang.

Tabel 13. Kesimpulan perkuatan pelat

Kebutuhan Perkuatan	Daerah Lapangan	Daerah Tumpuan
Arah X	-	Pelat 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 21, dan 22
Arah Y	Pelat 2, 4, 6, 18, dan 22	Pelat 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, dan 22

Dari tabel di atas terlihat bahwa kebutuhan perkuatan pelat daerah tumpuan arah X maupun Y sangat besar dibanding kebutuhan pada daerah lapangan, bahkan pada daerah lapangan arah X tidak dibutuhkan perkuatan pelat sama sekali

4. Pada pengerjaan perkuatan dilapangan, pelat 200 mm daerah lapangan arah Y / M22 tidak bisa menggunakan material FRP sebagai material perkuatannya karena pelat berada tepat diatas tanah sehingga tidak memungkinkan dilakukan pemasangan FRP, maka dari itu disarankan dilakukan perkuatan dengan metode yang perkuatan yang lain.
5. Pada analisis perkuatan pada dinding geser dapat disimpulkan bahwa kondisi dinding eksisting yang terpasang, baik yang ada di basement maupun di lantai 1 masih dianggap baik dan mampu menahan gaya geser ultimate yang ada karena berdasarkan perhitungan gaya geser nominalnya masih lebih besar dibandingkan gaya geser ultimate ($\phi V_n \geq V_u$) sehingga tidak dibutuhkan perkuatan geser.

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.
- PPIUG, 1983, *Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung*, Bandung.
- Bowles, J.E., 1997, *Foundation Analysis and Design 5th Ed*, McGraw-Hill, Singapore.
- Triwiyono, A., 2004, *Perbaikan dan Perkuatan Struktur Beton*, Topik Spesial, Teknik Struktur, Program Pascasarjana UGM, Yogyakarta.
- Alami, F., 2010, *Perkuatan Lentur Balok Beton Bertulang dengan Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP)*, Seminar dan pameran HAKI.