

**EVALUASI DAN PERKUATAN STRUKTUR PELAT, DAN DINDING
GESER DENGAN *GLASS FIBER REINFORCED POLYMER* (GFRP)**

(Skripsi)

Oleh :

STEPHANUS MARTUA TURNIP



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2019**

ABSTRAK

EVALUASI DAN PERKUATAN STRUKTUR PELAT, DAN DINDING GESER DENGAN *GLASS FIBER REINFORCED POLYMER* (GFRP)

Oleh

STEPHANUS MARTUA TURNIP

Bangunan Rumah Sakit Pendidikan Universitas Lampung sudah cukup lama terhenti dan terbengkalai pembangunannya, sehingga memunculkan kekhawatiran akan kekuatan eksisting yang sudah terpasang dilapangan. 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 ($f_y = 400$ 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

ABSTRACT

EVALUATING AND STRENGTHENING THE CONCRETE SLAB, AND THE SHEAR WALL WITH *GLASS FIBER REINFORCED POLYMER* (GFRP)

BY

STEPHANUS MARTUA TURNIP

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

**EVALUASI DAN PERKUATAN STRUKTUR PELAT, DAN DINDING
GESER DENGAN *GLASS FIBER REINFORCED POLYMER* (GFRP)**

Oleh

STEPHANUS MARTUA TURNIP

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2019**

Judul Skripsi : **EVALUASI DAN PERKUATAN STRUKTUR PELAT, DAN DINDING GESER DENGAN GLASS FIBER REINFORCED POLYMER (GFRP)**

Nama Mahasiswa : **Stephanus Martua Turnip**

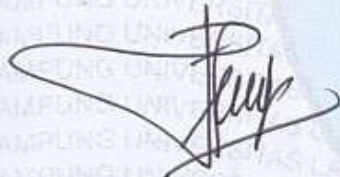
Nomor Pokok Mahasiswa : 1315011108

Program Studi : Teknik Sipil

Fakultas : Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing



Fikri Alami, S.T., M.Sc., M.Phil.
NIP 19720308 199802 1 004



Dr. Eng. Ratna Widyawati, S.T., M.T.
NIP 19710605 199512 2 001

2. Ketua Jurusan Teknik Sipil



Gatot Eko Suslo, S.T., M.Sc., Ph.D.
NIP 19700915 199503 1 006

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

: **Fikri Alami, S.T., M.Sc., M.Phil.**



Sekretaris

: **Dr. Eng. Ratna Widyawati, S.T., M.T.**




Penguji

Bukan Pembimbing : **Bayzoni, S.T., M.T.**



2. Dekan Fakultas Teknik




Prof. Dr. Suharno, M.Sc.
NIP 19620717 198703 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **20 Februari 2019**

LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini menyatakan dengan sebenarnya bahwa :

1. Skripsi dengan judul Evaluasi dan Perkuatan Struktur Pelat, dan Dinding Geser dengan *Glass Fiber Reinforced Polymer* (GFRP) adalah karya saya sendiri dan saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan atas karya penulis lain dengan cara yang tidak sesuai tata etika ilmiah yang berlaku dalam masyarakat akademik atau yang disebut plagiarisme.
2. Hak intelektual atas karya ilmiah ini diserahkan sepenuhnya kepada Universitas Lampung.

Atas pernyataan ini, apabila di kemudian hari ternyata ditemukan adanya ketidakbenaran, saya bersedia menanggung akibat dan sanksi yang diberikan kepada saya dan saya sanggup dituntut sesuai hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 6 Maret 2019

Pembuat Pernyataan



Stephanus Martua Turnip

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bandar Lampung pada tanggal 2 Februari 1995, sebagai anak ketiga dari Bapak Tombang Turnip dan Ibu Niar Nurmauli Nainggolan.

Pendidikan Sekolah Dasar (SD) diselesaikan di SD Fransiskus 1 Tanjungkarang tahun 2007, Sekolah Menengah Pertama (SMP) diselesaikan pada tahun 2010 di SMP Fransiskus Tanjungkarang, dan Sekolah Menengah Atas (SMA) diselesaikan di SMA Fransiskus Rajabasa pada tahun 2013. Penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung pada tahun 2013 melalui jalur SBMPTN.

Penulis telah melakukan Kerja Praktik (KP) pada Proyek Pembangunan Pondok Indah Residence, Jakarta Selatan selama 3 bulan ditahun 2016. Penulis juga telah mengikuti Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Taman Sari, Kecamatan Selagai Lingga, Kabupaten Lampung Tengah selama 40 hari pada periode Januari-Februari 2017. Penulis telah menyelesaikan tugas akhir penelitian dengan judul Evaluasi dan Perkuatan Struktur Pelat, dan Dinding Geser dengan *Glass Fiber Reinforced Polymer* (GFRP). Selama menjadi mahasiswa, penulis juga aktif dalam Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Lampung (HIMATEKS) sebagai anggota Departemen Keolahragaan dan Kerohanian pada periode 2015/2016.

Persembahkan

Ku persembahkan kepada Tuhan Yesus Kristus yang senantiasa memberkati, mengasihi dan melindungiku dalam setiap perjuanganku

Kepada kedua orangtuaku yang kukasahi dan kuhormati bapakku Tombang Turnip dan Mamakku Niar Nurmauli Nainggolan, yang selalu sabar dan mendukungku selama ini

Untuk Kakakku Nina Turnip dan Ruth Turnip serta saudara-saudariku semua yang selalu mendukung dan menyemangati

Untuk dosen-dosen yang telah membimbing dan mengajarkanku ilmu pengetahuan selama berkuliah di Teknik Sipil

Untuk Teman-temanku Angkatan 2013 Teknik Sipil Universitas Lampung, Ku bersyukur telah menjadi bagian dari kalian

Serta Almamater tercinta !!

Tanpa kalian mungkin karya ini tidak akan terwujud.

MOTTO

“ Tunjukkanlah kepadaku jalan-Mu, ya TUHAN, supaya aku hidup menurut
kebenaran-Mu; bulatkanlah hatiku untuk takut akan nama-Mu”

(Mazmur 86 : 11)

“ Takut akan TUHAN adalah permulaan pengetahuan, tetapi orang bodoh menghina
hikmat dan didikan ”

(Amsal 1 : 7)

“Ora Et Labora”

(Berdoa dan bekerja)

(Peribahasa Latin)

“ Jangan sedih bila sekarang masih dipandang sebelah mata, buktikan bahwa anda
layak mendapatkan kedua matanya ”

(Mario Teguh)

SANWACANA

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan karunia serta kasih-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Evaluasi dan Perkuatan Struktur Pelat, dan Dinding Geser dengan *Glass Fiber Reinforced Polymer* (GFRP)”. Skripsi disusun sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.) pada Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang setulusnya kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Suharno, M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
2. Bapak Gatot Eko Susilo, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung.
3. Bapak Fikri Alami, S.T., M.Sc., M.Phil., selaku Dosen Pembimbing Utama atas bimbingan dan arahnya dalam penyusunan skripsi.
4. Ibu Dr. Eng. Ratna Widyawati, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Kedua yang telah membimbing dan mengarahkan dalam penyusunan skripsi.
5. Bapak Bayzoni, S.T., M.T., selaku Dosen Penguji atas kritik, saran, serta arahan dalam penyusunan skripsi.

6. Ibu Dr. Dyah Indriana Kusumastuti, S.T., M.Sc., selaku Dosen Pembimbing Akademik.
7. Seluruh Dosen dan Karyawan Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung yang telah membagikan ilmu dan pembelajaran selama penulis menjadi mahasiswa.
8. Keluargaku yaitu bapak Tombang Turnip, ibu Niar Nurmauli Nainggolan, dan kakakku Nina Turnip dan Ruth Turnip, serta saudara-saudaraku yang telah memberikan dorongan secara material maupun spiritual selama ini dalam perkuliahan maupun dalam menyelesaikan skripsi ini.
9. Tim evaluasi dan perkuatan struktur Rumah Sakit Pendidikan Universitas Lampung yakni Aldo, Anggarani dan Edi. Terimakasih atas kerjasama dan bantuannya dalam penyelesaian skripsi ini.
10. Seluruh rekan angkatan 2013 Teknik Sipil Unila serta kakak dan adik tingkat Teknik Sipil Unila yang telah mendukung dan mendoakan serta menjadi keluarga di Universitas Lampung selama ini.
11. Teman-teman FKMK-FT yang telah menjadi penyemangat dan menguatkan dalam kerohanian selama ini.
12. Serta semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu yang telah membantu dan memberikan dukungan dalam penyelesaian skripsi ini. Penulis berharap semoga Tuhan Yang Maha Esa membalas segala kebaikan kalian dan semoga skripsi ini bermanfaat bagi kita semua.

Penulis menyadari bahwa masih memiliki banyak kekurangan. Penulis sangat mengharapkan saran serta kritik yang bersifat membangun. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi kita semua. Amin.

Bandar Lampung, 2019

Penulis

Stephanus Martua Turnip

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR GAMBAR

DAFTAR TABEL

DAFTAR NOTASI

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian	4

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Evaluasi Struktur Gedung	5
2.1.1 Evaluasi Material	6
2.1.2 Evaluasi Rencana Struktur Gedung	9
2.2 Struktur Gedung	10
2.2.1 Struktur Pelat	10
2.2.2 Struktur Dinding Geser	12
2.3 Pembebanan Struktur	13
2.3.1 Beban Mati	13
2.3.2 Beban Hidup	13
2.3.3 Beban Gempa	14
2.3.4 Beban Angin	14
2.4 Perkuatan Struktur Gedung	15
2.4.1 Material Perkuatan	15
2.4.2 Spesifikasi Material Perkuatan Yang Digunakan	19

III. METODE PENELITIAN

3.1 Metode Eksperimental	21
3.1.1 Investigasi Lapangan	21
3.1.2 Mekanikal Properti	27
3.2 Metode Teoritis	30
3.2.1 Kekuatan Lentur Nominal (M_n)	30
3.2.2 Kekuatan Geser Nominal (V_n)	30
3.2.3 <i>Debonding</i>	31
3.3 Konsep Perkuatan	32
3.4 Prosedur Penelitian	34
3.5 Bagan Alir Penelitian	35

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Investigasi Lapangan	36
4.1.1 Pengamatan Visual	36
4.1.2 Pengambilan Data Lapangan	38
4.2 Pengolahan Data Lapangan	40
4.2.1 Pengolahan Data <i>Hammer Test</i>	40
4.2.2 Pengolahan Data <i>Ultrasonic Pulse Velocity</i> (UPV)	41
4.2.3 Pengolahan Data Kuat Tarik Tulangan Baja	42
4.3 Perhitungan Analisa Struktur	43
4.3.1 Pembebanan	43
4.3.2 Kombinasi Pembebanan	48
4.3.3 Analisis Struktur Gedung Menggunakan SAP2000v14	50
4.3.4 Hasil Analisa SAP2000v14	66
4.3.5 Perhitungan <i>Shop Drawing</i>	70
4.4 Analisa Perkuatan Struktur	74
4.4.1 Perkuatan Lentur Pada Pelat	74
4.4.2 Perkuatan Geser pada Dinding / <i>Shearwall</i>	83

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan	85
5.2 Saran	87

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Bagian <i>Hammer Test</i>	7
Gambar 2.2. Skema Pengujian <i>Hammer Test</i>	7
Gambar 2.3. Grafik kuat tekan <i>Hammer Test</i>	7
Gambar 2.4. Metode Penggunaan UPV Pundit	8
Gambar 2.5. Skema Pengujian UPV	9
Gambar 2.6. Woven Roving, Staple Matte, dan Rovimet (GFRP)	17
Gambar 2.7. AFRP	18
Gambar 2.8. CFRP	18
Gambar 3.1. Lokasi RSP UNILA	21
Gambar 3.2. Denah Gedung 1	22
Gambar 3.3. Pengambilan data <i>Hammer Test</i>	24
Gambar 3.4. Pengambilan data UPV	25
Gambar 3.5. Titik Uji <i>Hammer Test</i> pada Pelat	26
Gambar 3.6. Titik Uji UPV pada Pelat	26
Gambar 3.7. Titik Uji <i>Hammer Test</i> pada Dinding Geser	26
Gambar 3.8. Titik Uji UPV pada Dinding Geser	27
Gambar 3.9. Grafik <i>Hammer</i>	27
Gambar 3.10. <i>Universal Test Machine</i> (UTM).....	30

Gambar 3.11. Debonding pada selimut beton	31
Gambar 3.12. Debonding tanpa ikutnya beton	32
Gambar 3.13. Debonding akibat retak geser lentur	32
Gambar 3.14. Debonding akibat retak lentur murni	32
Gambar 3.15. Arah Serat FRP	33
Gambar 3.16. Bagan Alir Penelitian	35
Gambar 4.1. Kondisi sekeliling bangunan	36
Gambar 4.2. Kondisi struktur lantai satu	37
Gambar 4.3. Kondisi basement yang dipenuhi lumpur	37
Gambar 4.4. Kondisi basement yang digenangi air	37
Gambar 4.5. Pengecekan diameter tulangan	38
Gambar 4.6. Pengecekan keretakan beton secara visual	38
Gambar 4.7. Titik pengujian <i>Hammer Test</i>	39
Gambar 4.8. Titik pengujian <i>Ultrasonic Pulse Velocity</i>	39
Gambar 4.9. Pengambilan sampel tulangan pelat	40
Gambar 4.10. Uji Tarik Baja Tulangan	40
Gambar 4.11. Perhitungan rangka atap dengan SAP2000v14	45
Gambar 4.12. Kurva <i>Response Spectrum</i> Kota Bandar Lampung dari website www.puskim.pu.go.id	47
Gambar 4.13. <i>Response Spectrum</i> Kota Bandar Lampung pada SAP2000v14.....	48
Gambar 4.14. Layar yang ditampilkan setelah klik <i>New Model</i>	50
Gambar 4.15. Kotak <i>Quick Grid Lines</i>	51
Gambar 4.16. Tampilan tampak atas sebelum spasi diatur	52
Gambar 4.17. Tampak 3D <i>Grid</i> sebelum spasi diatur	52

Gambar 4.18. Kotak <i>Coordinat/Grid Systems</i>	53
Gambar 4.19. Pengaturan spasi antar <i>grid</i>	53
Gambar 4.20. Tampak atas <i>Grid</i> setelah spasi diatur	54
Gambar 4.21. Tampak 3D <i>Grid</i> setelah spasi diatur	54
Gambar 4.22. Kotak <i>Define Materials</i>	55
Gambar 4.23. Kotak <i>Material Property Data</i> untuk material beton	55
Gambar 4.24. Kotak <i>Material Property Data</i> untuk material baja tulangan ..	56
Gambar 4.25. Kotak <i>Frame Properties</i>	56
Gambar 4.26. Kotak <i>Add Frame Section Property</i>	57
Gambar 4.27. Kotak <i>Rectangular Section</i>	57
Gambar 4.28. Kotak <i>Reinforcement Data</i>	58
Gambar 4.29. Kotak <i>Area Sections</i>	58
Gambar 4.30. Kotak <i>Shell Section Data</i>	59
Gambar 4.31. Pengaturan material baja tulangan dalam kotak <i>Concrete Shell Section Design Parameter</i>	59
Gambar 4.32. Hasil Penggambaran elemen-elemen struktur	60
Gambar 4.33. Input nilai <i>ks</i>	61
Gambar 4.34. Jenis-jenis tumpuan pada SAP2000v14	62
Gambar 4.35. Tampak 3D struktur gedung setelah diberikan tumpuan	62
Gambar 4.36. <i>Input</i> beban yang diperhitungkan	63
Gambar 4.37. Memasukkan kombinasi pembebanan	63
Gambar 4.38. Kotak <i>Divide Selected Areas</i>	64
Gambar 4.39. Pemilihan jenis analisis yang digunakan pada SAP2000v14 ...	65
Gambar 4.40. Melakukan <i>run analysis</i>	65
Gambar 4.41. Daerah pemetaan pelat yang ditinjau	68

Gambar 4.42. Daerah pemetaan dinding geser yang ditinjau	69
Gambar 4.43. Perkuatan pelat daerah tumpuan	82

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1. Pembacaan Kriteria Hasil Pengujian UPV Pundit	8
Tabel 2.2. Tebal minimum balok non prategang atau pelat satu arah bila lendutan tidak dihitung.....	11
Tabel 2.3. Tebal minimum dari pelat tanpa balok interior	12
Tabel 2.4. Tabel karakteristik material epoxy	19
Tabel 2.5. Tabel karakteristik material fiber lepas	19
Tabel 2.6. Tabel karakteristik material komposit (GFRP + Epoxy)	20
Tabel 4.1. Tabel hasil perhitungan kuat tekan beton dengan <i>Hammer</i>	40
Tabel 4.2. Tabel hasil perhitungan kuat tekan beton dengan UPV	41
Tabel 4.3. Tabel hasil uji kuat tarik tulangan baja	42
Tabel 4.4. Beban pelat lantai	44
Tabel 4.5. Kisaran nilai koefisien reaksi subgrade / spring constant (k_s)	61
Tabel 4.6. Nilai momen kondisi pelat melayang	66
Tabel 4.7. Nilai momen kondisi pelat di atas permukaan tanah	67
Tabel 4.8. Gaya geser pada dinding	69
Tabel 4.9. Hasil perhitungan momen rencana pelat <i>shop drawing</i>	72
Tabel 4.10. Hasil perhitungan gaya geser rencana <i>shop drawing</i>	74
Tabel 4.11. Perkuatan lentur pelat arah X kondisi melayang	75

Tabel 4.12. Perkuatan lentur pelat arah Y kondisi melayang	75
Tabel 4.13. Perkuatan lentur pelat arah X kondisi di atas tanah	76
Tabel 4.14. Perkuatan lentur pelat arah Y kondisi di atas tanah	77
Tabel 4.15. Tabel kebutuhan FRP pada pelat arah X (M11)	82
Tabel 4.16. Tabel kebutuhan FRP pada pelat arah Y (M22)	83
Tabel 4.17. Tabel kebutuhan perkuatan geser pada dinding	84

DAFTAR NOTASI

Berikut penjelasan beberapa notasi yang ada pada penelitian ini :

- σ_b : Kuat tekan beton dari grafik hammer (N/mm²)
- σ_{bm} : Kuat tekan beton rata-rata dari grafik hammer (N/mm²)
- N : Jumlah pukulan hammer
- SD : Standar deviasi (N/mm²)
- σ_{bk} : Kuat tekan beton katakarakteristik (N/mm²)
- f'c : Kuat tekan beton silinder (N/mm²)
- V : Cepat rambat gelombang UPV (km/s)
- L : Jarak antara transducer dan receiver (km)
- T : Waktu rambat gelombang UPV (s atau detik)
- Ec : Modulus elastisitas beton (kN/mm²)
- : Poisson's ratio (0,05 – 0,3)
- : Berat jenis beton (2400 kg/m³)
- Ø : Faktor reduksi (SNI 2847-2013)
- d : Tinggi efektif (mm)
- As : Luas penampang tulangan baja (mm²)
- fy : Kuat tarik tulangan baja (N/mm²)
- Mn : Momen lentur nominal (kNm)
- Mr : Momen lentur rencana (kNm)

M_u : Momen ultimate (kNm)
 A_{cv} : Luas penampang dinding (mm^2)
 A_v : Luas penampang sengkang (mm^2)
 V_n : Kuat geser nominal (kN)
 V_u : Kuat geser ultimate (kN)
 E_s : Modulus elastisitas baja (kN/mm^2)
 M_{DL} : Momen lentur kombinasi beban mati (kNm)
 M_s : Momen lentur kombinasi beban mati + beban hidup (kNm)
 s : Selimut beton (mm)
 t_f : Tebal FRP (mm)
 f_{fu}^* : Tensile strength (N/mm^2)
 ϵ_{fu}^* : Regangan putus
 E_f : Modulus elastisitas FRP (kN/mm^2)
 CE : Faktor reduksi akibat pengaruh lingkungan (Tabel 9.1 ACI 440.2R-08)
 λ_f : Faktor reduksi FRP (0,85)
 I_{cr} : Momen inersia retak (mm^4)
 λ_f : Ratio FRP
 λ_s : Ratio tulangan baja
 n_{FRP} : Jumlah lapisan FRP
 w_f : lebar FRP (mm)
 f_{fu} : Desain kuat tarik ultimate FRP (N/mm^2)
 ϵ_{fu} : Desain regangan putus FRP
 A_f : Luas penampang FRP (mm^2)
 ϵ_{bi} : Regangan beton saat pemasangan FRP

- f_d : Regangan *debonding*
- ϵ_c : Regangan beton
- ϵ_s : Regangan tulangan baja
- f_s : Tegangan tulangan baja (N/mm²)
- M_{ns} : Momen nominal baja (kNm)
- M_{nf} : Momen nominal FRP (kNm)
- k : Koefisien retak beton
- $f_{s,s}$: Tegangan service tulangan baja (N/mm²)
- $f_{f,s}$: Tegangan service FRP (N/mm²)

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

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. Menurut Triwiyono (2004) 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.

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. Menurut Alami (2010) 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. 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).

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Bagaimana menginvestigasi dan mengevaluasi elemen-elemen struktur Rumah Sakit Pendidikan Universitas Lampung?
2. Bagaimana konsep perbaikan dan perkuatan Rumah Sakit tersebut terkait kelanjutan pembangunannya?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini yaitu :

1. Menunjukkan keadaan struktur eksisting terkini Rumah Sakit Pendidikan Universitas Lampung
2. Mendapatkan suatu hasil evaluasi untuk perkuatan struktur pada bangunan Rumah Sakit Pendidikan Universitas Lampung dengan menggunakan material *Glass Fiber Reinforced Polymer* (GFRP).

1.4 Batasan Masalah

Adapun ruang lingkup dalam penelitian ini, antara lain :

1. Bangunan yang ditinjau yaitu gedung 1 Rumah Sakit Pendidikan Universitas Lampung
2. Material perkuatan struktur yang digunakan adalah *Glass Fiber Reinforced Polymer* (GFRP)
3. Analisis perkuatan yang dihitung adalah kebutuhan lentur pada pelat eksisting dan kebutuhan geser pada *shearwall*/dinding geser eksisting
4. Perhitungan perkuatan menggunakan metode *American Concrete Institute* (ACI 440.2R, 2008)
5. Persyaratan pembebanan menggunakan Standar Nasional Indonesia (SNI 1727, 2013 dan SNI 03-1726, 2012), Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG, 1983), dan *American Society of Civil Engineers* (ASCE 7-10, 2010)
6. Perencanaan struktur mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI 03-2847, 2013)

7. Perhitungan analisis struktur menggunakan bantuan program SAP2000v14 dan *Microsoft excel*
8. Pengujian *mechanical property* elemen struktur di lapangan menggunakan *Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)* dan *Hammer Test*.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi terkait kondisi struktur terkini Rumah Sakit Pendidikan Universitas Lampung serta memberikan konsep perbaikan dan kekuatannya terutama pada struktur pelat dan dinding geser.

II. 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, dalam ranah struktur hal ini sering disebut keandalan. Keandalan yang dimaksud adalah kemampuan struktur atau elemen struktur dalam memenuhi persyaratan khusus dalam memikul beban kerja yang direncanakan sesuai dengan kondisi yang ditentukan dalam kurun waktu tertentu. Pemeriksaan keandalan struktur bangunan gedung dapat ditempuh melalui dua tahap, yaitu pemeriksaan awal dan pemeriksaan detail melalui serangkaian pengujian.

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

2.1.1 Evaluasi Material

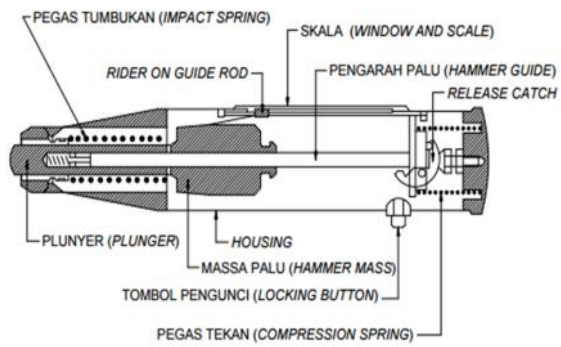
Ada beberapa bentuk pengujian struktur beton pada bangunan diantaranya yakni pengujian yang tidak merusak (*non destructive test*) dan pengujian yang merusak (*destructive test*) komponen struktur yang diuji. Pada penelitian ini penulis melakukan pengujian yang tidak merusak (*non destructive test*) dalam pengambilan data dilapangan. Berikut alat yang digunakan dalam pengambilan data dilapangan :

1) *Hammer Test*

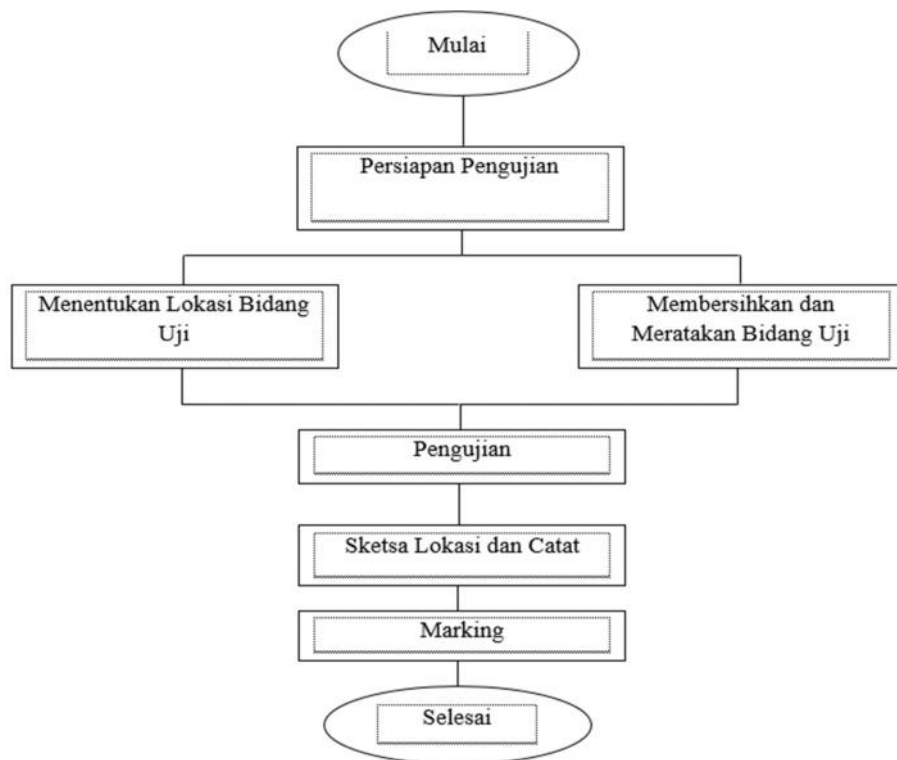
Hammer Test merupakan alat uji beton yang memiliki nilai pantulan yang tepat dan kemampu pengulangan yang mudah dalam pelaksanaan di lapangan. Dua faktor yang menambah peningkatan kinerja alat uji beton ini dibandingkan dengan yang lain yaitu :

- a. Pendeteksian hasil bagi pantulan berbasis kecepatan.
- b. Desain hibrid berbobot ringan pada plunger tumbukan yang terbuat dari logam paduan untuk industri penerbangan, yang disesuaikan dengan sifat-sifat elastis beton dan dilengkapi tudung baja yang keras.

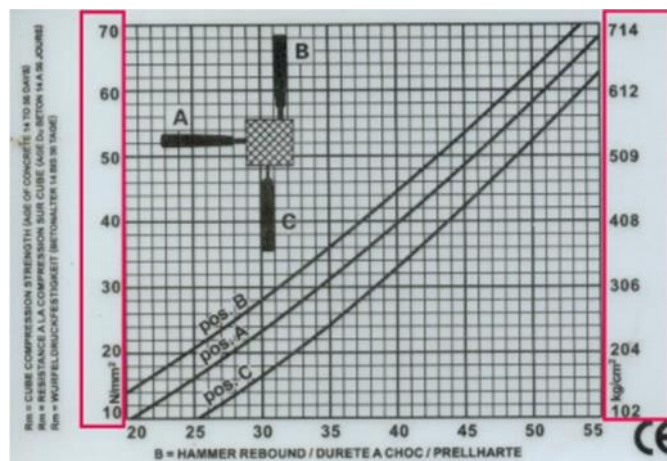
Setelah mendapatkan angka / nilai pantul dari hasil pengujian, lalu konversikan nilai pantul tersebut pada grafik *hammer test*, sehingga nanti kita akan mendapatkan nilai kuat tekan eksistingnya.



Gambar 2.1. Bagian Hammer Test



Gambar 2.2. Skema Pengujian *Hammer Test*



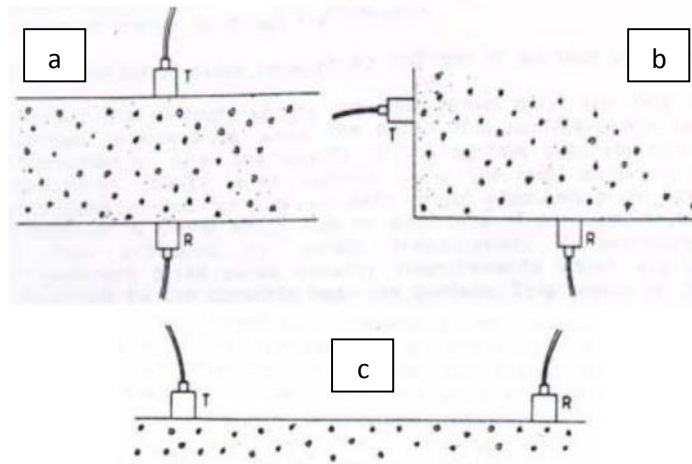
Gambar 2.3. Grafik kuat tekan *Hammer Test*

2) Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)

Prinsip kerja alat tes *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV) yaitu dengan memproduksi dan menyalurkan gelombang pulsa / denyut ke dalam beton, dan merata-ratakan waktu perjalanan gelombang tersebut dari titik awal ke titik akhir melalui beton.

Pengukuran *pulse velocity* dapat dilakukan dengan 3 metode, yaitu :

- a. *Direct transmission*
- b. *Semi-direct transmission*
- c. *Indirect/surface transmission*



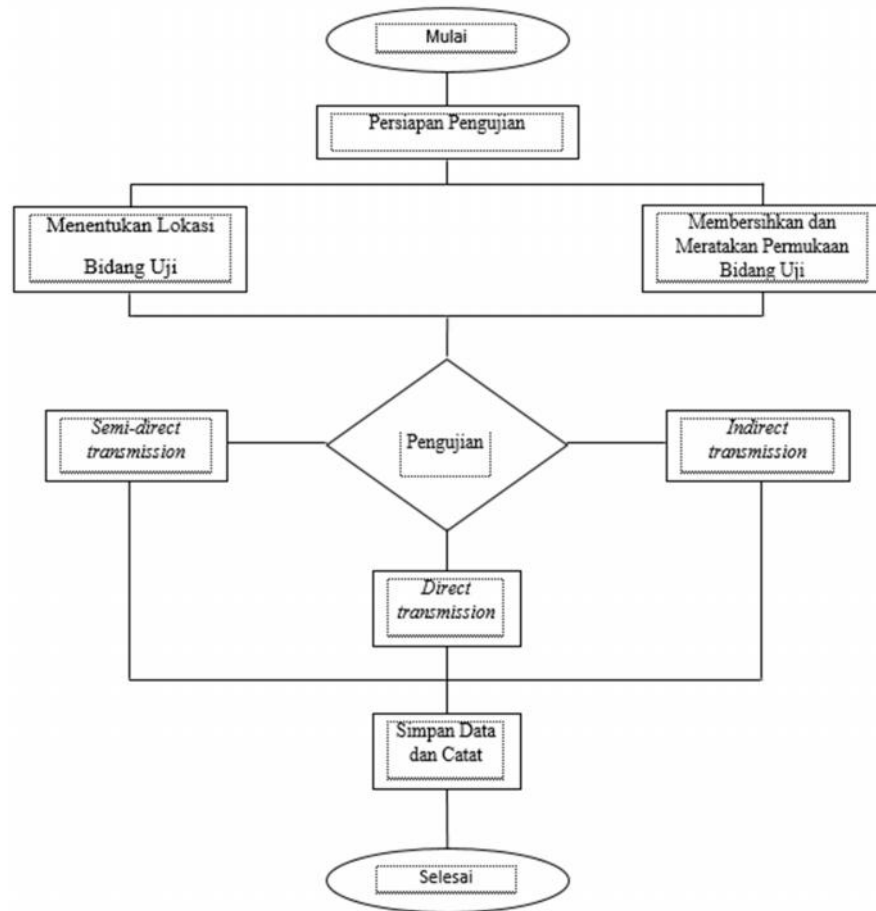
Gambar 2.4. Metode Penggunaan UPV Pundit

Direct transmission adalah metode yang lebih efektif dalam mengukur tingkat kepadatan beton, estimasi kuat tekan hingga modulus elastisitas beton. Sedangkan *indirect transmission* biasanya lebih banyak digunakan untuk mengukur kedalaman retakan.

Tabel 2.1. Pembacaan Kriteria Hasil Pengujian UPV Pundit

Concrete Quality	Pulse Velocity (m/s)	Concrete Conditions
	> 4500	Excellent
	3500 - 4500	Good
	3000 - 3500	Doubtful
	2000 - 3000	Poor
< 2000	Very poor	

(IAEA, 2002)



Gambar 2.5. Skema Pengujian UPV

2.1.2 Evaluasi Rencana Struktur Gedung

Evaluasi struktur pada sebuah bangunan dibutuhkan ketika bangunan tersebut mengalami beberapa faktor seperti :

- 1) Kesalahan perencanaan / pelaksanaan
 - a. Hasil pengamatan lapangan dimana terlihat adanya retak-retak atau lendutan yang berlebihan pada bagian-bagian struktur
 - b. Sifat material yang diuji selama pelaksanaan pembangunan struktur, yang menunjukkan hasil-hasil yang tidak memenuhi syarat baik dari segi kekuatan maupun durabilitas

- c. Hasil perhitungan (dengan memakai kekuatan material yang aktual) yang menunjukkan adanya penurunan kapasitas kekuatan struktur atau komponen-komponen struktur
- 2) Penurunan kinerja struktur eksisting
 - a. Adanya pelapukan material struktur akibat usia bangunan yang sudah tua atau karena sudah lama terbengkalai. Bahkan juga akibat serangan zat-zat kimiawi tertentu yang merusak struktur eksisting (seperti jenis senyawa asam)
 - b. Adanya kerusakan pada struktur akibat bencana, kebakaran, dan gempa
 - 3) Rencana pembebanan tambahan pada struktur
 - a. Perubahan fungsi / penggunaan struktur
 - b. Penambahan tingkat bangunan (pengembangan struktur)
 - c. Adanya beban yang ditambahkan pada elemen struktur
 - 4) Syarat untuk proses jual beli atau asuransi suatu struktur bangunan.

Untuk hal ini biasanya cukup dilakukan penyelidikan secara visual kecuali jika ada tandan-tanda yang mencurigakan pada struktur.

2.2 Struktur Gedung

2.2.1 Struktur Pelat

Pelat beton bertulang dalam suatu struktur dipakai pada lantai, pada pelat ruang ditumpu balok pada keempat sisinya terbagi dua berdasarkan geometrinya, yaitu :

1) Pelat satu arah (*one way slab*)

Pelat satu arah yaitu suatu pelat yang memiliki panjang lebih besar atau lebih lebar yang bertumpu menerus melalui balok-balok. Maka hampir semua beban lantai dipikul oleh balok-balok yang sejajar.

Suatu pelat dikatakan pelat satu arah apabila $L_y/L_x \geq 2$, dimana L_y dan L_x adalah panjang dari sisi-sisinya. Menurut SNI 2847 : 2013, tebal minimum yang ditentukan dalam tabel berlaku untuk konstruksi satu arah yang tidak menumpu atau tidak disatukan dengan partisi atau konstruksi lain yang mungkin akan rusak akibat lendutan yang besar, kecuali bila perhitungan lendutan menunjukkan bahwa ketebalan yang lebih kecil dapat digunakan tanpa menimbulkan pengaruh yang merugikan.

Tabel 2.2. Tebal minimum balok non prategang atau plat satu arah bila lendutan tidak dihitung

Komponen struktur	Tebal minimum, h			
	Tertumpu sederhana	Satu ujung menerus	Kedua ujung menerus	Kantilever
	Komponen struktur tidak menumpu atau tidak dihubungkan dengan partisi atau konstruksi lainnya yang mungkin rusak oleh lendutan yang besar			
Pelat masif satu-arah	$\ell / 20$	$\ell / 24$	$\ell / 28$	$\ell / 10$
Balok atau pelat rusuk satu-arah	$\ell / 16$	$\ell / 18,5$	$\ell / 21$	$\ell / 8$

CATATAN:
 Panjang bentang dalam mm.
 Nilai yang diberikan harus digunakan langsung untuk komponen struktur dengan beton normal dan tulangan tulangan Mutu 420 MPa. Untuk kondisi lain, nilai di atas harus dimodifikasikan sebagai berikut:
 (a) Untuk struktur beton ringan dengan berat jenis (*equilibrium density*), w_c , di antara 1440 sampai 1840 kg/m³, nilai tadi harus dikalikan dengan $(1,65 - 0,0003w_c)$ tetapi tidak kurang dari 1,09.
 (b) Untuk f_c selain 420 MPa, nilainya harus dikalikan dengan $(0,4 + f_c/700)$.

(SNI 2847-2013 butir 9.5.2.2)

2) Plat Dua Arah (*Two way Slab*)

Pelat dua arah adalah pelat yang ditumpu oleh balok pada keempat sisinya dan beban-beban ditahan oleh pelat dalam arah yang tegak lurus terhadap balok-balok penunjang. Tebal minimum tanpa balok interior yang menghubungkan tumpuan-tumpuannya, harus memenuhi ketentuan dari Table 2.3.

Tabel 2.3. Tebal minimum dari plat tanpa balok interior

Tegangan leleh, f_y MPa ¹	Tanpa penebalan ²			Dengan penebalan ²		
	Panel eksterior		Panel interior	Panel eksterior		Panel interior
	Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir ⁵		Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir ⁵	
280	$\ell_n / 33$	$\ell_n / 36$	$\ell_n / 36$	$\ell_n / 36$	$\ell_n / 40$	$\ell_n / 40$
420	$\ell_n / 30$	$\ell_n / 33$	$\ell_n / 33$	$\ell_n / 33$	$\ell_n / 36$	$\ell_n / 36$
520	$\ell_n / 28$	$\ell_n / 31$	$\ell_n / 31$	$\ell_n / 31$	$\ell_n / 34$	$\ell_n / 34$

¹Untuk konstruksi dua arah, ℓ_n adalah panjang bentang bersih dalam arah panjang, diukur muka ke muka tumpuan pada pelat tanpa balok dan muka ke muka balok atau tumpuan lainnya pada kasus yang lain.
²Untuk f_y antara nilai yang diberikan dalam tabel, tebal minimum harus ditentukan dengan interpolasi linier.
³Panel drop didefinisikan dalam 13.2.5.
⁴Pelat dengan balok di antara kolom kolomnya di sepanjang tepi eksterior. Nilai α untuk balok tepi tidak boleh kurang dari 0,8.

(SNI 2847-2013 butir 9.5.3.2)

2.2.2 Struktur Dinding Geser

Dinding geser adalah struktur vertikal yang digunakan pada bangunan tingkat tinggi. Fungsi utama dari dinding geser adalah menahan beban lateral seperti gaya gempa dan angin.

Pada umumnya dinding geser dikategorikan berdasarkan geometrinya, yaitu :

- Flexural wall* (dinding langsing), yaitu dinding geser yang memiliki rasio $h_w/l_w \geq 2$, dimana desain dikontrol terhadap perilaku lentur
- Squat wall* (dinding pendek), yaitu dinding geser yang memiliki rasio $h_w/l_w \leq 2$, dimana desain dikontrol terhadap perilaku geser
- Coupled shear wall* (dinding berangkai), dimana momen guling yang terjadi akibat beban gempa ditahan oleh sepasang dinding geser yang dihubungkan dengan balok-balok penghubung sebagai gaya tarik dan tekan yang bekerja pada masing-masing dasar dinding tersebut.

2.3 Pembebanan Struktur

Pembebanan struktur yaitu suatu proses atau cara membebani atau membebani suatu elemen struktur terhadap tinjauan tertentu. Tinjauan pembebanan ini dapat dibedakan menjadi beberapa tipe pembebanan:

2.3.1 Beban Mati

Berdasarkan SNI 1727 : 2013 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. Dalam hal ini dapat berupa:

1) Beban mati akibat berat sendiri

Beban mati didefinisikan sebagai beban yang ditimbulkan oleh elemen-elemen struktur bangunan; balok, kolom, dan pelat lantai. Beban ini akan dihitung secara otomatis oleh program struktur yang digunakan.

2) Beban mati tambahan

Beban mati tambahan didefinisikan sebagai beban mati yang diakibatkan oleh berat sendiri dari elemen-elemen tambahan atau *finishing* yang bersifat permanen (terus menerus membebani struktur utama).

2.3.2 Beban Hidup

Berdasarkan SNI 1727:2013 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.

2.3.3 Beban Gempa

Beban gempa adalah semua beban yang bekerja pada bangunan atau bagian bangunan dari pergerakan tanah akibat gempa itu. Pengaruh gempa pada struktur ditentukan berdasarkan analisa dinamik. Beban gempa rencana pada SNI 03-1726-2012 memiliki periode ulang sebesar 2500 tahun. Pada peraturan gempa sebelumnya, SNI 03-1726-2002 dan SNI 03-1726-1989, secara berurutan digunakan beban gempa rencana dengan periode ulang 500 tahun dan 200 tahun. Dengan periode ulang gempa rencana 2500 tahun, SNI 1726-2012 menggunakan beban gempa yang kemungkinan terlampauinya sebesar 2% dalam jangka waktu 50 tahun, yang dengan kata lain menggunakan beban gempa yang lebih besar dibandingkan dua peraturan gempa sebelumnya.

2.3.4 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. Besar nilai tekanan tiup minimum yang diambil yaitu 25 kg/m² (PPIUG,1983). Perencanaan beban angin juga ditentukan oleh beberapa parameter seperti kecepatan angin, arah angin, kategori eksopur, topografi, efek tiupan, klasifikasi ketertutupan, serta koefisien tekanan internal.

2.4 Perkuatan Struktur Gedung

2.4.1. Material Perkuatan

Material perkuatan struktur yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Fiber Reinforced Polymer (FRP)*. *Bakelite* adalah jenis FRP yang pertama kali diciptakan oleh peneliti bernama Dr. Baekelite, dalam pertemuan para peneliti di *American Chemical Society* diumumkanlah bahwa penemuan FRP itu disahkan pada 5 Februari 1909. Penelitian tentang FRP terus berkembang sampai pada tahun 1930-an di Inggris, para peneliti di bidang industri penerbangan yaitu Norman de Bruyne dan Owens-Illinois menemukan bahwa FRP sangat dibutuhkan di industri penerbangan karena materialnya ringan dan mempunyai kemampuan yang sangat dibutuhkan pada industri penerbangan, sehingga penemuan terbaru ini dipatenkan oleh perusahaan Corning.

Namun 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. Menurut Suharjo (2016) FRP memiliki beberapa keuntungan sebagai material perkuatan struktur, antara lain :

1. Kuat tariknya cukup tinggi (untuk GFRP bisa mencapai ± 500 MPa)
2. Beratnya sangat ringan (density $1,4 - 2,6$ gr/cm³)
3. Tidak memerlukan joint/sambungan, meskipun bentang yang diperkuat cukup panjang
4. Tidak berkarat / tidak korosi (non logam)

5. Mudah dalam pengerjaannya dan tidak mengganggu aktifitas disekitar pengerjaan.

Tapi FRP juga memiliki beberapa kelemahan seperti :

1. Harga yang masih terbilang mahal di Indonesia, terutama material epoxy-nya yang masih harus diimpor
2. Jika terjadi kebakaran maka bahan perekat epoxy resin bisa melunak sehingga daya lekatnya pada beton berkurang
3. Rentan terjadi pengrusakan dari luar akibat aktivitas manusia maupun alam
4. Mudah terjadi *debonding* jika saat pemasanganya tidak dilakukan dengan baik.

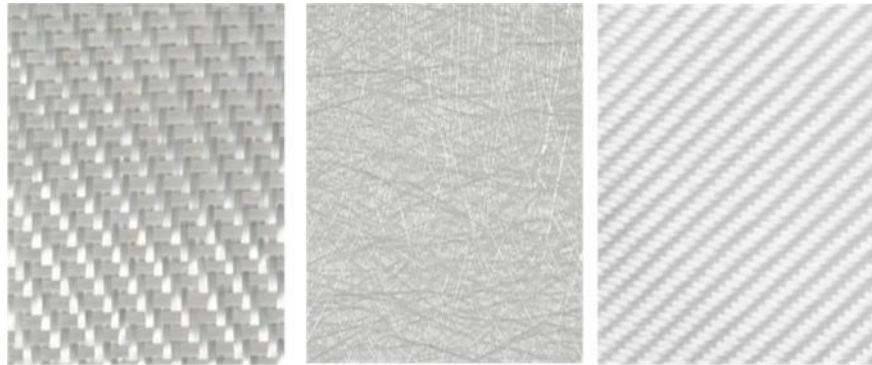
Namun walaupun FRP masih memiliki beberapa kelemahan, tapi material ini masih menjadi salah satu solusi terbaik untuk memperkuat elemen struktural seperti balok, kolom, sambungan, dinding, cerobong asap, kubah, terowongan, silo, pipa, dsb. Selain itu juga FRP dapat digunakan untuk memperkuat struktur batu, kayu, dan baja. Saat ini material FRP terbagi menjadi 3 jenis variasi yaitu:

1) *Glass Fiber Reinforced Polymer* (GFRP)

Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) adalah serat halus dari kaca. Jenis GFRP memiliki kekuatan yang cukup tinggi, namun masih lebih rendah dari jenis variasi FRP yang lain dan juga kurang kaku. Selain dipakai untuk perkuatan elemen struktur, GFRP juga dapat digunakan untuk interior maupun eksterior ruangan karena GFRP adalah bahan yang cukup tahan akan segala jenis cuaca.

GFRP memiliki 3 jenis serat yaitu:

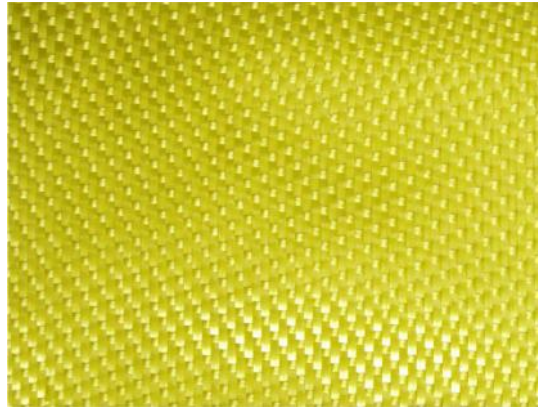
1. Woven Roving, berbentuk tenunan filamen atau benang glass yang menghasilkan tenunan bentuk kain
2. Staple Matte, tersusun dari fiber terpotong-potong dan fiber lurus. Ukuran panjang yang terpotong-potong yaitu 25-50 mm
3. Rovimet, gabungan antara woven roving dan staple matte. Antara anyaman woven roving terhadap benang-benang staple matte atau dua permukaan, permukaan woven roving dan permukaan staple matte.



Gambar 2.6. Woven Roving, Staple Matte, dan Rovimet (GFRP)

2) *Aramid Fiber Reinforced Polymer (AFRP)*

Serat Aramid dikenal juga sebagai serat kevlar yaitu serat yang memiliki kekuatan tinggi. Serat ini biasa digunakan pada aplikasi militer seperti helm, pelindung wajah, dan juga rompi anti peluru. Kuat tarik serat aramid dapat mencapai sekitar lima kali lebih kuat dari baja dengan berat yang sama, namun serat ini memiliki kuat tekan yang cukup lemah.



Gambar 2.7. AFRP

3) *Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)*

Serat karbon tidak menunjukkan korosi atau pecah pada suhu kamar dan merupakan jenis variasi FRP yang paling sering digunakan pada perkuatan struktur karena CRFP dinilai lebih baik untuk meningkatkan kekuatan atau memberikan peningkatan kapasitas lentur, geser, axial dan daktilitas. Namun material ini lebih mahal dibandingkan variasi FRP lainnya.



Gambar 2.8. CFRP

Dalam tugas akhir ini penulis menggunakan material *Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP)* sebagai material perkuatan strukturnya. GFRP dinilai dapat menjadi solusi untuk perbaikan di Rumah Sakit Pendidikan Universitas Lampung (RSP UNILA) karena material ini dianggap lebih ekonomis dan kekuatannya masih dinilai cukup untuk

memperkuat gedung Rumah Sakit Pendidikan Universitas Lampung (karena elemen struktur tidak tampak mengalami keretakan struktur).

2.4.2. Spesifikasi Material Perkuatan Yang Digunakan

Seperti yang sudah diketahui bahwa material perkuatan yang digunakan pada penelitian ini adalah material GFRP, maka dicarilah beberapa tipe GFRP yang tersedia dipasaran. Di Indonesia sendiri sebenarnya sudah banyak perusahaan-perusahaan yang menjual/mendistribusikan material FRP. Sehingga peneliti memutuskan 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 dari material GFRP tipe SEH-51A tersebut :

1) Spesifikasi material Epoxy pada tipe SEH-51A

Tabel 2.4. Tabel karakteristik material epoxy

Karakteristik Material Epoxy		
Waktu Pengeringan : 72 jam (suhu ruangan = 60 °C)		
Sifat	Metode ASTM	Nilai test
Kuat Tarik	ASTM D-638 tipe 1	72,4 MPa
Regangan	ASTM D-638 tipe 1	5 %
Kuat lentur	ASTM D-790	123,4 MPa
Modulus Elastis	ASTM D-790	3,12 Gpa

2) Spesifikasi GFRP tipe SEH-51A dalam bentuk *dry sheet*

Tabel 2.5. Tabel karakteristik material fiber lepas

Karakteristik Material Fiber Lepas	
Sifat	Nilai test
Kuat Tarik	3,24 Gpa
Modulus elastis	72,4 Gpa
Regangan	4,5 %
Kerapatan	2,55 g/cm ³
Berat per luasan	915 g/m ²

3) Spesifikasi GFRP tipe SEH-51A dalam bentuk komposit

Tabel 2.6. Tabel karakteristik material komposit (GFRP + Epoxy)

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

Dalam menganalisis perkuatan struktur, data yang digunakan adalah data Nilai Desain pada Tabel 2.6 (bentuk komposit) dan perhitungannya mengacu pada peraturan standar perhitungan *American Concrete Institute* (ACI 440.2R, 2008).

III. METODE PENELITIAN

Dalam pengumpulan dan pengolahan data yang dilakukan oleh peneliti, ada dua metode yang digunakan yaitu metode eksperimental yang dilaksanakan di lapangan dan metode teoritis yang menggunakan rumus-rumus di dalam metode American Concrete Institute (ACI 440.2R, 2008).

3.1. Metode Eksperimental

3.1.1. Investigasi Lapangan

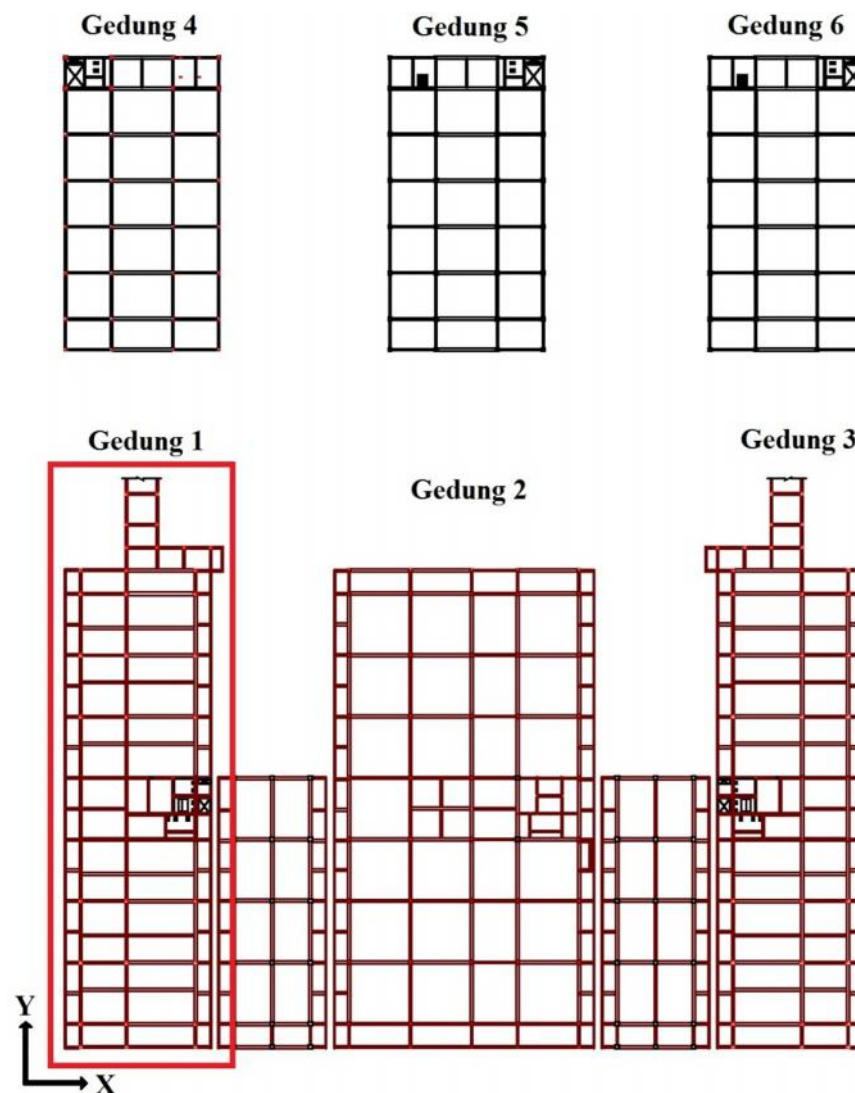
a. Lokasi Bangunan

Adapun bangunan yang ingin diteliti berada di Jalan Professor Dr. Ir. Sumantri Brojonegoro No.1 Gedung Meneng, Rajabasa, Bandar Lampung, Lampung. Lokasi bangunan ini masih berada di area lingkungan kampus Universitas Lampung.



Gambar 3.1. Lokasi RSP UNILA

Proyek pembangunan Rumah Sakit ini sendiri terdiri dari 6 gedung. Dimana gedung 1, 2, dan 3 menghadap ke arah Rajabasa, sedangkan gedung 4, 5, dan 6 menghadap ke arah Tanjung Karang. Saat penelitian ini berlangsung, hanya gedung 1 yang pengerjaannya lebih banyak terbangun, dimana gedung 1 sudah terbangun *basement* dan lantai satu. Sedangkan gedung 2 dan 3 baru terbangun bagian *basement*. Sedangkan gedung 4, 5, dan 6 baru lantai satu. Dengan pertimbangan diatas, maka penulis memilih gedung 1 untuk dianalisa perkuatannya.



Gambar 3.2. Denah Gedung 1

b. Alat-alat yang digunakan dalam pengujian

➤ *Hammer Test*

Alat uji *Hammer test* digunakan untuk memeriksa keseragaman kualitas beton pada sebuah struktur dan mendapatkan perkiraan kuat tekan beton. Berikut metode pelaksanaan *hammer test* yang dilakukan dalam penelitian ini :

1. Sebelum melakukan pengujian, pastikan alat *hammer test* sudah terkalibrasi agar data yang diperoleh akurat
2. Tentukan titik pengujian yang ingin di tinjau dan bersihkan serta haluskan permukaan bentonnya
3. Setelah itu tentukan sudut kemiringan dalam pengambilan sampelnya, apakah 0° (tegak lurus horizontal), -90° (tegak lurus kebawah), atau 90° (tegak lurus ke atas)
4. Pegang alat dengan kuat sehingga posisi hulu palu tegak lurus dengan permukaan beton yang diuji
5. Tekan alat secara perlahan ke arah permukaan uji sampai palu pantul menumbuk hulu palu
6. Setelah tumbukan tahan tekanan pada alat dan tekan tombol pada sisi alat untuk mengunci palu pada posisinya
7. Baca dan catat angka pantul
8. Ulangan langkah diatas untuk mengambil data selanjutnya.



Gambar 3.3. Pengambilan data *Hammer Test*

➤ *Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)*

Alat uji UPV digunakan untuk memprediksi kekuatan, mengukur modulus elastis dan mendeteksi keberadaan kerusakan internal seperti retak, rongga-rongga, lapuk ataupun kerusakan-kerusakan lain. Berikut metode pelaksanaan UPV yang dilakukan dalam penelitian ini :

1. Sebelum melakukan pengujian, pastikan alat UPV sudah dikalibrasi agar data yang diperoleh akurat.
2. Kemudian tentukan daerah pengujiannya, daerah pengujian sama seperti pengujian *hammer test* namun jarak dan jumlah titiknya saja yang berbeda.
3. Setelah mengetahui titik mana saja yang akan diuji, lalu kita pastikan dahulu metode pengambilan data yang paling tepat, apakah *direct*, *semi direct*, atau *indirect*.
4. Kemudian setelah itu ratakan titik yang ingin diuji dengan batu amplas, kemudian oleskan cairan kental seperti gemuk atau

pasta agar kedap udara saat transmitter dan receiver diletakkan di titik tersebut.

5. Letakan transmitter pada titik awal dan receiver pada titik berikutnya, kemudian catat waktu rambat yang didapat oleh UPV.
6. Setelah itu pindahkan pindahkan receiver pada titik selanjutnya dan catat lagi waktu rambat yang didapat, lakukan hal ini berulang pada titik selanjut sesuai jumlah titik yang sudah ditentukan.

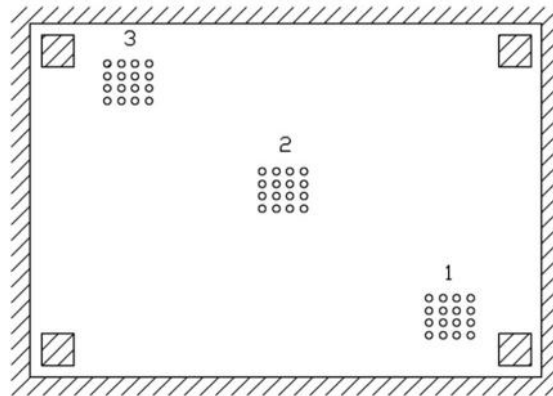
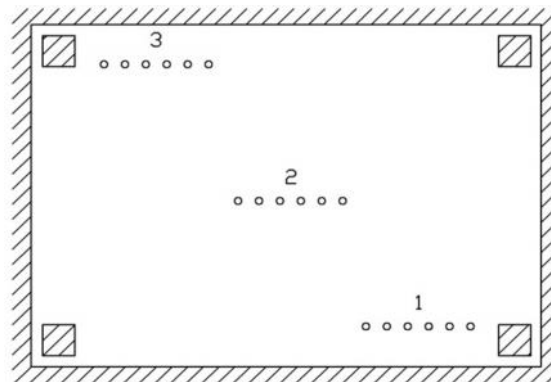


Gambar 3.4. Pengambilan Data UPV

c. Elemen struktur yang di uji

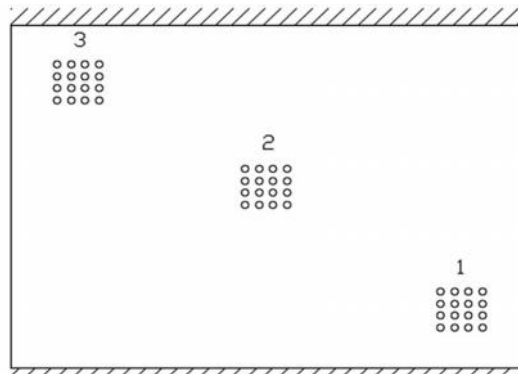
Seperti yang sudah kita ketahui bahwa elemen struktur akan dilakukan uji dengan *Hammer Test* dan *Ultrasonic Pulse Velocity* pada jumlah titik dan daerah yang ditentukan sebelumnya. Berikut gambaran cara pengambilan sampel dilapangan pada titik-titik yang ditinjau :

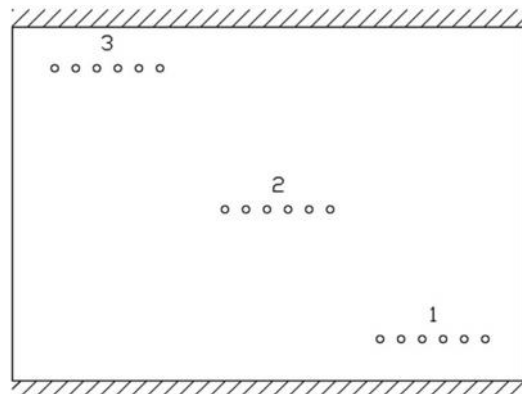
1) Pelat

Gambar 3.5. Titik Uji *Hammer Test* pada Pelat

Gambar 3.6. Titik Uji UPV pada Pelat

2) Dinding geser

Gambar 3.7. Titik Uji *Hammer Test* pada Dinding Geser



Gambar 3.8. Titik Uji UPV pada Dinding Geser

3.1.2. Mekanikal Properti

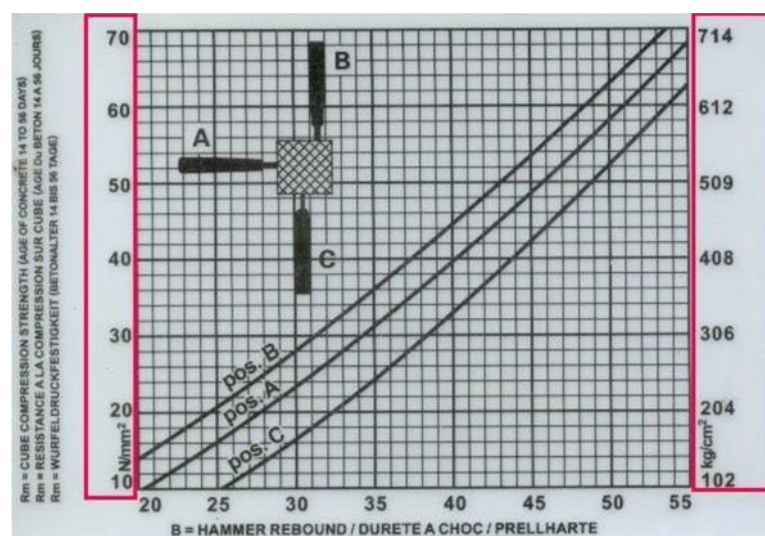
Berikut sifat-sifat mekanik material yang didapat dari uji di lapangan:

1) Kekuatan Tekan Beton

a. Dengan Alat *Hammer Test*

Berikut Langkah untuk mendapatkan data kuat tekan beton pada elemen struktur yang diuji dengan alat *Hammer Test* :

1. Mengestimasi nilai kuat tekan (σ_b) dari setiap titik pukul *hammer test* pada satu daerah uji dengan menggunakan grafik *hammer*



Gambar 3.9. Grafik *Hammer*

- Menghitung kuat tekan beton rata-rata yang didapat dari grafik *hammer*

$$\sigma_{bm} = \frac{\sum_1^n \sigma_b}{N}$$

- Menghitung standar deviasi (SD)

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_1^n (\sigma_{bm} - \sigma_b)^2}{N-1}}$$

- Menghitung kuat tekan beton karakteristik (σ_{bk})

$$\sigma_{bk} = \sigma_{bm} - (1,64 \times SD)$$

- Hitung kuat tekan silinder (f^c)

$$f^c = 0,83 \times \sigma_{bk}$$

- Dengan Alat *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV)

Alat (UPV) ini sebenarnya memiliki fungsi lebih dibandingkan *hammer tes* karena selain dapat mencari nilai kuat tekan, alat ini juga dapat mengukur kedalaman retakan pada beton. Namun pada penelitian ini, peneliti hanya menggunakannya untuk mengukur kuat tekan beton eksisting :

- Hitung kecepatan rambat dari data yang didapat dilapangan

$$V = \frac{L}{t}$$

Dimana, L : jarak antara 2 transducers (km)

T : waktu rambat (detik)

- Mencari nilai modulus elastisitasnya (E)

$$E = \frac{\rho \cdot V^2 \cdot (1+\nu) \cdot (1-2\nu)}{(1-\nu)} \quad (\text{IAEA, 2002})$$

3. Kemudian hitung kuat tekan silindernya (f'_c)

$$f'_c = \left(\frac{E}{4700}\right)^2$$

2) Kuat Tarik Tulangan

Kuat tarik tulangan harus ditentukan berdasarkan hasil uji tarik benda uji yang mewakili bahan struktur yang kekuatannya diragukan. Sampel untuk uji kuat tarik tulangan ini diambil langsung dari lapangan, yang kemudian di bawa ke lab untuk di uji. Mesin uji yang digunakan adalah *Universal Test Machine* (UTM) yang ada di laboratorium beton Universitas Bandar Lampung. Mesin ini dapat melakukan uji tarik pada tulangan baja hingga diameter 26 mm. Kapasitas pembebanan maksimum pada tarik yaitu 500 kN. Jarak maksimum antar grip kurang lebih 30 cm, sehingga sampel harus diambil sekitar 50 cm, 30 cm untuk panjang pengujian dan 10 cm untuk bagian yang dijepit grip pada setiap sisinya. Hasil pengujian ini juga dapat langsung terhubung ke komputer sehingga lebih mudah dalam pengolahan datanya.



Gambar 3.10. *Universal Test Machine (UTM)*

3.2. Metode Teoritis

3.2.1. Kekuatan Lentur Nominal (M_n)

Perkuatan lentur dibutuhkan jika Momen nominal ($\phi \cdot M_n$) dari tulangan terpasang tidak cukup untuk menahan Momen ultimate (M_u) dari beban terfaktor. Perkuatan lentur bisa terpenuhi apabila:

$$\phi \cdot M_n \geq M_u$$

Jika tidak, maka $\phi \cdot M_n$ didesain dengan menjumlahkan M_n dari tulangan dengan M_n dari perkuatan FRP (M_{nf}) yang dikalikan dengan factor reduksi f . Nilai rekomendasi untuk f adalah 0,85 dan untuk ϕ adalah 0,9.

$$\phi \cdot M_n = \phi \cdot \left(A_s f_s \left(d - \frac{\beta_1 c}{2} \right) + f A_f f_{fe} \left(h - \frac{\beta_1 c}{2} \right) \right)$$

3.2.2. Kekuatan Geser Nominal (V_n)

Perkuatan geser dibutuhkan ketika gaya Geser nominal ($\phi \cdot V_n$) tidak cukup untuk menahan gaya Geser ultimate (V_u) dari beban terfaktor.

Perkuatan geser bisa terpenuhi apabila:

$$\phi \cdot V_n \geq V_u$$

Sehingga $\phi \cdot V_n$ didesain dengan menjumlahkan V_n dari beton, tulangan, dan FRP. Kekuatan geser yang disumbangkan FRP ditunjukkan oleh persamaan berikut.

$$V_f = \frac{A_{fv} f_{fe} (\sin \alpha + \cos \alpha) d_{fv}}{S_f}$$

Sehingga kapasitas geser pada beton bertulang yang diperkuat dengan FRP komposit dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$V_n = V_c + V_s + V_f$$

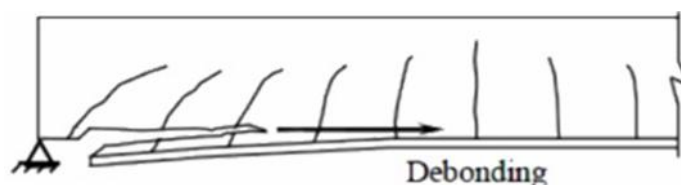
Berikut rumus kapasitas geser pada beton bertulang yang diberi perkuatan geser FRP (ACI 440.2R, 08) dengan nilai rekomendasi ϕ adalah 0,85 dan untuk ϕ adalah 0,8. yaitu:

$$\phi \cdot V_n = \phi \cdot (V_c + V_s + \phi V_f)$$

3.2.3. *Debonding*

Secara keseluruhan ada tiga jenis kerusakan atau kegagalan FRP yang terjadi dilapangan yaitu rusaknya FRP setelah tulangan tarik leleh (FRP *rupture*), hancurnya beton pada sisi tekan (concrete crushing), dan lepasnya ikatan antara beton dengan FRP atau biasa disebut *debonding*. Debonding sendiri biasa terjadi dalam beberapa kejadian seperti :

1. Lepasnya selimut beton pada ujung lapisan FRP



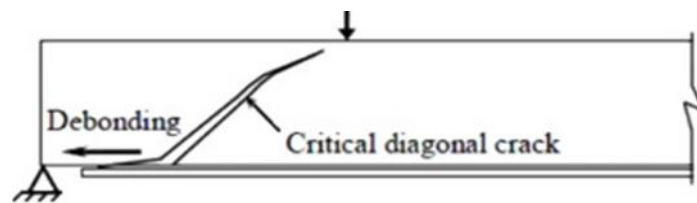
Gambar 3.11. *Debonding* pada selimut beton

2. Lepasnya FRP tanpa ikut lepasnya beton



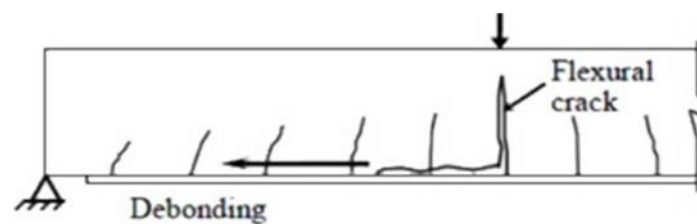
Gambar 3.12. *Debonding* tanpa ikutnya beton

3. Lepasnya FRP akibat retak geser lentur



Gambar 3.13. *Debonding* akibat retak geser lentur

4. Lepasnya FRP akibat retak lentur murni.



Gambar 3.14. *Debonding* akibat retak lentur murni

Maka untuk mengatasi keruntuhan tersebut, saat pemasangannya harus dilakukan dengan benar agar FRP dan beton merekat dengan baik dan juga regangan efektif FRP harus dibatasi pada tingkatan regangan yang memungkinkan *debonding* itu terjadi (ACI 440.2R, 2008).

$$f_d = 0,41 \sqrt{\frac{f_{rc}}{nE_f t_f}} \leq 0,9 f_u$$

3.3. Konsep Perkuatan

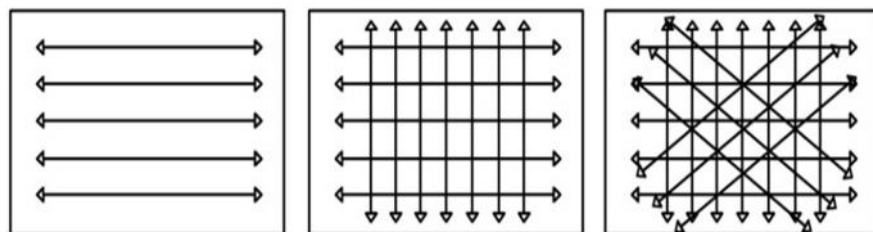
Perkuatan yang dilakukan pada penelitian ini bertujuan untuk mengembalikan kekuatan elemen struktur supaya sama ataupun melampaui kekuatan awalnya sehingga dapat memenuhi syarat terhadap gaya-gaya

dalam akibat pembebanan yang akan terjadi. Konsep perkuatan *Fiber Reinforced Polymer* (FRP) memiliki fungsi yang hampir sama seperti baja tulangan. Berikut metode pemasangan FRP :

- 1) Jika beton terlihat rusak atau retak, maka beton tersebut harus dibobok sampai terlihat beton yang masih kuat bahkan sampai terlihat tulangnya
- 2) Bersihkan permukaan beton dari debu dan pecahan beton
- 3) Kemudian lakukan penambalan beton dengan semen *grouting*
- 4) Lalu pasang FRP sesuai kebutuhan hasil perhitungan dan rekatkan dengan perekat epoxy resin. Jangan lupa sesuaikan arah serat FRP dengan arah perkuatan yang dibutuhkan.

Pengaturan arah serat FRP ada tiga macam (Basuki, 2005) yaitu :

- 1) Satu arah (*Unidirectional*) akan memberikan kekuatan dan modulus yang maksimum pada arah sumbu serat tersebut
- 2) Dua arah (*Bidirectional*) akan memberikan kekuatan yang berbeda pada dua arah sumbu serat tersebut
- 3) Tiga arah atau lebih (*Pseudoisotropic*) akan mengurangi kekuatan dari lapisan komposit tersebut.



Gambar 3.15. Arah Serat FRP

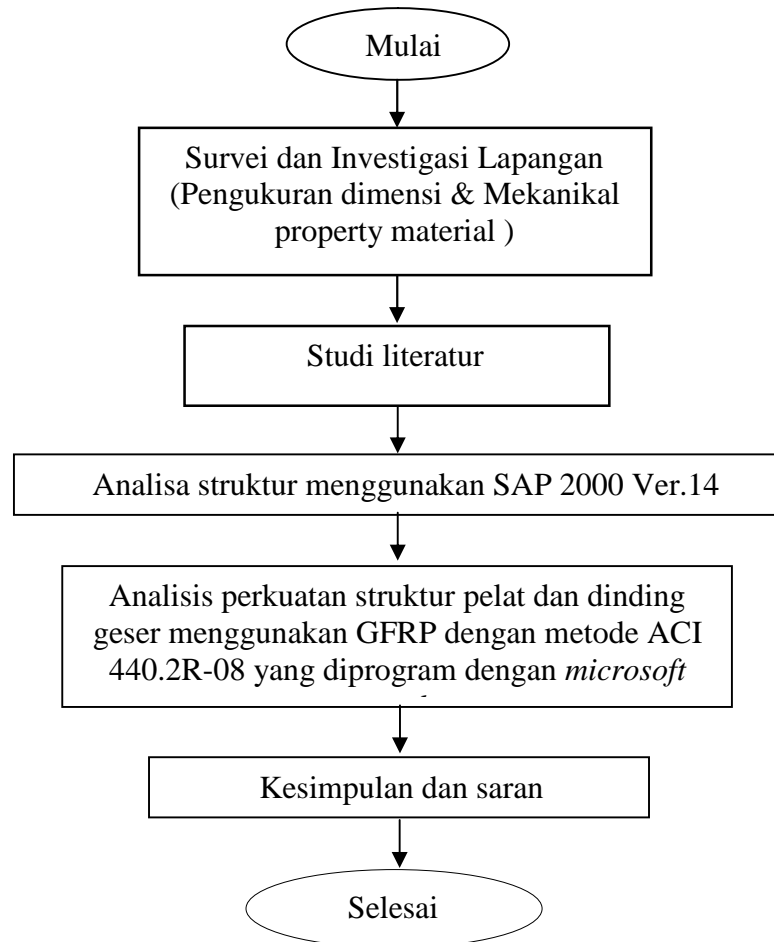
3.4. Prosedur Penelitian

Tahapan pelaksanaan yang dilakukan dalam evaluasi ini berupa pengujian lapangan, analisis struktur dan analisis kekuatan. Adapun tahapan kegiatan yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Pengamatan visual langsung di lokasi bangunan untuk melakukan pemeriksaan kerusakan seperti retak-retak, keropos, mengelupas dan sebagainya.
2. Pemeriksaan pada gambar-gambar yang ada untuk mendapatkan dimensi struktur beton bertulang yang terpasang dilapangan, termasuk dimensi tulangnya. Hasil yang didapat digunakan sebagai pembandingan dengan kondisi eksisting lapangan.
3. Pengujian mutu bahan dengan cara *non destructive test* (uji tanpa merusak). Pengujian beton ini menggunakan alat *Hammer test* dan *Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)*.
4. Pengukuran geometri struktur bangunan dengan menggunakan alat Meteran. Kondisi ini dilakukan jika gambar drawing kurang lengkap atau tidak jelas.
5. Analisis struktur menggunakan program SAP 2000 Ver.14 dalam rangka evaluasi kelayakan struktur yang didasarkan pada laporan hasil penelitian kondisi eksisting yang ada.
6. Berdasarkan hasil analisis struktur dan review gambar, dilakukan kontrol kekuatan elemen pelat lantai dan dinding geser.
7. Analisis kekuatan struktur menggunakan GFRP dengan metode ACI 440.2R-08 yang dibantu dengan *Microsoft excel*.

3.5. Bagan Alir Penelitian

Berikut merupakan bagan alir pada penelitian ini :



Gambar 3.16. Bagan Alir Penelitian

V. PENUTUP

5.1. 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 BJT 40
3. Pada analisis pelat tebal 200 mm yang berada diatas tanah digunakan 2 asumsi, dimana asumsi pertama tanah dianggap tidak memberikan dukungan keatas (dianggap melayang) sehingga pelat terjepit pada

keempat sisinya. Hal ini dikarenakan ada kemungkinan tanah dibawah pelat mengalami susut atau pengurangan volume sehingga tidak mendukung pelat yang ada di atasnya. Sedangkan pada asumsi kedua, tanah dianggap memberikan dukungan pada bagian bawah pelat dikarenakan daya dukung tanah yang baik. Pada asumsi pertama tidak memungkinkan dilakukan perkuatan dengan material GFRP terutama pada daerah lapangan karena tidak mungkin untuk mengakses daerah dibawah pelat, sehingga perkuatan tanah-lah yang menjadi alternative untuk memperbaiki daya dukung tanah supaya dapat memperkecil lendutan maupun gaya-gaya yang bekerja. Sedangkan pada asumsi kedua, didapatkan kesimpulan bahwa tidak ada pelat yang membutuhkan perkuatan baik di daerah tumpuan maupun daerah lapangan.

4. Pada analisis pelat tebal 120 mm, pelat didesain terjepit pada keempat sisinya (dianggap melayang). Hasil analisa didapat bahwa pelat 120 mm membutuhkan perkuatan arah X kecuali pelat nomor 15, sedangkan arah Y perkuatan hanya pada pelat nomor 15 dan 16. Namun kebutuhan perkuatan GFRP-nya hanya sedikit jika dilihat dari jumlah lapisan dan lebarnya
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 ($\emptyset.V_n \geq V_u$) sehingga tidak dibutuhkan perkuatan geser.

5.2. Saran

Untuk penelitian selanjutnya mengenai evaluasi dan perkuatan gedung menggunakan FRP, disarankan beberapa hal dibawah ini untuk dipertimbangkan :

1. Dalam pengambilan data eksisting, sebaiknya jangan hanya menggunakan alat *hammer test* maupun *ultrasonic pulse velocity*. Lebih baik pengambilan sampel dilakukan juga dengan alat *core drill* karena data yang didapat akan lebih akurat
2. Sebelum pengambilan data eksisting, pastikan alat-alat yang ingin digunakan harus sudah terkalibrasi
3. Dalam pengambilan data lapangan usahakan membawa alat penghalus permukaan beton / mesin amplas beton dan juga usahakan pengambilan data saat kondisi beton kering. Hal ini bertujuan agar pengambilan data efektif, terutama pada alat Ultrasonic Pulse Velocity yang sangat sensitif terhadap kelembapan dan kekasaran permukaan beton
4. Pada saat pengambilan sampel tulangan baja dilapangan, pastikan panjang tulangan sampel harus sesuai dengan standar uji alat *Universal Test Machine* (UTM), agar tulangan dapat terjepit dengan baik dikedua ujungnya sehingga uji tarik dapat berlangsung dengan baik
5. Jika terjadi kasus perkuatan struktur seperti pada gedung RSP UNILA dimana gedung belum terbangun seluruhnya. Sarankan struktur yang belum terbangun harus tetap mengikuti gambar rencana awal.

DAFTAR PUSTAKA

- American Concrete Institute. 2008. *“Guide For Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems For Strengthening Concrete Structures”*. ACI 440.2R-08. Farmington Hills.
- Badan Standarisasi Nasional. 2013. “Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain”. SNI 1727 : 2013. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2013. “Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung”. SNI 2847 : 2013. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2012. “Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung”. SNI 1726 : 2012. Jakarta.
- Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan. 1983. “Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung”. PPIUG 1983. Bandung.
- American Society of Civil Engineers. 2010. *“Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures”*. ASCE/SEI 7-10. Virginia.
- Computers & Structures, Inc. 2009. *“Getting Started with SAP2000”*. University Avenue Berkeley. California.
- International Atomic Energy Agency. 2002. *“Guidebook on Non-Destructive Testing of Concrete Structures”*. IAEA 2002. Industrial Applications and Chemistry Section. Vienna.
- Bowles, J.E. 1997. *“Foundation Analysis and Design 5th Ed”*. McGraw-Hill. Singapore.
- Fyfe. 2013. *“Tyfo SEH-51A Composite”*. San Diego.
- 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.
- Basuki, Ariyadi. 2005. “Sistem Penguatan Struktur Beton Menggunakan Serat Polimer”. Berita Teknologi Bahan dan Barang Teknik No. 19/2005.
- Suharjo, Ray Richard. 2016. “Kekuatan Lentur Balok Dengan Perkuatan GFRP Akibat Rendaman Air Laut Selama 2 Tahun (Tugas Akhir)”. Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Gowa.