



DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
LEMBAR PERNYATAAN	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xii
INTISARI.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 . Latar Belakang	1
1.2 . Rumusan Masalah	1
1.3 . Tujuan Penelitian.....	2
1.4 . Batasan Penelitian	2
1.5 . Manfaat Penelitian.....	3
1.6 . Keaslian Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 . Pendeteksian Kerusakan Struktur.....	5
2.2 . Beton Bertulang Dengan Perkuatan <i>CFRP wrap</i>	5
2.3 . Karakteristik Dinamik Beton bertulang	6
BAB III LANDASAN TEORI	8
3.1 . Balok T	8
3.2 . Baja Tulangan.....	8
3.3 . <i>CFRP (Carbon Fibre Reinforce Polymer)</i>	9
3.4 . Analisis Dinamika Struktur	9
3.5 . Karakteristik Dinamik	10
3.6 . Kekakuan.....	11
3.7 . Frekuensi Alami	11
3.8 . Pemrosesan Sinyal Dinamik.....	12
3.8.1 Domain Frekuensi	13
3.8.2 <i>Fast Fourier Transformation (FFT)</i>	13



3.8.3	<i>Aliasing</i>	15
3.8.4	Frekuensi <i>Nyquist</i>	15
3.8.5	<i>Filter</i> Digital	15
3.9	. Pola Keruntuhan Balok	16
3.10	. Sistem struktur balok rusak	18
3.11	. Tegangan dan regangan baja	19
3.12	. Kuat tekan beton.....	20
3.13	. Konsep dasar metode elemen hingga	20
BAB IV	METODE PENELITIAN	22
4.1	. Lokasi Penelitian	22
4.2	. Bahan Penelitian.....	22
4.3	. Peralatan Penelitian	25
4.3.1	Peralatan pembuatan benda uji	25
4.3.2	Peralatan pengujian benda uji	29
4.4	. Benda Uji.....	34
4.5	. Tahapan Penelitian	36
BAB V	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	44
5.1	. Kuat Tekan Beton.....	44
5.2	. Kuat Tarik Dan Leleh Baja Tulangan	45
5.3	. Pengujian Frekuensi Balok T	46
5.3.1	Pengujian balok kontrol (BC _i).....	46
5.3.2	Balok BFR ₁	50
5.3.3	Balok BFR ₂	54
5.3.4	Pengujian balok kontrol geser (BC _g).....	60
5.3.5	Balok BC1 _g	64
5.3.6	Balok BC2 _g	69
5.4	. Permodelan Numerik Menggunakan ABAQUS CAE.....	77
5.4.1	Konvergensi Data.....	77
5.4.2	Model Benda Uji Lentur	78
5.4.3	Model Benda Uji Geser.....	79
5.4.4	Perbandingan Nilai Frekuensi	78
BAB VI	PENUTUP	85



6.1 . Kesimpulan.....	85
6.2 . Saran.....	87
DAFTAR PUSTAKA	88



DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1. Pengaruh kelangsingan balok terhadap ragam keruntuhan (Nawy, 2010)	17
Tabel 5. 1. Hasil pengujian kuat tekan beton	44
Tabel 5. 2. Perhitungan nilai modulus elastisitas beton	45
Tabel 5. 3. Hasil pengujian kuat tarik tulangan	45
Tabel 5. 4. Hasil pengujian frekuensi alami balok T	46
Tabel 5. 5. Analisa perubahan frekuensi alami balok BC ₁	48
Tabel 5. 6. Analisa kekakuan balok BC ₁	49
Tabel 5. 7. Analisa perubahan frekuensi alami balok BFR ₁	52
Tabel 5. 8. Analisa perubahan kekakuan ekivalen balok BFR ₁	53
Tabel 5. 9. Analisa perubahan kekakuan <i>initial</i> balok BFR ₁	54
Tabel 5. 10. Analisa perubahan frekuensi alami balok BFR ₂	57
Tabel 5. 11. Analisa perubahan kekakuan ekivalen balok BFR ₂	58
Tabel 5. 12. Analisa perubahan kekakuan <i>initial</i> balok BFR ₂	59
Tabel 5. 13. Analisa perbandingan perubahan frekuensi balok T.....	60
Tabel 5. 14. Analisa perubahan frekuensi alami balok BC _g	62
Tabel 5. 15. Analisa kekakuan balok BC _g	63
Tabel 5. 16. Analisa perubahan frekuensi alami balok BC _{1g}	66
Tabel 5. 17. Analisa perubahan kekakuan ekivalen balok BC _{1g}	68
Tabel 5. 18. Analisa perubahan kekakuan <i>initial</i> balok BC _{1g}	68
Tabel 5. 19. Analisa perubahan frekuensi alami balok BC _{2g}	72
Tabel 5. 20. Analisa perubahan kekakuan ekivalen balok BC _{2g}	73
Tabel 5. 21. Analisa perubahan kekakuan <i>initial</i> balok BC _{2g}	74
Tabel 5. 22. Analisa perbandingan perubahan frekuensi balok T.....	75
Tabel 5. 23. Hasil analisis teoritis frekuensi alami balok.	79
Tabel 5. 24. Tabel perbandingan frekuensi teoritis dan numerik.....	82
Tabel 5. 25. Analisa perbandingan frekuensi balok T penelitian dan model pada kondisi awal benda uji lentur.	84
Tabel 5. 26. Analisa perbandingan frekuensi balok T penelitian dan model pada kondisi awal benda uji lentur.	84



DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1. Balok T sebagai bagian sistem lantai. (Sumber: Istimawan, 1999) ..	8
Gambar 3. 2. Grafik pendekatan kekakuan (Timoshenko, 1987)	11
Gambar 3. 3. Penjumlahan beberapa gelombang sinus dengan berbagai variasi <i>amplitude</i> (Priyosulistyo, 2013)	13
Gambar 3. 4. Fenomena <i>aliasing</i> (Priyosulistyo, 2013)	15
Gambar 3. 5. Jenis <i>filtering</i> dalam basis waktu dan frekuensi (Priyosulistyo, 2013)	16
Gambar 3. 6. Ragam keruntuhan sebagai fungsi dari kelangsingan balok: (a) keruntuhan lentur (b) keruntuhan tarik diagonal (c) keruntuhan geser tarik (Nawy, 2010)	17
Gambar 3. 7. Variasi kekuatan geser terhadap nilai a/d untuk balok-balok persegi (Wang and Salmon, 2006).....	18
Gambar 3. 8. Proses analisis dengan metode elemen hingga (Bathe, K.J., 2014). 21	
Gambar 4. 1. Agregat halus.....	22
Gambar 4. 2. Agregat kasar	22
Gambar 4. 3. Semen	23
Gambar 4. 4. Air.....	23
Gambar 4. 5. Bendrat	23
Gambar 4. 6. Multiplex sebagai <i>mal</i> beton	24
Gambar 4. 7. Baja tulangan.....	24
Gambar 4. 8. <i>Carbon Fiber Reinforce Polymer</i>	25
Gambar 4. 9. <i>Epoxy</i> sikadur-330.....	25
Gambar 4. 10. Gerinda	26
Gambar 4. 11. Kerucut <i>Abrams</i>	26
Gambar 4. 12. <i>Internal Vibrator</i>	26
Gambar 4. 13. Cetakan benda uji silinder beton	27
Gambar 4. 14. <i>Compression Testing Machine</i>	27
Gambar 4. 15. Timbangan.....	28
Gambar 4. 16. <i>Concrete Mixer</i>	28
Gambar 4. 17. Kuas.....	28



Gambar 4. 18. Meteran.....	29
Gambar 4. 19. Jangka Sorong	29
Gambar 4. 20. <i>Loading Frame</i>	30
Gambar 4. 21. <i>Hydraulic Jack</i> (kiri) dan <i>Hydraulic Pump</i> (kanan)	30
Gambar 4. 22. <i>Load Cell</i> (kiri) dan <i>Data Logger</i> (kanan)	31
Gambar 4. 23. <i>LVDT (Linear Variable Differential Transformer)</i>	31
Gambar 4. 24. <i>Microcrack Meter</i>	31
Gambar 4. 25. <i>Crane</i>	32
Gambar 4. 26. <i>Strain gauge</i>	32
Gambar 4. 27. Dewe 43V	33
Gambar 4. 28. <i>Wilcoxon Research</i>	34
Gambar 4. 29. <i>PCB Piezotronics</i>	34
Gambar 4. 30. Benda uji perkuatan lentur	35
Gambar 4. 31. Benda uji perkuatan geser	35
Gambar 4. 32. Proses pembuatan <i>bekisting</i>	37
Gambar 4. 33. Perakitan baja tulangan	37
Gambar 4. 34. Pemasangan tahu beton	38
Gambar 4. 35. Proses pengecoran dan pepadatan beton	39
Gambar 4. 36. Perawatan benda uji	39
Gambar 4. 37. Pengujian silinder beton	40
Gambar 4. 38. Proses pengujian frekuensi kondisi <i>firstcrack</i>	41
Gambar 4. 39. Proses pengujian frekuensi kondisi <i>CFRP</i>	41
Gambar 4. 40. Proses pengujian frekuensi kondisi <i>fail</i>	42
Gambar 4. 41. <i>Setting</i> pengujian frekuensi	42
Gambar 4. 42. Bagan alir penelitian.....	43
Gambar 5. 1. Hubungan tegangan-regangan beton hasil pengujian.....	44
Gambar 5. 2. Hasil <i>record</i> dan analisis <i>FFT</i> balok BC ₁ kondisi awal	46
Gambar 5. 3. Hasil <i>record</i> dan analisis <i>FFT</i> balok BC ₁ kondisi <i>firstcrack</i>	47
Gambar 5. 4. Hasil <i>record</i> dan analisis <i>FFT</i> balok BC ₁ kondisi runtuh.....	47
Gambar 5. 5. Perubahan frekuensi balok BC ₁	48
Gambar 5. 6. Grafik beban-lendutan balok BC ₁	49
Gambar 5. 7. Perubahan kekakuan pada balok BC ₁	49
Gambar 5. 8. Hasil <i>record</i> dan analisis <i>FFT</i> balok BFR ₁ kondisi awal	50
Gambar 5. 9. Hasil <i>record</i> dan analisis <i>FFT</i> balok BFR ₁ kondisi <i>firstcrack</i>	50



Gambar 5. 10. Hasil <i>record</i> dan analisis <i>FFT</i> balok BFR ₁ kondisi <i>CFRP</i>	51
Gambar 5. 11. Hasil <i>record</i> dan analisis <i>FFT</i> balok BFR ₁ kondisi runtuh	51
Gambar 5. 12. Perubahan frekuensi balok BFR ₁	52
Gambar 5. 13. Grafik beban-lendutan balok BFR ₁	53
Gambar 5. 14. Perubahan kekakuan ekivalen pada balok BFR ₁	53
Gambar 5. 15. Perubahan kekakuan <i>initial</i> pada balok BFR ₁	54
Gambar 5. 16. Hasil <i>record</i> dan analisis <i>FFT</i> balok BFR ₂ kondisi awal	55
Gambar 5. 17. Hasil <i>record</i> dan analisis <i>FFT</i> balok BFR ₂ kondisi <i>firstcrack</i>	55
Gambar 5. 18. Hasil <i>record</i> dan analisis <i>FFT</i> balok BFR ₂ kondisi <i>CFRP</i>	56
Gambar 5. 19. Hasil <i>record</i> dan analisis <i>FFT</i> balok BFR ₂ kondisi runtuh	56
Gambar 5. 20. Perubahan frekuensi balok BFR ₂	57
Gambar 5. 21. Grafik beban-lendutan balok BFR ₂	58
Gambar 5. 22. Perubahan Kekakuan Ekivalen Pada Balok BFR ₂	58
Gambar 5. 23. Perubahan kekakuan <i>initial</i> pada balok BFR ₂	59
Gambar 5. 24. Hasil <i>record</i> dan analisis <i>FFT</i> balok BC _g kondisi awal	60
Gambar 5. 25. Hasil <i>record</i> dan analisis <i>FFT</i> balok BC _g kondisi <i>firstcrack</i>	61
Gambar 5. 26. Hasil <i>record</i> dan analisis <i>FFT</i> balok BC _g kondisi runtuh	61
Gambar 5. 27. Perubahan frekuensi balok BC _g	62
Gambar 5. 28. Grafik beban-lendutan balok BC _g	63
Gambar 5. 29. Perubahan kekakuan pada balok BC _g	63
Gambar 5. 30. Hasil <i>record</i> dan analisis <i>FFT</i> balok BC _{1g} kondisi awal	64
Gambar 5. 31. Hasil <i>record</i> dan analisis <i>FFT</i> balok BC _{1g} kondisi <i>firstcrack</i>	65
Gambar 5. 32. Hasil <i>record</i> dan analisis <i>FFT</i> balok BC _{1g} kondisi <i>CFRP</i>	65
Gambar 5. 33. Hasil <i>record</i> dan analisis <i>FFT</i> balok BC _{1g} kondisi runtuh	66
Gambar 5. 34. Perubahan frekuensi balok BC _{1g}	67
Gambar 5. 35. Grafik beban-lendutan balok BC _{1g}	67
Gambar 5. 36. Perubahan kekakuan ekivalen pada balok BC _{1g}	68
Gambar 5. 37. Perubahan kekakuan <i>initial</i> pada balok BC _{1g}	69
Gambar 5. 38. Hasil <i>record</i> dan analisis <i>FFT</i> balok BC _{2g} kondisi awal	70
Gambar 5. 39. Hasil <i>record</i> dan analisis <i>FFT</i> balok BC _{2g} kondisi <i>firstcrack</i>	70
Gambar 5. 40. Hasil <i>record</i> dan analisis <i>FFT</i> balok BC _{2g} kondisi <i>CFRP</i>	71
Gambar 5. 41. Hasil <i>record</i> dan analisis <i>FFT</i> balok BC _{2g} kondisi runtuh	71



Gambar 5. 42. Perubahan frekuensi balok BC2 _g	72
Gambar 5. 43. Grafik beban-lendutan balok BC2 _g	73
Gambar 5. 44. Perubahan kekakuan ekivalen pada balok BC2 _g	74
Gambar 5. 45. Perubahan kekakuan <i>initial</i> pada balok BC2 _g	75
Gambar 5. 46. Frekuensi alami balok T benda uji lentur.....	76
Gambar 5. 47. Frekuensi alami balok t benda uji geser	76
Gambar 5. 48. Hubungan ukuran <i>mesh</i> dan nilai frekuensi <i>software</i> ABAQUS..	77
Gambar 5. 49. <i>Mode shape</i> balok dengan ukuran <i>mesh</i> yang berbeda <i>software</i> ABAQUS.	78
Gambar 5. 50. Model balok T uji lentur dan hasil analisis frekuensi dengan ABAQUS.	78
Gambar 5. 51. Model balok T uji geser dan hasil analisis frekuensi dengan ABAQUS.	79
Gambar 5. 52. <i>Modeshape</i> dan frekuensi alami balok T lentur dengan SAP2000 v20.2.0.....	80
Gambar 5. 53. <i>Modeshape</i> dan frekuensi alami balok T geser dengan SAP2000 v20.2.0.....	80
Gambar 5. 54. <i>Modeshape</i> dan frekuensi alami balok T lentur dengan ABAQUS 614-5	81
Gambar 5. 55. <i>Modeshape</i> dan frekuensi alami balok T geser dengan ABAQUS 614-5	81
Gambar 5. 56. Diagram batang perbandingan frekuensi teoritis dan numerik	82
Gambar 5. 57. <i>Modeshape</i> dan frekuensi alami balok T lentur pada <i>mode</i> pertama dengan ABAQUS 614-5.	83
Gambar 5. 58. <i>Modeshape</i> dan frekuensi alami balok T geser pada <i>mode</i> pertama dengan ABAQUS 614-5.	83