

PERBANDINGAN PERKUATAN STRUKTUR PELAT DENGAN METODE ELEMEN HINGGA

Samuel Agustinus
NRP: 1321005

Pembimbing: Cindrawaty Lesmana, S.T., MSc. (Eng.), Ph.D.

ABSTRAK

Kerusakan pada bangunan disebabkan karena beberapa hal, di antaranya: salah perhitungan atau salah perencanaan awal, bencana alam, perubahan fungsi ruang, dan sebagainya. Jika kerusakan struktur telah terjadi, maka perlu perbaikan atau perkuatan sesuai dengan kerusakannya, begitupun pada pelat lantai. Perkuatan pada pelat lantai mempunyai beberapa solusi, yaitu menggunakan FRP, menambah tebal pelat, dan sebagainya. Memilih perkuatan pelat yang efektif memerlukan beberapa pertimbangan, antara lain: seberapa besar pengaruh perkuatan yang dilakukan, biaya perkuatan, waktu pekerjaan, dan metode pelaksanaan pekerjaan. Analisis yang dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh perkuatan pelat adalah dengan metode elemen hingga (MEH). Analisis membutuhkan data lengkap, seperti dimensi pelat, tebal pelat, mutu beton, diameter tulangan, jenis tulangan, dan spasi antar tulangan. Untuk memperoleh data tersebut dibutuhkan investigasi dan uji lapangan. Setelah dilakukan analisis perkuatan pelat, lalu dilakukan analisis biaya perkuatan, waktu pekerjaan, dan metode pelaksanaan pekerjaan untuk mendapatkan jenis perkuatan yang efektif.

Tujuan penelitian dalam Tugas Akhir ini adalah membandingkan antara perkuatan struktur pelat menggunakan FRP dan memperkecil bentang pelat dengan menggunakan balok IWF. Pertimbangan dilakukan berdasarkan hasil analisis MEH, biaya perkuatan, waktu pekerjaan, dan metode pelaksanaan pekerjaan. Hasil analisis, menyatakan bahwa pelat lantai dengan menggunakan perkuatan FRP, baik model satu, dua, dan tiga, memiliki *displacement* dan tegangan lebih baik daripada menggunakan balok IWF, namun biaya perkuatan dengan FRP model satu, dan dua lebih mahal dibandingkan dengan menggunakan FRP model tiga dan IWF.

Kata Kunci: pelat lantai, analisis MEH, biaya perkuatan, waktu pekerjaan, dan metode pelaksanaan pekerjaan.

COMPARISON OF STRENGTH STRUTURE PLATE WITH FINITE ELEMEN METHOD

Samuel Agustinus
NRP: 1321005

Supervisor: Cindrawaty Lesmana, S.T., MSc. (Eng.), Ph.D.

ABSTRACT

The damage of the building can be caused by anything, include: the wrong calculation or by the first planning mistake, natural disaster, the room changing function, and the others. If the damage of the structure had happened, then refinement is needed or make its stronger compatible with the damage, as well as a floor plate. To make the floor plate stronger there are some solution, like using FRP, adding the thick of the plate, and the others. Choosing how to effectively make plate stronger is need some consideration, for example: how much the influence after the strengthen, total cost, total time, and the work method. Analysis that we do to know how much the influence after strengthen the plate, is by finite element method (FEM). To make analysis, we need a whole information and statistics, for example like, plate's dimension, plate's thick, quality of steel, the diamter of the frame, frame type, and the distance between the frame. To gain the information, investigation and field test is required. After analysis strengthen the plate finish, then cost analysis, total time, and work method to get highly effective strengthen.

The purpose of this research is to compare the strengthen plate structure between using FRP and reducing plate with using IWF pole. The consideration is been made by the result of FEM analysis, total cost , total time, and work method.

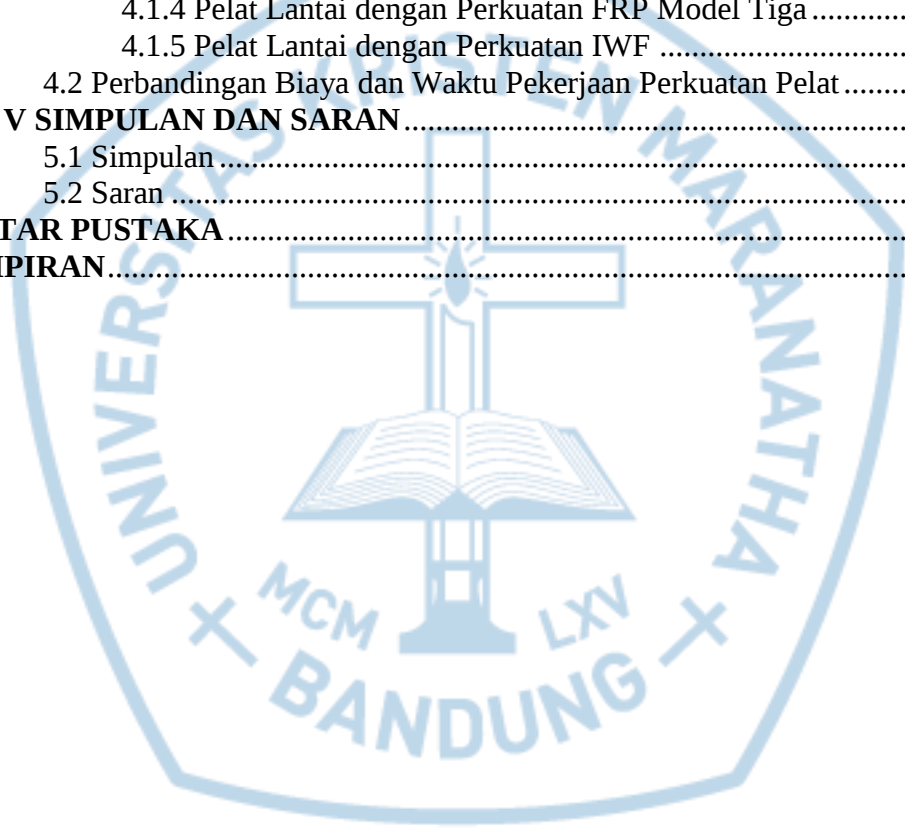
The result of analysis indicate that the floor plate using FRP model one, two, or three, has a displacement and stress is better than using IWF. But the cost of FRP model one, and two is more expensive compared to using FRP model three and IWF.

Key Word: *floor plate, FEM analysis, cost estimation, total time, and work method.*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN ORISINALITAS LAPORAN PENELITIAN	iii
PERNYATAAN PUBLIKASI LAPORAN PENELITIAN	iv
SURAT KETERANGAN TUGAS AKHIR	v
SURAT KETERANGAN SELESAI TUGAS AKHIR	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR NOTASI.....	xviii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	4
1.3 Ruang Lingkup Penelitian.....	5
1.4 Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN LITERATUR.....	6
2.1 Struktur Beton Bertulang	6
2.2 Struktur Baja	8
2.3 Struktur Pelat	9
2.4 Metode Elemen Hingga (MEH).....	13
2.5 Investigasi dan Uji Lapangan	15
2.6 Kerusakan Struktur Pelat	16
2.7 Penyebab Kerusakan Struktur Pelat	16
2.8 Kapasitas Lentur Pelat Beton Bertulang	18
2.9 Jenis Perkuatan Struktur Pelat	18
2.10 Autodesk Nastran In-Cad 2016	22
BAB III METODE PENELITIAN	24
3.1 Diagram Alir Penelitian	24
3.2 Investigasi dan Pengolahan Data Sekunder	26
3.3 Pemodelan Struktur Pelat Menggunakan <i>Software Autodesk Nastran In-Cad 2016</i>	30
3.4 Perkuatan Struktur Pelat Lantai	49
3.4.1 Perkuatan Pelat dengan Menggunakan FRP Model Satu.....	49
3.4.2 Pemodelan Perkuatan Pelat dengan Menggunakan FRP Model Satu Menggunakan <i>Software Autodesk Nastran In-Cad 2016</i>	50
3.4.3 Perkuatan Pelat dengan Menggunakan FRP Model Dua	55
3.4.4 Pemodelan Perkuatan Pelat dengan Menggunakan FRP Model Dua Menggunakan <i>Software Autodesk Nastran</i>	

<i>In-Cad 2016</i>	56
3.4.5 Perkuatan Pelat dengan Menggunakan FRP Model Tiga	61
3.4.6 Pemodelan Perkuatan Pelat dengan Menggunakan FRP Model Tiga Menggunakan <i>Software Autodesk Nastran</i> <i>In-Cad 2016</i>	62
3.4.7 Perkuatan Pelat dengan Menggunakan Balok IWF	67
3.4.8 Pemodelan Perkuatan Pelat dengan Menggunakan Balok IWF	68
3.5 Wawancara Estimasi Biaya dan Metode Pelaksanaan	72
BAB IV ANALISIS DATA	
4.1 Perbandingan Hasil Analisis Pelat dan Perkuatan Pelat	74
4.1.1 Pelat Lantai Tanpa Perkuatan	74
4.1.2 Pelat Lantai dengan Perkuatan FRP Model Satu	79
4.1.3 Pelat Lantai dengan Perkuatan FRP Model Dua	83
4.1.4 Pelat Lantai dengan Perkuatan FRP Model Tiga	88
4.1.5 Pelat Lantai dengan Perkuatan IWF	92
4.2 Perbandingan Biaya dan Waktu Pekerjaan Perkuatan Pelat	98
BAB V SIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Simpulan	102
5.2 Saran	103
DAFTAR PUSTAKA	104
LAMPIRAN	107



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Kerusakan Struktur Bangunan	2
Gambar 1.2	Kerusakan Pelat.....	3
Gambar 2.1	Hubungan Tegangan Regangan Beton Menurut Hognestad	7
Gambar 2.2	<i>Flat Plate Slab</i>	9
Gambar 2.3	Sistem Lantai <i>Grid</i>	10
Gambar 2.4	Sistem Pelat dan Balok.....	10
Gambar 2.5	Pelat Kantilever	11
Gambar 2.6	Pelat Dua Tumpuan Sejajar.....	12
Gambar 2.7	Penulangan Pelat Lantai Dua Arah	13
Gambar 2.8	Diskretisasi Suatu Kontinum pada Metode Elemen Hingga	14
Gambar 2.9	Hubungan Diagram Tegangan Regangan Perkuatan Lentur.....	22
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	25
Gambar 3.2	Lokasi Pelat Lt.4 (1'2-BB')	26
Gambar 3.3	<i>Rebar Locator</i> Lt.4.....	28
Gambar 3.4	<i>Software Autodesk Inventor Professional</i> 2016	30
Gambar 3.5	Tampilan <i>Autodesk Inventor Professional</i> 2016.....	30
Gambar 3.6	Tampilan <i>Create New File di Autodesk Inventor Professional</i> 2016.....	31
Gambar 3.7	Langkah Sketsa 2D	31
Gambar 3.8	Tampilan Sketsa 2D	32
Gambar 3.9	Desain Pelat 2D	32
Gambar 3.10	Langkah <i>Extrude</i> Gambar	33
Gambar 3.11	Langkah Memilih Lahan Gambar	33
Gambar 3.12	Langkah Gambar Tulangan.....	34
Gambar 3.13	Pelat Lantai dan Tulangan Pelat.....	34
Gambar 3.14	Pelat Lantai 83mm	35
Gambar 3.15	Langkah Menggabungkan Pelat Lantai.....	35
Gambar 3.16	Langkah Memasukkan <i>Part</i> ke <i>Assembly</i>	36
Gambar 3.17	Memilih <i>File Part</i> Satu yang Dimasukkan ke <i>Assembly</i>	36
Gambar 3.18	<i>File Part</i> Satu Telah Masuk ke <i>Assembly</i>	36
Gambar 3.19	Memilih <i>File Part</i> Dua yang Dimasukkan ke <i>Assembly</i>	37
Gambar 3.20	Langkah Menggabungkan Dua <i>Part</i> Menjadi Satu Bagian	37
Gambar 3.21	Pelat Lantai Sesuai Desain	38
Gambar 3.22	Langkah Masuk ke <i>Autodesk Nastran In-Cad</i> 2016	38
Gambar 3.23	Langkah Memasukkan Data Material Beton.....	39
Gambar 3.24	Langkah Memasukkan Tegangan-Regangan Beton f_c' 18MPa.....	40
Gambar 3.25	Langkah Menampilkan Kurva Hubungan Regangan dan Tegangan.....	40
Gambar 3.26	Kurva Hubungan Regangan dan Tegangan.....	41
Gambar 3.27	Langkah Memasukkan Data Material Baja Tulangan.....	42
Gambar 3.28	Langkah Memasukkan Hubungan Tegangan-Regangan Baja BJ 37	42
Gambar 3.29	Langkah Memasukkan Material Beton ke Dalam Pelat.....	42

Gambar 3.30 Tulangan Baja	43
Gambar 3.31 Langkah Memasukkan Material Baja ke Tulangan.....	43
Gambar 3.32 <i>Cross Section Definition</i>	44
Gambar 3.33 Langkah Memasukkan Perletakan Pelat	45
Gambar 3.34 Langkah Memasukkan Beban Pelat	45
Gambar 3.35 Langkah Menyatukan Pelat.....	46
Gambar 3.36 Langkah <i>Mesh</i> Pelat	46
Gambar 3.37 Desain Pelat Hasil <i>Mesh</i>	47
Gambar 3.38 Langkah Memilih Tipe Analisis.....	47
Gambar 3.39 Langkah Menentukan Jumlah <i>Increment</i>	48
Gambar 3.40 Langkah Melakukan Analisis Pelat Lantai.....	48
Gambar 3.41 FRP1 dengan Tebal 0,33mm.....	50
Gambar 3.42 Langkah Menggabungkan Pelat dengan FRP1	50
Gambar 3.43 Langkah Memasukkan FRP1 ke <i>Assembly</i> Pelat Lantai	50
Gambar 3.44 Memilih <i>File</i> FRP1 yang Dimasukkan ke <i>Assembly</i>	51
Gambar 3.45 <i>File</i> FRP1 Telah Masuk ke <i>Assembly</i>	51
Gambar 3.46 Langkah Menggabungkan FRP1 dengan Pelat Menjadi Satu Bagian	52
Gambar 3.47 Pelat Lantai Telah Dipasang FRP1	52
Gambar 3.48 Langkah Masuk ke <i>Autodesk Nastran In-Cad 2016</i>	52
Gambar 3.49 Langkah Memasukkan Data Material FRP1	53
Gambar 3.50 Langkah Memasukkan Material FRP1 ke Dalam Pelat	53
Gambar 3.51 Langkah Menyatukan Pelat dengan FRP1	54
Gambar 3.52 Langkah <i>Mesh</i> Pelat dan FRP1	54
Gambar 3.53 Langkah Analisis Pelat Lantai + FRP1	54
Gambar 3.54 FRP2 dengan Tebal 0,33mm.....	56
Gambar 3.55 Langkah Menggabungkan Pelat dengan FRP2	56
Gambar 3.56 Langkah Memasukkan FRP2 ke <i>Assembly</i> Pelat Lantai	56
Gambar 3.57 Memilih <i>File</i> FRP2 yang Dimasukkan ke <i>Assembly</i>	57
Gambar 3.58 <i>File</i> FRP2 Telah Masuk ke <i>Assembly</i>	57
Gambar 3.59 Langkah Menggabungkan FRP2 dengan Pelat Menjadi Satu Bagian	58
Gambar 3.60 Pelat Lantai Telah Dipasang FRP2	58
Gambar 3.61 Langkah Masuk ke Dalam <i>Autodesk Nastran In-Cad 2016</i>	58
Gambar 3.62 Langkah Memasukkan Data Material FRP2	59
Gambar 3.63 Langkah Memasukkan Material FRP2 ke Dalam Pelat	59
Gambar 3.64 Langkah Menyatukan Pelat dengan FRP2	60
Gambar 3.65 Langkah <i>Mesh</i> Pelat dan FRP2	60
Gambar 3.66 Langkah Analisis Pelat Lantai + FRP2	60
Gambar 3.67 FRP3 dengan Tebal 0,33mm.....	62
Gambar 3.68 Langkah Menggabungkan Pelat dengan FRP3	62
Gambar 3.69 Langkah Memasukkan FRP3 ke <i>Assembly</i> Pelat Lantai	62
Gambar 3.70 Memilih <i>File</i> FRP3 yang Akan Dimasukkan ke <i>Assembly</i>	63
Gambar 3.71 <i>File</i> FRP3 Telah Masuk ke <i>Assembly</i>	63
Gambar 3.72 Langkah Menggabungkan FRP3 dengan Pelat Menjadi Satu Bagian	64
Gambar 3.73 Pelat Lantai Telah Dipasang FRP3	64
Gambar 3.74 Langkah Masuk ke <i>Software Autodesk Nastran In-Cad 2016</i>	64

Gambar 3.75 Langkah Memasukkan Data Material FRP3	65
Gambar 3.76 Langkah Memasukkan Material FRP3 ke Dalam Pelat	65
Gambar 3.77 Langkah Menyatukan Pelat dengan FRP3	66
Gambar 3.78 Langkah <i>Mesh</i> Pelat dan FRP3	66
Gambar 3.79 Langkah Analisis Pelat Lantai + FRP3	66
Gambar 3.80 Balok IWF 150.100.6.9.11	68
Gambar 3.81 Langkah Menggabungkan Pelat dengan Balok IWF	69
Gambar 3.82 Langkah Memasukkan Balok IWF ke <i>Assembly</i>	69
Gambar 3.83 Memilih <i>File Part</i> Satu yang Dimasukan ke <i>Assembly</i>	69
Gambar 3.84 Langkah Memasukkan IWF ke <i>Assembly</i>	70
Gambar 3.85 Langkah Menggabungkan IWF dengan Pelat Menjadi Satu Bagian	70
Gambar 3.86 Pelat Lantai Telah Dipasang IWF	70
Gambar 3.87 Langkah Masuk ke <i>Autodesk Nastran In-Cad 2016</i>	71
Gambar 3.88 Langkah Memasukkan Material Baja ke Dalam Balok IWF	71
Gambar 3.89 Langkah Menyatukan Pelat dengan Balok IWF	72
Gambar 3.90 Langkah <i>Mesh</i> Pelat dan Balok IWF.....	72
Gambar 3.91 Langkah Analisis Pelat Lantai + IWF	72
Gambar 4.1 <i>Maximum Displacement vs Load Scale Factor</i> Pelat Lantai.....	74
Gambar 4.2 <i>Maximum Applied Load vs Load Scale Factor</i> Pelat Lantai.....	75
Gambar 4.3 <i>Display Maximum Displacement</i> Pada Pelat Lantai	76
Gambar 4.4 <i>Display Maximum Applied Load</i> Pada Pelat Lantai.....	76
Gambar 4.5 <i>Display</i> Tegangan Tulangan Baja Pada Pelat Lantai	77
Gambar 4.6 <i>Display</i> Tegangan Pada Pelat Lantai.....	78
Gambar 4.7 <i>Total Applied Load vs Displacement</i> Pelat Lantai	78
Gambar 4.8 <i>Maximum Displacement vs Load Scale Factor</i> Pelat Lantai + FRP1	79
Gambar 4.9 <i>Maximum Applied Load vs Load Scale Factor</i> Pelat Lantai + FRP1	80
Gambar 4.10 <i>Display Maximum Displacement</i> Pada Pelat Lantai + FRP1	80
Gambar 4.11 <i>Display Maximum Applied Load</i> Pada Pelat Lantai + FRP1	81
Gambar 4.12 <i>Display</i> Tegangan Tulangan Baja Pada Pelat Lantai + FRP1.....	82
Gambar 4.13 <i>Display</i> Tegangan Pada Pelat Lantai + FRP1	82
Gambar 4.14 <i>Total Applied Load vs Displacement</i> Pelat Lantai + FRP1.....	83
Gambar 4.15 <i>Maximum Displacement vs Load Scale Factor</i> Pelat Lantai + FRP2	84
Gambar 4.16 <i>Maximum Applied Load vs Load Scale Factor</i> Pelat Lantai + FRP2	84
Gambar 4.17 <i>Display Maximum Displacement</i> Pada Pelat Lantai + FRP2	85
Gambar 4.18 <i>Display Maximum Applied Load</i> Pada Pelat Lantai + FRP2	86
Gambar 4.19 <i>Display</i> Tegangan Tulangan Baja Pada Pelat Lantai + FRP2.....	86
Gambar 4.20 <i>Display</i> Tegangan Pada Pelat Lantai + FRP2	87
Gambar 4.21 <i>Total Applied Load vs Displacement</i> Pelat Lantai + FRP2.....	87
Gambar 4.22 <i>Maximum Displacement vs Load Scale Factor</i> Pelat Lantai + FRP3	88
Gambar 4.23 <i>Maximum Applied Load vs Load Scale Factor</i> Pelat Lantai + FRP3	89
Gambar 4.24 <i>Display Maximum Displacement</i> Pada Pelat Lantai + FRP3.....	89

Gambar 4.25 <i>Display Maximum Applied Load</i> Pada Pelat Lantai + FRP3.....	90
Gambar 4.26 <i>Display Tegangan Tulangan Baja</i> Pada Pelat Lantai + FRP3.....	91
Gambar 4.27 <i>Display Tegangan</i> Pada Pelat Lantai + FRP3	91
Gambar 4.28 <i>Total Applied Load vs Displacement</i> Pelat Lantai + FRP3.....	92
Gambar 4.29 <i>Maximum Displacement vs Load Scale Factor</i> Pelat Lantai + IWF	93
Gambar 4.30 <i>Maximum Applied Load vs Load Scale Factor</i> Pelat Lantai + IWF	93
Gambar 4.31 <i>Display Maximum Displacement</i> Pada Pelat Lantai+ IWF	94
Gambar 4.32 <i>Display Maximum Applied Load</i> Pada Pelat Lantai+ IWF	95
Gambar 4.33 <i>Display Tegangan</i> Pada Pelat Lantai + IWF	95
Gambar 4.34 <i>Total Applied Load vs Displacement</i> Pelat Lantai + IWF.....	96
Gambar 4.35 <i>Total Applied Load vs Displacement</i> Pelat Lantai + IWF	96
Gambar 4.36 <i>Total Applied Load vs Displacement</i> Perbandingan antara Pelat Lantai, Pelat Lantai + FRP1, Pelat Lantai + FRP2, Pelat Lantai + FRP3, Pelat Lantai + IWF	98
Gambar 4.37 Sambungan IWF-Balok, dan IWF-Pelat Lantai	100



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sifat Mekanis Baja Struktural	8
Tabel 2.2 Data FRP	19
Tabel 2.3 Perbandingan <i>Performance</i> FRP	20
Tabel 3.1 Foto Investigasi Lt.4 Gedung-x	26
Tabel 3.2 Data Uji Kuat Tekan Beton Inti	27
Tabel 3.3 Detail Pelat Lt.4 (1'2-BB')	29
Tabel 3.4 Regangan-Tegangan $f_c' = 18\text{MPa}$	39
Tabel 3.5 Detail Pelat dengan Perkuatan FRP Model Satu.....	49
Tabel 3.6 Detail Pelat dengan Perkuatan FRP Model Dua	55
Tabel 3.7 Detail Pelat dengan Perkuatan FRP Model Tiga	61
Tabel 3.8 Detail Pelat dengan Perkuatan Balok IWF	67
Tabel 3.9 Hasil Wawancara	73
Tabel 4.1 Persentase Perkuatan Pelat	97
Tabel 4.2 Perbandingan Tegangan Tulangan.....	97
Tabel 4.3 Perbandingan Tegangan Perkuatan Pelat Lantai.....	97
Tabel 4.4 Biaya Perkuatan Pelat Lantai dengan FRP Model Satu.....	98
Tabel 4.5 Biaya Perkuatan Pelat Lantai dengan FRP Model Dua	99
Tabel 4.6 Biaya Perkuatan Pelat Lantai dengan FRP Model Tiga.....	99
Tabel 4.7 Biaya Perkuatan Pelat Lantai dengan IWF	99
Tabel 4.8 Metode Pekerjaan dan Lama Waktu Pengerjaan Perkuatan Pelat Lantai dengan FRP Model Satu, Dua, Tiga	100
Tabel 4.9 Metode Pekerjaan dan Lama Waktu Pengerjaan Perkuatan Pelat Lantai dengan IWF	100

DAFTAR NOTASI

A	Luas penampang
E	modulus elastis
F	Besar gaya tekan
C_e	Kuat tarik <i>ultimate</i>
f_c	tegangan tekan beton pada regangan ε_c
f'_c	kuat tekan uniaksial beton
f_{fu}	Kuat tarik FRP
f^*_{fu}	Faktor reduksi lingkungan
f_y	titik leleh baja
Nt_f	jumlah lapis FRP yang digunakan
t_f	tebal FRP
w_f	lebar FRP
ε_c	regangan tekan beton
ε_{fu}	Regangan FRP
ε^*_{fu}	Regangan pecah
ε_0	regangan tekan beton pada tegangan f'_c
σ	Tegangan
$[K]$	matriks kekakuan global
$\{D\}$	matriks perpindahan global
$\{R\}$	matriks gaya global

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran L.1 Surat Izin Investigasi.....	107
Lampiran L.2 Hasil <i>Ouput</i> Analisis	108

