

TUGAS AKHIR

**EVALUASI KONDISI DAN PERKUATAN STRUKTUR BANGUNAN
GEDUNG MENGGUNAKAN *FIBER REINFORCED POLYMER* (FRP)
(STUDI KASUS: MASJID HASNUR ASY-SYAJARAH, KABUPATEN
TAPIN)**

Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan Mencapai Gelar Sarjana S-1
pada Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Lambung Mangkurat

Dibuat:

Naek Rizki Pandiangan

NIM. 2110811210012

Dosen Pembimbing:

Ir. Ade Yuniati Pratiwi, S.T., M.Sc., Ph.D

NIP. 19900306 202203 2 010



**KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS LAMBUNG MANGKURAT
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK SIPIL
BANJARBARU**

2025

LEMBAR PENGESAHAN
SKRIPSI PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK SIPIL

**EVALUASI KONDISI DAN PERKUATAN STRUKTUR BANGUNAN
GEDUNG MENGGUNAKAN *FIBER REINFORCED POLYMER (FRP)*
(STUDI KASUS: MASJID HASNUR ASY-SYAJARAH, KABUPATEN
TAPIN)**

Oleh

Naek Rizki Pandiangan (2110811210012)

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji pada 15 Mei 2025 dan dinyatakan

LULUS

Komite Penguji:

Ketua	: Dr. Nursiah Chairunnisa, S.T., M.Eng. NIP. 19790723 200501 2 005	
Anggota 1	: Ir. Ida Barkiah, M.T. NIP. 19691110 199303 2 001	
Anggota 2	: Dr. Rahmani Kadarningsih, S.T., M.T. NIP. 19780430 200604 2 001	
Pembimbing Utama	: Ir. Ade Yuniati Pratiwi, S.T., M.Sc., Ph.D NIP. 19900306 202203 2 010	

Banjarbaru, 15 Mei 2025

Diketahui dan disahkan oleh:



Wakil Dekan Bidang Akademik
Staf Teknik ULM,

Dr. Mahmud, S.T., M.T.
NIP. 19740107 199802 1 001

Koordinator Program Studi
S-1 Teknik Sipil,

Dr. Muhammad Arsyad, S.T., M.T.
NIP. 19720826 199802 1 001

LEMBAR PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

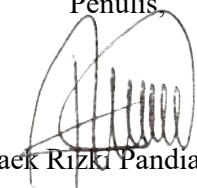
Nama : Naek Rizki Pandiangan
NIM : 2110811210012
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Tugas Akhir : Evaluasi Kondisi Dan Perkuatan Struktur Bangunan Gedung Menggunakan *Fiber Reinforced Polymer* (FRP) (Studi Kasus: Masjid Hasnur Asy-Syajarah, Kabupaten Tapin)
Pembimbing : Ir. Ade Yuniati Pratiwi, S.T., M.Sc., Ph.D

Dengan ini menyatakan bahwa hasil penulisan tugas akhir yang telah saya buat ini merupakan hasil karya saya sendiri dan benar keasliannya. Apabila ternyata di kemudian hari penulisan tugas akhir ini merupakan hasil plagiat atau penjiplakan terhadap karya orang lain, maka saya bersedia mempertanggung jawabkan sekaligus menerima sanksi berdasarkan aturan tata tertib di Universitas Lambung Mangkurat.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tidak dipaksakan.

Banjarbaru, 2025

Penulis,



Naek Rizki Pandiangan
NIM. 2110811210012

**EVALUASI KONDISI DAN PERKUATAN STRUKTUR BANGUNAN
GEDUNG MENGGUNAKAN *FIBER REINFORCED POLYMER* (FRP)
(STUDI KASUS: MASJID HASNUR ASY-SYAJARAH, KABUPATEN
TAPIN)**

Naek Rizki Pandiangan¹, Ade Yuniati Pratiwi²

¹Mahasiswa, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Lambung Mangkurat

²Dosen, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Lambung Mangkurat

JL. Jenderal Achmad Yani Km 35,5 Banjarbaru, Kalimantan Selatan – 70714

Email: anthonypandiangan@gmail.com

ABSTRAK

Kerusakan pada material struktur bangunan menjadi ancaman terhadap kualitas bangunan yang akan berpengaruh pula terhadap fungsi bangunan. Evaluasi kelayakan struktur dilakukan untuk menentukan bangunan masih layak digunakan atau sebagai pertimbangan jenis perbaikan yang harus dilakukan. Salah satu metode perkuatan struktur adalah dengan menggunakan *Fiber Reinforced Polymer* (FRP).

Evaluasi kelayakan struktur dilakukan pengamatan visual dan pengujian *non-destructive*. Kemudian dilakukan analisis struktur dengan metode *pushover analysis*. Elemen struktur yang tidak aman diperkuat dengan metode FRP.

Berdasarkan pengamatan visual ditemukan kerusakan pada struktur berupa retak, keropos, *honeycomb*, dan berlumut. Estimasi mutu beton eksisting yang didapatkan berdasarkan UPV pada kolom, balok, dan pelat berturut-turut sebesar 14,23 MPa, 15,84 MPa, dan 14,55 MPa dengan nilai keseragaman *Hammer Test* kolom sebesar 96% dan pada balok pelat sebesar 100%. Kedalaman retak pada struktur berkisar antara 10 mm – 56,5 mm, dengan lebar retak berkisar antara 0,3 mm – 1,5 mm. Hasil *Pushover analysis* menunjukkan level kinerja bangunan berdasarkan FEMA 356 adalah *Operational* dan berdasarkan ATC-40 adalah *Immediate Occupancy*. Hasil analisis kapasitas elemen struktur menunjukkan 4 elemen balok yang tidak aman terhadap momen sehingga diperkuat menggunakan FRP dengan jumlah berkisar antara 1 – 3 lapis, dengan lebar berkisar antara 50 – 300 mm.

Kata Kunci: *Fiber Reinforced Polymer, XTRACT, Evaluasi Struktur, Non-Destructive Test, Pushover Analysis*

***EVALUATION OF THE CONDITION AND STRENGTHENING OF
BUILDING STRUCTURES USING FIBER REINFORCED POLYMER (FRP)
(CASE STUDY: HASNUR ASY-SYAJARAH MOSQUE, TAPIN REGENCY)***

Naek Rizki Pandiangan¹, Ade Yuniati Pratiwi²

¹*Undergraduate Student of Civil Engineering, Lambung Mangkurat University*

²*Lecturer of Civil Engineering, Lambung Mangkurat University*

JL. Jenderal Achmad Yani Km 35,5 Banjarbaru, Kalimantan Selatan – 70714

Email: anthonypandiangan@gmail.com

ABSTRACT

Damage to building structural materials poses a threat to the quality of the building, which will also affect its function. Structural feasibility evaluation is conducted to determine if a building is still suitable for use or as a consideration for the type of repairs that should be carried out. One method of structural strengthening is by using Fiber Reinforced Polymer (FRP).

Structural feasibility evaluation was conducted through visual observation and non-destructive testing. Subsequently, a structural analysis was performed using the pushover analysis method. Unsafe structural elements were strengthened using the FRP method.

Based on visual observation, damage was found in the structure in the form of cracks, spalling, honeycomb, and moss growth. The estimated existing concrete quality obtained based on UPV on columns, beams, and slabs was 14.23 MPa, 15.84 MPa, and 14.55 MPa respectively, with a uniformity value from the Hammer Test of 96% for columns and 100% for beams and slabs. Crack depths in the structure ranged from 10 mm - 56.5 mm, with crack widths ranging from 0.3 mm - 1.5 mm. The Pushover analysis results indicated a building performance level of Operational according to FEMA 356 and Immediate Occupancy according to ATC-40. The capacity analysis of structural elements revealed that 4 beam elements were unsafe against moment, and thus were strengthened using FRP with a number of layers ranging from 1 - 3, and widths ranging from 50 - 300 mm.

Keywords: *Fiber Reinforced Polymer, XTRACT, Structure assessment, Non-Destructive Test, Pushover Analysis*

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas berkat, rahmat, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Evaluasi Kondisi Dan Perkuatan Struktur Bangunan Gedung Menggunakan *Fiber Reinforced Polymer* (FRP) (Studi Kasus: Masjid Hasnur Asy-Syjarah, Kabupaten Tapin)”. Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi persyaratan kelulusan mahasiswa/i Program Studi S-1 Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat.

Selama proses penyusunan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak yang telah memberikan kontribusi baik berupa bantuan maupun dukungan, untuk itu penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada semua pihak yang terlibat selama penyusunan Tugas Akhir ini, yaitu kepada:

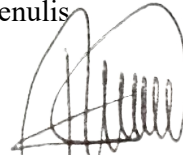
1. Bapak Kasiun Pandiangan dan Ibu Ronti Siringoringo selaku orang tua tercinta beserta saudari saya Friska Meilani Pandiangan atas segala bentuk dukungan motivasi dan doa selama ini.
2. Bapak Dr. Muhammad Arsyad, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi S-1 Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat.
3. Ibu Ir. Ade Yuniati Pratiwi, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang selalu memberikan arahan, penjelasan, dan ilmu kepada saya sehingga Laporan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.
4. Ibu Dr. Ir. Ratni Nurwidayati, M.T., M.Eng.Sc., Ibu Dr. Nursiah Chairunnisa, S.T., M.Eng. dan Bapak Wiku Adhiwicaksana Krasna, S.T., M.Eng, Ph.D. selaku dosen di Laboratorium Struktur dan Material FT ULM yang telah memberikan banyak ilmu dan saran selama masa bimbingan tugas akhir ini.
5. Segenap dosen Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat yang telah memberikan banyak ilmu kepada kami.
6. Segenap teman-teman Teknik Sipil Angkatan 2021, khususnya kepada kost reptile dan wareak yang telah berjuang bersama dari awal memulai perkuliahan di Teknik Sipil hingga saat ini.
7. Segenap rekan-rekan Himpunan Mahasiswa Sipil, khususnya kepada rekan-rekan Divisi 3 yang telah banyak memberikan pengalaman dan dukungan.

8. Rekan-rekan Instruktur Laboratorium Struktur dan Material, khususnya kepada Nafis, Kamil, Fajar, dan Ihda, serta teman-teman magang yang telah banyak membantu dalam penyusunan tugas akhir ini.

Akhir kata, saya menyadari penyusunan Tugas Akhir ini tidak luput dari kekurangan, oleh karena itu diharapkan kritik dan saran yang membangun agar Tugas Akhir ini lebih baik lagi. Saya berharap Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua.

Banjarbaru, Mei 2025

Penulis



Naek Rizki Pandiangan

NIM. 2110811210012

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAAN	iii
LEMBAR ASISTENSI	iv
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR.....	x
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR.....	xx
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Batasan Masalah.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Faktor Penyebab Kerusakan Struktur Bangunan.....	5
2.2 <i>Retrofitting</i> Struktur Bangunan	5
2.3 Uji Kelaikan Bangunan	6
2.4 Evaluasi Struktur Bangunan	6
2.5 Jenis-Jenis Pengujian Evaluasi Struktur Bangunan.....	7
2.5.1 Pengujian Merusak (<i>Destructive Test</i>).....	7

2.5.2	Pengujian Tidak Merusak (<i>Non-destructive Test</i>)	9
2.6	Pembebanan.....	20
2.6.1	Beban Mati	20
2.6.2	Beban Hidup.....	21
2.6.3	Beban Angin	25
2.6.4	Beban Gempa	36
2.7	<i>Running Analysis</i>	47
2.8	Metode <i>Static Pushover Analysis</i>	47
2.8.1	Metode Spektrum Kapasitas (ATC-40)	48
2.8.2	Metode Koefisien Perpindahan (FEMA 356).....	51
2.8.3	Sendi Plastis.....	55
2.9	Analisis Kapasitas Penampang Elemen Struktur Beton.....	56
2.9.1	Analisis Kapasitas Penampang Kolom.....	56
2.9.2	Analisis Kapasitas Penampang Balok	60
2.9.3	Analisis Kapasitas Penampang Pelat.....	66
2.10	Perbaikan Struktur Bangunan.....	68
2.11	Perkuatan Struktur Bangunan.....	69
2.11.1	<i>Concrete Jacketing</i>	69
2.11.2	<i>Steel Jacketing</i>	71
2.11.3	<i>Fiber Reinforced Polymer (FRP)</i>	72
2.11.4	<i>Shear Wall (Dinding Geser)</i>	73
2.11.5	Penambahan <i>Frame</i> Struktur Baja.....	74
2.12	<i>Fiber Reinforced Polymer (FRP)</i>	75
2.13	<i>Software SAP2000</i>	86
2.14	<i>Software SpColumn</i>	87
2.15	<i>Software Response2000</i>	88

2.16	<i>Software XTRACT</i>	89
2.17	Penelitian Sebelumnya	90
2.17.1	Penelitian oleh Firmansyah (2022) tentang Kajian Perkuatan Struktur Rumah Sakit RKZ Surabaya Menggunakan <i>Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) Sheets</i>	90
2.17.2	Penelitian oleh Putri (2023) tentang Desain Kebutuhan Tulangan <i>Glass Fibre Reinforced Polymer (GFRP)</i> untuk Elemen Struktur Pada Bangunan Beton Bertulang.....	90
2.17.3	Penelitian oleh Hidayati (2021) tentang Evaluasi dan <i>Retrofit</i> Struktur Gedung Beton Bertulang Akibat Kebakaran	91
BAB III METODE PENELITIAN		93
3.1	Diagram Alir.....	93
3.2	Lokasi Penelitian	94
3.3	Studi Literatur.....	95
3.4	Tahapan Penelitian.....	96
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		116
4.1	Pengujian Lapangan	116
4.1.1	Pemeriksaan Kondisi Visual.....	116
4.1.2	<i>Hammer Test</i>	141
4.1.3	<i>Ultrasonic Pulse Velocity Test (UPV)</i>	164
4.1.4	Pengujian Kedalaman Retak.....	178
4.1.5	Pengujian Lebar Retak	184
4.2	Analisis Struktur.....	187
4.2.1	Permodelan Struktur.....	187
4.2.2	Analisis Pembebanan Struktur	189
4.2.3	Hasil Analisis Struktur.....	208
4.2.4	<i>Pushover Analysis</i>	215

4.3	Analisis Kapasitas Elemen Struktur	243
4.3.1	Analisis Kapasitas Balok.....	243
4.3.2	Analisis Kapasitas Kolom	252
4.3.3	Analisis Kapasitas Pelat	256
4.3.4	Kesimpulan Analisis Kapasitas Elemen Struktur	259
4.4	Perkuatan menggunakan <i>Fiber Reinforced Polymer</i> (FRP).....	264
4.4.1	Spesifikasi Material FRP	264
4.4.2	Analisis Kapasitas Penampang diperkuat FRP.....	265
4.4.3	Hasil Perkuatan Kapasitas menggunakan FRP.....	276
BAB V KESIMPULAN.....		278
5.1.	Kesimpulan.....	278
5.2.	Saran	279
DAFTAR PUSTAKA.....		280
LAMPIRAN.....		285

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kualitas beton berdasarkan kecepatan gelombang.....	14
Tabel 2. 2 Batasan nilai mutu beton $f'c$	14
Tabel 2. 3 Keseragaman beton	15
Tabel 2. 4 <i>Definition of damage levels of structural members</i>	17
Tabel 2. 5 <i>Determination of damage level</i>	18
Tabel 2. 6 <i>Structural performance levels and damage</i>	18
Tabel 2. 7 Jenis beban mati pada gedung.....	21
Tabel 2. 8 Beban hidup terdistribusi merata minimum, L_0 dan beban hidup terpusat minimum.....	22
Tabel 2. 9 Rekapitan beban hidup yang bekerja pada bangunan.....	25
Tabel 2. 10 Langkah-langkah untuk menentukan beban angin SPGAU untuk bangunan gedung tertutup, tertutup sebagian, dan terbuka dari semua ketinggian.....	25
Tabel 2. 11 Kategori risiko bangunan dan struktur lainnya untuk beban banjir, angin, salju, gempa, dan es.....	26
Tabel 2. 12 Sistem klasifikasi untuk kecepatan angin desain	28
Tabel 2. 13 Faktor arah angin, K_d	29
Tabel 2. 14 Pengali topografi untuk eksposur $C^{a,b,c}$	30
Tabel 2. 15 Parameter untuk meningkatkan kecepatan di atas bukit dan tebing....	31
Tabel 2. 16 Faktor elevasi permukaan tanah, K_e	31
Tabel 2. 17 Sistem penahan gaya angin utama dan komponen dan klading (semua ketinggian): koefisien tekanan internal, (GC_{pi}) , untuk bangunan tertutup, tertutup sebagian, terbuka sebagian, dan bangunan terbuka (dinding dan atap).....	32
Tabel 2. 18 Koefisien eksposur tekanan kecepatan, K_h dan K_z	33
Tabel 2. 19 Koefisien gaya, C_f , untuk cerobong asap, tangki, dan struktur serupa	35
Tabel 2. 20 Kategori risiko bangunan gedung dan nongedung untuk beban gempa	37
Tabel 2. 21 Faktor keutamaan gempa	39
Tabel 2. 22 Koefisien situs, F_a	41
Tabel 2. 23 Koefisien situs, F_v	41

Tabel 2. 24 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek	43
Tabel 2. 25 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik	43
Tabel 2. 26 Faktor R , C_d , dan Ω_0 untuk sistem pemikul gaya seismik	46
Tabel 2. 27 Batas simpangan antar tingkat.....	51
Tabel 2. 28 Faktor reduksi kekuatan (ϕ) untuk momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial	60
Tabel 2. 29 Nilai β_1 untuk distribusi tegangan beton persegi ekuivalen.....	62
Tabel 2. 30 Ketebalan minimum pelat dua arah nonprategang tanpa balok interior	67
Tabel 2. 31 Perbandingan efektivitas jenis perkuatan elemen struktur	75
Tabel 2. 32 Faktor reduksi lingkungan untuk sistem FRP dan jenis paparannya (<i>exposure</i>).....	77
Tabel 2. 33 Perbandingan sifat karakteristik material FRP dan Baja.....	77
Tabel 2. 34 Spesifikasi FRP <i>Sika Carbodur S</i>	85
Tabel 3. 1 Data perencanaan struktur	96
Tabel 4. 1 Rekapitulasi kondisi eksisting kolom persegi lantai 1	117
Tabel 4. 2 Rekapitulasi kondisi eksisting kolom lingkaran lantai 1	118
Tabel 4. 3 Rekapitulasi kondisi eksisting kolom persegi lantai 2	119
Tabel 4. 4 Rekapitulasi kondisi eksisting kolom lingkaran lantai 2.....	120
Tabel 4. 5 Rekapitulasi kondisi eksisting kolom persegi lantai 3	121
Tabel 4. 6 Rekapitulasi kondisi eksisting kolom lingkaran lantai 3.....	122
Tabel 4. 7 Rekapitulasi kondisi eksisting kolom persegi lantai 4	123
Tabel 4. 8 Rekapitulasi kondisi eksisting kolom lingkaran lantai 4.....	123
Tabel 4. 9 Rekapitulasi kondisi eksisting balok lantai 1 (+4,95)	126
Tabel 4. 10 Rekapitulasi kondisi eksisting balok lantai 2 (+7,45)	128
Tabel 4. 11 Rekapitulasi kondisi eksisting balok lantai 3 (+8,95)	130
Tabel 4. 12 Rekapitulasi kondisi eksisting balok lantai 4 (+11,40)	132
Tabel 4. 13 Rekapitulasi kondisi eksisting pelat lantai 2	137
Tabel 4. 14 Dokumentasi pengamatan visual kondisi eksisting.....	140
Tabel 4. 15 Hasil kalibrasi alat <i>Hammer Test</i>	142

Tabel 4. 16 Hasil pengujian <i>Hammer Test</i>	143
Tabel 4. 17 Hasil pengujian <i>Hammer Test</i> dengan nilai R yang sudah dikoreksi	147
Tabel 4. 18 Hasil analisis pengujian <i>Hammer Test</i>	151
Tabel 4. 19 Analisis keseragaman data <i>Hammer Test</i> pada kolom	156
Tabel 4. 20 Analisis keseragaman data <i>Hammer Test</i> pada balok dan pelat	157
Tabel 4. 21 Dokumentasi pengujian <i>Hammer Test</i>	163
Tabel 4. 22 Hasil pembacaan alat <i>Ultrasonic Pulse Velocity Test</i>	165
Tabel 4. 23 Hasil analisis nilai UPV <i>Test</i>	169
Tabel 4. 24 Dokumentasi pengujian <i>Ultrasonic Pulse Velocity Test</i>	176
Tabel 4. 25 Rekapitulasi perbandingan hasil uji <i>Hammer Test</i> dan <i>Ultrasonic Pulse Velocity</i>	178
Tabel 4. 26 Hasil pengujian kedalaman retak	179
Tabel 4. 27 Dokumentasi pengujian kedalaman retak	183
Tabel 4. 28 Hasil pengujian lebar retak.....	184
Tabel 4. 29 Dokumentasi pengujian lebar retak.....	186
Tabel 4. 30 Spesifikasi permodelan gedung eksisting	187
Tabel 4. 31 Berat sendiri material struktur.....	190
Tabel 4. 32 Beban mati tambahan pada pelat lantai.....	190
Tabel 4. 33 Beban mati tambahan pada balok.....	191
Tabel 4. 34 Beban hidup yang bekerja pada bangunan.....	192
Tabel 4. 35 Sistem klasifikasi untuk kecepatan angin desain	194
Tabel 4. 36 Faktor arah angin, K_d	195
Tabel 4. 37 Koefisien tekanan internal (GC_{pi})	196
Tabel 4. 38 Koefisien eksposur tekanan kecepatan (K_z).....	196
Tabel 4. 39 Koefisien tekanan eksternal gedung.....	198
Tabel 4. 40 Koefisien tekanan dinding, C_p	198
Tabel 4. 41 Koefisien tekanan angin (C_p) kubah.....	199
Tabel 4. 42 Koefisien tekanan angin (C_p) menara.....	200
Tabel 4. 43 Koefisien tekanan angin (C_f) menara rangka batang persegi empat	200
Tabel 4. 44 Koefisien tekanan angin (C_f) menara rangka batang segi delapan...	200
Tabel 4. 45 Kategori risiko bangunan gedung dan nongedung untuk beban gempa	201

Tabel 4. 46 Faktor keutamaan gempa	203
Tabel 4. 47 Koefisien situs, F_a	205
Tabel 4. 48 Koefisien situs, F_v	205
Tabel 4. 49 Kategori desain spektra berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek, S_{DS}	206
Tabel 4. 50 Kategori desain spektra berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik, S_{D1}	206
Tabel 4. 51 Hasil gaya dalam balok	212
Tabel 4. 52 Hasil gaya dalam kolom.....	213
Tabel 4. 53 Hasil gaya dalam pelat	214
Tabel 4. 54 Simpangan Arah X	218
Tabel 4. 55 Simpangan Arah Y	218
Tabel 4. 56 <i>Displacement</i> dan <i>Base Shear</i> Arah X	219
Tabel 4. 57 <i>Displacement</i> dan <i>Base Shear</i> Arah Y	220
Tabel 4. 58 Target perpindahan FEMA 356	221
Tabel 4. 59 Target perpindahan ATC-40	222
Tabel 4. 60 <i>Displacement</i> dan <i>Base Shear</i> Arah X	223
Tabel 4. 61 <i>Displacement</i> dan <i>BaseForce</i> Arah Y	224
Tabel 4. 62 Evaluasi kinerja struktur berdasarkan FEMA 356	226
Tabel 4. 63 Evaluasi kinerja struktur berdasarkan ATC-40.....	226
Tabel 4. 64 Mekanisme sendi plastis <i>Push X</i>	227
Tabel 4. 65 Mekanisme sendi plastis <i>Push Y</i>	235
Tabel 4. 66 Perbandingan hasil analisis perhitungan manual dan <i>Response2000247</i>	
Tabel 4. 67 Hasil analisis kapasitas balok.....	250
Tabel 4. 68 Hasil analisis kapasitas kolom.....	256
Tabel 4. 69 Hasil analisis kapasitas pelat	258
Tabel 4. 70 Rekapitulasi elemen struktur tidak aman	259
Tabel 4. 71 Spesifikasi FRP <i>Sika Carbodur S</i>	265
Tabel 4. 72 Rekapitulasi hasil perkuatan menggunakan program <i>XTRACT</i>	276
Tabel 4. 73 Rekapitulasi hasil perkuatan menggunakan perhitungan manual	277

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Masjid Hasnur Asy-Syajah.....	2
Gambar 2. 1 Tata cara pemeriksaan kelaikan fungsi bangunan gedung	6
Gambar 2. 2 Alat <i>Core Drilled Test</i>	7
Gambar 2. 3 Alat <i>Compression Testing Machine</i>	8
Gambar 2. 4 Alat <i>Universal Testing Machine</i>	8
Gambar 2. 5 Alat pengukuran elemen struktur	9
Gambar 2. 6 Keretakan yang terjadi pada kolom eksisting	10
Gambar 2. 7 Alat <i>Hammer Test</i>	10
Gambar 2. 8 Skema alat <i>Hammer Test</i>	11
Gambar 2. 9 Korelasi kuat tekan dengan hasil <i>Hammer Test</i>	12
Gambar 2. 10 Alat <i>Rebar D-tect 120</i>	12
Gambar 2. 11 Skema peralatan pengujian.....	15
Gambar 2. 12 Metode pengujian dengan alat UPV Test.....	16
Gambar 2. 13 Alat UPV A1410 PULSAR	17
Gambar 2. 14 Pengujian lebar retak.....	19
Gambar 2. 15 Pengujian kedalaman retak.....	20
Gambar 2. 16 Peta angin umum tingkat daerah	28
Gambar 2. 17 Faktor topografi, K_{zt}	30
Gambar 2. 18 Sistem Penahan Gaya Angin Utama, Bagian 1 (seluruh ketinggian): koefisien tekanan eksternal, C_p , untuk bangunan tertutup dan bangunan tertutup sebagian dinding dan atap	34
Gambar 2. 19 Sistem Penahan Gaya Angin Utama, Bagian 1 (semua ketinggian): koefisien tekanan eksternal, C_p , untuk bangunan gedung dan struktur tertutup dan tertutup sebagian atap kubah dengan dasar lingkaran	35
Gambar 2. 20 Parameter gerak tanah S_S , gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) wilayah Indonesia untuk respons spektrum 0,2- detik (redaman kritis 5%).....	40
Gambar 2. 21 Parameter gerak tanah, S_1 , gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) wilayah Indonesia untuk respons spektrum 0,2- detik (redaman kritis 5%).....	40
Gambar 2. 22 Peta transisi periode panjang, T_L , wilayah Indonesia.....	44

Gambar 3. 5 Denah aktual sloof.....	98
Gambar 3. 6 Denah aktual kolom neut.....	99
Gambar 3. 7 Denah aktual balok lantai -0,05.....	100
Gambar 3. 8 Denah aktual pelat -0,05.....	101
Gambar 3. 9 Denah aktual kolom -0,05	102
Gambar 3. 10 Denah aktual balok +4,95	103
Gambar 3. 11 Denah aktual pelat +4,95.....	104
Gambar 3. 12 Denah aktual kolom +4,95	105
Gambar 3. 13 Denah aktual balok +7,45	106
Gambar 3. 14 Denah aktual pelat +7,45.....	107
Gambar 3. 15 Denah aktual kolom +7,45	108
Gambar 3. 16 Denah aktual balok +8,95	109
Gambar 3. 17 Denah aktual pelat +8,95.....	110
Gambar 3. 18 Denah aktual kolom +8,95	111
Gambar 3. 19 Denah aktual balok +11,40.....	112
Gambar 3. 20 Permodelan Masjid Hasnur Asy-Syajarah.....	114
Gambar 4. 1 Pemeriksaan visual pada kolom	116
Gambar 4. 2 Denah kolom lantai 1	117
Gambar 4. 3 Denah kolom lantai 2	119
Gambar 4. 4 Denah kolom lantai 3	121
Gambar 4. 5 Denah kolom lantai 4	123
Gambar 4. 6 Kolom baja pada lantai 3.....	124
Gambar 4. 7 Perbandingan kolom beton yang mengalami retak	124
Gambar 4. 8 Pemeriksaan visual pada balok	125
Gambar 4. 9 Denah balok lantai 1 (+4,95).....	125
Gambar 4. 10 Denah balok lantai 2 (+7,45).....	128
Gambar 4. 11 Denah balok lantai 3 (+8,95).....	130
Gambar 4. 12 Denah balok lantai 4 (+11,40).....	132
Gambar 4. 13 Balok baja pada lantai 4	133
Gambar 4. 14 Perbandingan balok beton yang mengalami retak.....	133
Gambar 4. 15 Perbandingan balok beton yang berlumut.....	134
Gambar 4. 16 Perbandingan balok beton yang mengalami keropos.....	134

Gambar 4. 17 Perbandingan balok beton yang mengalami <i>honeycomb</i>	135
Gambar 4. 18 Pemeriksaan visual pada pelat lantai.....	135
Gambar 4. 19 Denah pelat lantai 2.....	136
Gambar 4. 20 Denah pelat lantai 3.....	136
Gambar 4. 21 Denah pelat lantai 4.....	137
Gambar 4. 22 Pelat dak pada lantai 4.....	138
Gambar 4. 23 Perbandingan pelat lantai beton yang dapat diakses	138
Gambar 4. 24 Perbandingan pelat lantai beton yang mengalami retak.....	139
Gambar 4. 25 Perbandingan pelat lantai beton yang mengalami keropos	139
Gambar 4. 26 <i>Anvil</i> kalibrasi <i>Hammer Test</i>	141
Gambar 4. 27 Kalibrasi alat <i>Hammer Test</i>	141
Gambar 4. 28 Pengujian <i>Hammer Test</i>	142
Gambar 4. 29 Hasil <i>Hammer Test</i> kolom.....	154
Gambar 4. 30 Hasil <i>Hammer Test</i> pelat lantai	154
Gambar 4. 31 Hasil <i>Hammer Test</i> balok	155
Gambar 4. 32 Keseragaman data <i>Hammer Test</i> pada kolom	159
Gambar 4. 33 Keseragaman data <i>Hammer Test</i> pada balok dan pelat	159
Gambar 4. 34 Denah pengujian <i>Hammer Test</i> kolom lantai 1	160
Gambar 4. 35 Denah pengujian <i>Hammer Test</i> kolom lantai 4	160
Gambar 4. 36 Denah pengujian <i>Hammer Test</i> balok lantai 2.....	161
Gambar 4. 37 Denah pengujian <i>Hammer Test</i> balok lantai 3.....	161
Gambar 4. 38 Denah pengujian <i>Hammer Test</i> balok lantai 5.....	162
Gambar 4. 39 Denah pengujian <i>Hammer Test</i> pelat lantai 2.....	162
Gambar 4. 40 Denah pengujian <i>Hammer Test</i> pelat lantai 3.....	163
Gambar 4. 41 Pengujian UPV.....	165
Gambar 4. 42 Nilai <i>Velocity</i> hasil pembacaan alat	168
Gambar 4. 43 Hasil UPV kolom	171
Gambar 4. 44 Hasil UPV balok.....	171
Gambar 4. 45 Hasil UPV pelat lantai	172
Gambar 4. 46 Denah pengujian UPV kolom lantai 1.....	172
Gambar 4. 47 Denah pengujian UPV kolom lantai 4.....	173
Gambar 4. 48 Denah pengujian UPV balok lantai 2.....	173

Gambar 4. 49 Denah pengujian UPV balok lantai 3	174
Gambar 4. 50 Denah pengujian UPV balok lantai 5	174
Gambar 4. 51 Denah pengujian UPV pelat lantai 2	175
Gambar 4. 52 Denah pengujian UPV pelat lantai 3	175
Gambar 4. 53 Perbandingan hasil uji <i>Hammer Test</i> dan <i>Ultrasonic Pulse Velocity</i> pada elemen kolom.....	177
Gambar 4. 54 Perbandingan hasil uji <i>Hammer Test</i> dan <i>Ultrasonic Pulse Velocity</i> pada elemen balok	177
Gambar 4. 55 Perbandingan hasil uji <i>Hammer Test</i> dan <i>Ultrasonic Pulse Velocity</i> pada elemen pelat lantai	178
Gambar 4. 56 Pengujian kedalaman retak.....	179
Gambar 4. 57 Hasil pengujian kedalaman retak	181
Gambar 4. 58 Denah pengujian kedalaman retak balok lantai 2.....	181
Gambar 4. 59 Denah pengujian kedalaman retak balok lantai 3.....	182
Gambar 4. 60 Denah pengujian kedalaman retak kolom lantai 1	182
Gambar 4. 61 Denah pengujian kedalaman retak pelat lantai 2.....	183
Gambar 4. 62 Pengujian lebar retak.....	184
Gambar 4. 63 Hasil pengujian lebar retak.....	186
Gambar 4. 64 Perspektif 3 dimensi	188
Gambar 4. 65 Tampak samping 3 dimensi.....	189
Gambar 4. 66 Tampak atas 3 dimensi	189
Gambar 4. 67 Beban mati tambahan pada struktur	191
Gambar 4. 68 Beban hidup pada struktur.....	192
Gambar 4. 69 Peta angin umum tingkat daerah	194
Gambar 4. 70 Diagram beban angin gedung.....	197
Gambar 4. 71 Diagram koefisien tekanan angin kubah	199
Gambar 4. 72 Parameter gerak tanah S_s	203
Gambar 4. 73 Parameter gerak tanah S_1	204
Gambar 4. 74 Spektrum respon desain daerah Kabupaten Tapin	204
Gambar 4. 75 Diagram gaya aksial.....	208
Gambar 4. 76 Diagram gaya geser sumbu X	208
Gambar 4. 77 Diagram gaya geser sumbu Y	209

Gambar 4. 78 Diagram momen sumbu X	209
Gambar 4. 79 Diagram momen sumbu Y	210
Gambar 4. 80 Kontur momen pelat lantai 1	210
Gambar 4. 81 Kontur momen pelat lantai 2	211
Gambar 4. 82 Kontur momen pelat lantai 3	211
Gambar 4. 83 Kontur momen pelat lantai 4	212
Gambar 4. 84 Pendefinisian <i>gravity load case</i>	215
Gambar 4. 85 Pendefinisian beban lateral <i>pushover</i> arah X dan Y	216
Gambar 4. 86 Pendefinisian sendi plastis	217
Gambar 4. 87 Pendefinisian sendi plastis pada balok	217
Gambar 4. 88 Pendefinisian sendi plastis pada kolom	217
Gambar 4. 89 Kurva kapasitas arah X	219
Gambar 4. 90 Kurva kapasitas arah Y	220
Gambar 4. 91 Kinerja struktur arah X pada <i>Step 3</i>	224
Gambar 4. 92 Kurva kapasitas arah X dengan batasan Level Kinerja Struktur ..	224
Gambar 4. 93 Kinerja struktur arah Y pada <i>Step 3</i>	225
Gambar 4. 94 Kurva kapasitas arah Y dengan batasan Level Kinerja Struktur ..	226
Gambar 4. 95 Mekanisme runtuh <i>Push X Step 0</i>	229
Gambar 4. 96 Mekanisme runtuh <i>Push X Step 1</i>	229
Gambar 4. 97 Distribusi sendi plastis pada <i>Step 1</i>	230
Gambar 4. 98 Mekanisme runtuh <i>Push X Step 2</i>	230
Gambar 4. 99 Distribusi sendi plastis pada <i>Step 2</i>	230
Gambar 4. 100 Mekanisme runtuh <i>Push X Step 3</i>	231
Gambar 4. 101 Mekanisme runtuh <i>Push X Step 4</i>	231
Gambar 4. 102 Distribusi sendi plastis pada <i>Step 4</i>	231
Gambar 4. 103 Mekanisme runtuh <i>Push X Step 5</i>	232
Gambar 4. 104 Distribusi sendi plastis pada <i>Step 5</i>	232
Gambar 4. 105 Mekanisme runtuh <i>Push X Step 6</i>	232
Gambar 4. 106 Mekanisme runtuh <i>Push X Step 7</i>	233
Gambar 4. 107 Mekanisme runtuh <i>Push X Step 8</i>	233
Gambar 4. 108 Mekanisme runtuh <i>Push X Step 9</i>	233
Gambar 4. 109 Mekanisme runtuh <i>Push X Step 10</i>	234

Gambar 4. 110 Distribusi sendi plastis pada <i>Step</i> 10	234
Gambar 4. 111 Mekanisme runtuh <i>Push X Step</i> 11	234
Gambar 4. 112 Mekanisme runtuh <i>Push X Step</i> 12.....	235
Gambar 4. 113 Mekanisme runtuh <i>Push Y Step</i> 0.....	237
Gambar 4. 114 Mekanisme runtuh <i>Push Y Step</i> 1	237
Gambar 4. 115 Distribusi sendi plastis pada <i>Step</i> 1	237
Gambar 4. 116 Mekanisme runtuh <i>Push Y Step</i> 2.....	238
Gambar 4. 117 Distribusi sendi plastis pada <i>Step</i> 2	238
Gambar 4. 118 Mekanisme runtuh <i>Push Y Step</i> 3.....	239
Gambar 4. 119 Mekanisme runtuh <i>Push Y Step</i> 4.....	239
Gambar 4. 120 Distribusi sendi plastis pada <i>Step</i> 4.....	239
Gambar 4. 121 Mekanisme runtuh <i>Push Y Step</i> 5.....	240
Gambar 4. 122 Distribusi sendi plastis pada <i>Step</i> 5	240
Gambar 4. 123 Mekanisme runtuh <i>Push Y Step</i> 6.....	240
Gambar 4. 124 Mekanisme runtuh <i>Push Y Step</i> 7.....	241
Gambar 4. 125 Mekanisme runtuh <i>Push Y Step</i> 8.....	241
Gambar 4. 126 Mekanisme runtuh <i>Push Y Step</i> 9.....	241
Gambar 4. 127 Mekanisme runtuh <i>Push Y Step</i> 10.....	242
Gambar 4. 128 Distribusi sendi plastis pada <i>Step</i> 10.....	242
Gambar 4. 129 Mekanisme runtuh <i>Push Y Step</i> 11	242
Gambar 4. 130 Input data mutu material	245
Gambar 4. 131 Input data ukuran penampang balok	245
Gambar 4. 132 Input data tulangan utama	246
Gambar 4. 133 Input data tulangan sengkang.....	246
Gambar 4. 134 <i>Cross Section</i> balok B30-40.....	246
Gambar 4. 135 <i>Sectional Response</i> balok B30-40	247
Gambar 4. 136 Input data material beton kolom.....	252
Gambar 4. 137 Input data material baja tulangan kolom.....	253
Gambar 4. 138 Hasil input data penampang kolom.....	253
Gambar 4. 139 Hasil input gaya dalam.....	254
Gambar 4. 140 Diagram interaksi kolom.....	254
Gambar 4. 141 Perkuatan momen tumpuan positif B20-40.....	260

Gambar 4. 142 Perkuatan momen tumpuan negatif B30-40.....	260
Gambar 4. 143 Perkuatan momen tumpuan positif B30-40.....	261
Gambar 4. 144 Perkuatan momen lapangan negatif B30-40	261
Gambar 4. 145 Perkuatan momen lapangan positif B30-40	262
Gambar 4. 146 Perkuatan momen tumpuan positif B30-60.....	262
Gambar 4. 147 Perkuatan momen lapangan negatif B30-60	263
Gambar 4. 148 Perkuatan momen tumpuan negatif B40-60.....	263
Gambar 4. 149 Perkuatan momen lapangan negatif B40-60	264
Gambar 4. 150 Penerapan FRP <i>Sika Carbodur</i> pada perkuatan balok	264
Gambar 4. 151 <i>Define</i> material beton inti.....	266
Gambar 4. 152 <i>Define</i> material baja	266
Gambar 4. 153 <i>Define</i> material selimut beton	266
Gambar 4. 154 <i>Define</i> material FRP	266
Gambar 4. 155 Menggambar penampang elemen beton.....	267
Gambar 4. 156 Memilih material penampang beton.....	267
Gambar 4. 157 <i>Rebar Characteristics</i>	268
Gambar 4. 158 Penampang beton pada <i>software XTRACT</i>	268
Gambar 4. 159 Menggambar penampang elemen FRP	269
Gambar 4. 160 Memilih material penampang FRP	269
Gambar 4. 161 Penampang melintang beton bertulang diperkuat FRP	269
Gambar 4. 162 Penampang memanjang beton bertulang diperkuat FRP	270
Gambar 4. 163 <i>Input</i> pembebanan pada <i>XTRACT</i>	270
Gambar 4. 164 <i>Analysis Report XTRACT</i> B30/40 sebelum diperkuat FRP.....	271
Gambar 4. 165 <i>Analysis Report XTRACT</i> B30/40 setelah diperkuat FRP.....	272