

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PERSETUJUAN .....	iii
LEMBAR PERNYATAAN.....	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	v
PENGANTAR .....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR LAMBANG .....	xix
DAFTAR ISTILAH.....	xx
INTISARI .....	xxii
ABSTRACT.....	xxiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	6
1.3. Hipotesis.....	6
1.4. Tujuan Penelitian .....	6
1.5. Batasan Penelitian .....	7
1.6. Manfaat Penelitian .....	7
1.7. Keaslian Penelitian.....	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	11
2.1. Potensi Pemanfaatan Limbah Karet Ban Bekas.....	11
2.1.1. Sifat-sifat dan komposisi ban bekas.....	11
2.1.2. Klasifikasi agregat karet ban bekas .....	14
2.1.3. Proses <i>recycle</i> ban bekas.....	15
2.1.4. Sifat-sifat beton/mortar dengan campuran karet ban bekas.....	17
2.1.5. Pemanfaatan limbah karet ban bekas di bidang Teknik Sipil.....	22
2.2. Dinding Pasangan Bata ( <i>Masonry Wall</i> ).....	23
2.2.1. Kekuatan dinding pasangan bata ( <i>masonry</i> ).....	23
2.2.2. Peran dinding pasangan bata dalam struktur .....	24
2.3. Pengujian Dinding Pasangan Bata .....	25

2.3.1. Pengujian oleh (Basoenondo, 2008) .....	26
2.3.2. Pengujian oleh Tizapa (2009) .....	27
2.3.3. Pengujian oleh Segura et al. (2018) .....	28
2.3.4. Pengujian oleh Churilov and Dumova-Jovanoska (2010) .....	29
2.3.5. Pengujian oleh (Wu et al., 2017) .....	30
<b>BAB III LANDASAN TEORI .....</b>	<b>32</b>
3.1. Sifat-sifat Umum Karet .....	32
3.1.1. Sifat elastik .....	32
3.1.2. Kemampuan menyimpan energi .....	32
3.1.3. <i>Stress softening</i> .....	33
3.1.4. <i>Glass transitions</i> .....	33
3.1.5. <i>Crystalline transitions</i> .....	33
3.1.6. Kekerasan ( <i>hardness</i> ) .....	33
3.1.6. Kemampuan redaman ( <i>damping</i> ).....	35
3.2. Kinerja Seismik Bangunan.....	35
3.2.1. Kondisi seismik wilayah Indonesia .....	35
3.2.2. Kinerja seismik dinding pasangan bata .....	37
3.3. Dinding Pasangan Bata ( <i>Masonry</i> ) .....	40
3.3.1. Bata merah .....	42
3.3.2. Mortar spesi .....	43
3.3.3. Perkuatan beton bertulang .....	45
3.4. Perilaku Bangunan Dinding Pasangan Bata ketika Gempa .....	47
3.4.1. Akibat beban gempa <i>in-plane</i> .....	50
3.4.2. Akibat beban gempa <i>out-of-plane</i> .....	51
3.5. Respon Dinamik Struktur.....	52
3.5.1. Rasio redaman ( <i>damping ratio</i> ), $\xi$ .....	52
3.5.2. Kekakuan ( <i>stiffness</i> ), $k$ .....	60
3.5.3. Frekuensi alami, $f_n$ .....	62
<b>BAB IV METODE PENELITIAN .....</b>	<b>63</b>
4.1. Lokasi Penelitian.....	63
4.2. Alur Penelitian .....	63
4.3. Metode Pengujian .....	63
4.3.1. Pengujian sifat-sifat fisik dan mekanik potongan karet ban bekas .....	63

4.3.2.	Pengujian sifat-sifat fisik, mekanik, dan dinamik mortar SKBB .....	69
4.3.3.	Pengujian kuat geser spesi mortar SKBB .....	73
4.3.4.	Pengujian sifat-sifat dinamik dinding pasangan bata 2D skala penuh.	76
4.3.5.	Pengujian sifat-sifat dinamik model dinding pasangan bata 3D.....	81
<b>BAB V HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>95</b>
5.1.	Hasil Uji Sifat-sifat Fisik dan Mekanik Potongan Karet Ban Bekas .....	95
5.1.1.	Densitas.....	95
5.1.2.	Kekerasan ( <i>Hardness</i> ).....	95
5.1.3.	Kuat tarik dan perpanjangan putus .....	96
5.1.4.	Modulus elastisitas (E) dan modulus geser (G) .....	97
5.1.5.	Korelasi antara beberapa sifat karet ban bekas .....	100
5.2.	Hasil Uji Sifat-sifat Fisik, Mekanik, dan Dinamik Mortar SKBB .....	101
5.2.1.	Mutu bahan pasir dan SKBB .....	101
5.2.2.	Hasil pengujian sifat-sifat fisik dan mekanik mortar SKBB .....	102
5.2.3.	Hasil uji sifat dinamik mortar SKBB.....	104
5.3.	Hasil Uji Geser Mortar SKBB .....	107
5.3.1.	Hasil uji geser monotonik .....	108
5.3.2.	Hasil uji geser siklik .....	110
5.4.	Hasil Uji Sifat-sifat Dinamik Dinding 2D Pasangan Bata Skala Penuh .....	112
5.4.1.	Pengamatan kerusakan dinding .....	115
5.4.2.	Hasil analisis <i>drift ratio</i> .....	117
5.4.3.	Hasil analisis redaman ( <i>equivalent viscous damping ratio</i> , EVDR) .	118
5.4.4.	Hasil analisis kekakuan.....	120
5.4.5.	Hasil analisis frekuensi alami .....	122
5.4.6.	Rekomendasi mutu karet ban bekas.....	123
5.5.	Hasil Uji Sifat-Sifat Dinamik Model 3D Dinding Pasangan Bata Skala 2 ....	123
5.5.1.	Benda uji dan mutu bahan .....	123
5.5.2.	Hasil pemodelan numerik menggunakan <i>Software SAP2000</i> .....	128
5.5.3.	Hasil uji eksperimen dengan <i>shake table</i> .....	135
5.6.	Grafik Konstitutif Material .....	151
5.6.1.	Konstitutif hubungan tegangan – regangan aksial mortar SKBB.....	151
5.6.2.	Konstitutif hubungan tegangan – regangan geser mortar SKBB.....	153
5.6.3.	Konstitutif histeritik dinding pasangan bata dengan mortar SKBB ..	153



5.6.4. Konstitutif histeritik geser mortar SKBB .....	154
BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN .....	155
6.1. Kesimpulan .....	155
6.2. Saran.....	156
DAFTAR PUSTAKA .....	157
LAMPIRAN	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1.	Komposisi kerusakan bangunan akibat gempa Yogyakarta 2006 (Bappenas, 2006) .....	1
Gambar 1.2.	Tipe kerusakan bangunan <i>masonry</i> (Boen, 2006a).....	2
Gambar 1.3.	SKBB yang digunakan dalam penelitian Yilmaz and Degirmenci (2009).....	8
Gambar 1.4.	Agregat karet yang digunakan dalam penelitian Sadek and El-Attar (2015).....	9
Gambar 1.5.	Jenis karet yang digunakan dalam penelitian Zheng et al. (2008).....	10
Gambar 2.1.	Komposisi fisik ban bekas berdasarkan beratnya (Edeskär, 2006) .....	12
Gambar 2.2.	Struktur ban mobil ( <a href="http://www.bridgestone.co.in">www.bridgestone.co.in</a> ) .....	13
Gambar 2.3.	Klasifikasi agregat karet ban bekas menurut Topçu and Unverdi (2018).....	14
Gambar 2.4.	Tiga kategori karet bekas ban mobil menurut Sgobba et al. (2010).....	14
Gambar 2.5.	<i>Ambient grinding</i> (Roberts, et al., 1989; Caltrans, 2003).....	16
Gambar 2.6.	<i>Cryogenic grinding</i> (Roberts, et al., 1989; Caltrans, 2003).....	16
Gambar 2.7.	Grafik hubungan tegangan – regangan beton dari penelitian Sadek and El-Attar (2015).....	20
Gambar 2.8.	Nilai <i>damping ratio</i> pada beton karet dengan berbagai kadar karet (Moustafa and ElGawady, 2015) .....	21
Gambar 2.9.	Grafik hubungan antara kuat tekan dinding dan kuat tekan masing – masing komponen (Wisnumurti et al., 2007) .....	23
Gambar 2.10.	Hubungan kuat tekan mortar dengan kuat tekan dinding bata (Wisnumurti et al., 2007).....	24
Gambar 2.11.	Riwayat pembebanan <i>monotonic</i> , <i>repeated</i> , dan <i>cyclic</i> (Basoenondo, 2008) .....	26
Gambar 2.12.	Seting pengujian dinding pasangan bata (Basoenondo, 2008) .....	26
Gambar 2.13.	Hasil pengujian dinding pasangan bata (Basoenondo, 2008).....	27
Gambar 2.14.	Benda uji dan seting pengujian (Tizapa, 2009) .....	27
Gambar 2.15.	Riwayat pembebanan (Tizapa, 2009) .....	28
Gambar 2.16.	Benda uji dan seting pengujian (Segura et al., 2018) .....	28
Gambar 2.17.	Penurunan kekakuan pada pengujian siklik (Segura et al., 2018) .....	29
Gambar 2.18.	Seting pengujian dan pembebanan (Churilov and Dumova-Jovanoska, 2010).....	29
Gambar 2.19.	Kurva histeritik (Churilov and Dumova-Jovanoska, 2010).....	30
Gambar 2.20.	Set-up Pengujian pada penelitian Wu et al. (2017) .....	30
Gambar 2.21.	Tiga tipe kerusakan dinding pasangan bata akibat beban <i>in-plane</i> (Wu et al., 2017) .....	31
Gambar 3.1.	Perbandingan antara <i>stress level</i> pada penarikan ulang karet alami (Harwood, et al., 1965) .....	33
Gambar 3.2.	Skema <i>durometer hardness test</i> (ASTM, 2017) .....	34
Gambar 3.3.	Perbandingan beberapa kekerasan shore A dan D (Sidabutar, 2013).....	34

Gambar 3.4.	Catatan gempa di Indonesia hingga tahun 2016 (PUSGEN dan PUSLITBANG PUPR, 2017) .....	36
Gambar 3.5.	Parameter gerakan tanah pada periode pendek ( $S_s$ ) dengan probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun (Peta Gempa 2017) .....	36
Gambar 3.6.	Parameter gerakan tanah pada periode 1 detik ( $S_1$ ) dengan probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun (Peta Gempa 2017) .....	37
Gambar 3.7.	Respon spektra disain kota Yogyakarta tahun 2019 .....	37
Gambar 3.8.	Struktur <i>masonry</i> dengan perkuatan beton bertulang (Brzev, 2007) .....	40
Gambar 3.9.	Komponen dinding <i>masonry</i> (DPU, 1993) .....	41
Gambar 3.10.	Grafik <i>stress-strain</i> unit bata, mortar, dan <i>masonry prism</i> (Ip, 1999) .....	42
Gambar 3.11.	Bata merah pejal .....	43
Gambar 3.12.	Rangka perkuatan tembok dari beton bertulang (DPU, 1993) .....	46
Gambar 3.13.	Dimensi dan tulangan kolom, balok dan <i>sloof</i> (Kemen PUPR, 2016) ..	46
Gambar 3.14.	Grafik tegangan – regangan <i>masonry</i> (Paulay & Priestley, 1992) .....	48
Gambar 3.15.	Mekanisme kerusakan pasangan bata merah (Paulay and Priestley, 1992) .....	48
Gambar 3.16.	Perilaku struktur <i>masonry</i> dengan perkuatan beton bertulang saat gempa (Brzev, 2007) .....	49
Gambar 3.17.	Deformasi pada struktur <i>masonry</i> ketika terjadi gempa (Murty, et al., 2013) .....	49
Gambar 3.18.	Karakteristik kerusakan dinding (Yoshimura, et al., 2004) .....	50
Gambar 3.19.	Beberapa tipe kerusakan akibat gempa pada bangunan dinding <i>masonry</i> tanpa perkuatan beton bertulang (Javed, 2009) .....	50
Gambar 3.20.	Mekanisme kerusakan dinding <i>masonry</i> akibat beban gempa <i>in-plane</i> (ElGawady, et al., 2002) .....	51
Gambar 3.21.	Tipikal <i>hysteretic loop</i> dinding <i>masonry</i> (Paulay and Priestley, 1992) ..	51
Gambar 3.22.	Tipe kerusakan dinding pasangan bata merah akibat beban <i>out-of-plane</i> (Varela-Rivera et al., 2011). .....	52
Gambar 3.23.	Simpangan massa struktur dengan berbagai sistem redaman (Widodo, 2001) .....	54
Gambar 3.24.	Respon getaran bebas dengan redaman lemah (Paz and Leigh, 2004) ..	54
Gambar 3.25.	Kurva hubungan waktu – percepatan pada <i>viscous damping</i> dan <i>coloumb friction</i> (Elmenschawi et al., 2010) .....	56
Gambar 3.26.	Respon getaran dengan <i>viscous damping</i> .....	56
Gambar 3.27.	Mengukur <i>hysteritic damping</i> (Elmenschawi et al., 2010) .....	57
Gambar 3.28.	Kurva histeritik pada target <i>displacemnt</i> maksimum 3 mm (Totoev et al., 2012) .....	58
Gambar 3.29.	Respon dinamik beton dan <i>masonry</i> (Paulay and Priestley, 1992) .....	59
Gambar 3.30.	Respon struktur akibat gaya lateral .....	60
Gambar 3.31.	Kurva histeritik pada pengujian siklik .....	61
Gambar 3.32.	Grafik FFT <i>frequency domain</i> .....	62

Gambar 4.1.	Bagan alir penelitian .....	64
Gambar 4.2.	Bahan dasar karet ban bekas .....	64
Gambar 4.3.	<i>Electric densimeter</i> (Lab. BBKPP DIY) .....	66
Gambar 4.4.	Mesin <i>automatic durometer hardness</i> (Shore A) (lab. BBKPP DIY) ...	66
Gambar 4.5.	<i>Indenter and presser foot durometer</i> (Shore A) .....	66
Gambar 4.6.	Benda Uji tarik karet berbentuk <i>dumbbell</i> (SNI ISO 37:2015) .....	67
Gambar 4.7.	Uji tarik karet ban bekas (Lab. BBKPP DIY) .....	67
Gambar 4.8.	Seting pengujian modulus geser potongan karet ban bekas .....	68
Gambar 4.9.	Proses geser bahan ketika ditarik sebesar F. ....	69
Gambar 4.10.	Serutan karet ban bekas (SKBB) .....	70
Gambar 4.11.	Benda uji kuat tekan, kuat lentur dan uji dinamik .....	70
Gambar 4.12.	Benda uji <i>mortar briquette</i> (ASTM, 2001) .....	70
Gambar 4.13.	Alat uji tekan, tarik dan lentur mortar/beton (Laboratorium Bahan DTSL FT UGM) .....	72
Gambar 4.14.	Satu unit alat uji dinamik (Faizah and Aminullah, 2020) .....	73
Gambar 4.15.	Seting uji dinamik balok mortar (Faizah and Aminullah, 2020) .....	73
Gambar 4.16.	Prototip struktur dinding pasangan bata merah .....	74
Gambar 4.17.	Benda uji geser lekatan spesi mortar .....	74
Gambar 4.18.	SKBB lolos #4 .....	75
Gambar 4.19.	Seting pengujian kuat geser lekatan dan damping mortar SKBB .....	76
Gambar 4.20.	Sketsa benda uji dinding pasangan bata merah ½ bata, 1x1 m <sup>2</sup> . ....	77
Gambar 4.21.	Lokasi benda uji dalam prototip bangunan pasangan bata .....	79
Gambar 4.22.	Seting pengujian dinding 2D dengan beban lateral siklik .....	79
Gambar 4.23.	Riwayat pembebanan (modifikasi dari ASTM E2126-11) .....	80
Gambar 4.24.	Denah bangunan sederhana tipe 60 dan prototipe 2,5 x 2,5 m <sup>2</sup> . ....	82
Gambar 4.25.	Ilustrasi model bangunan 3D, skala 2 .....	84
Gambar 4.26.	Bata standar dan bata skala 2 .....	84
Gambar 4.27.	Silinder beton dan mortar siap diuji .....	84
Gambar 4.28.	Bagan alir pemodelan numerik .....	86
Gambar 4.29.	Pemodelan benda uji dinding 3D dengan SAP2000 .....	86
Gambar 4.30.	<i>Seismic Shake Table</i> .....	87
Gambar 4.31.	Alur penggunaan <i>shake table</i> .....	88
Gambar 4.32.	<i>Run mode</i> , dengan RRS dan TRS sudah mendekati sama .....	88
Gambar 4.33.	Seting pengujian model 3D dengan <i>shake table</i> .....	89
Gambar 4.34.	Posisi sensor <i>accelerometer</i> pada benda uji .....	89
Gambar 4.35.	Bagan alir pembebanan .....	90
Gambar 4.36.	Grafik beban sinusoidal 0,1g dengan frekuensi 4 Hz .....	91
Gambar 4.37.	Grafik beban sinusoidal 0,1g dengan frekuensi 8 Hz .....	91
Gambar 4.38.	<i>Time history</i> gempa Yogya 2006 (Elnashai et al., 2006) .....	91
Gambar 4.39.	FFT gempa Yogya 2006 (Elnashai et al., 2006) .....	92
Gambar 4.40.	<i>Time history</i> gempa Yogya skala 2 .....	92
Gambar 4.41.	FFT gempa Yogya skala 2 .....	92
Gambar 4.42.	Batasan maksimum <i>properties shake table</i> pada panel <i>setup drives</i> .....	93

Gambar 4.43. <i>Time history</i> gempa Yogya skala 2 <i>highpass filtered</i> 1 Hz .....	93
Gambar 4.44. FFT beban gempa Yogya skala 2 <i>highpass filter</i> 1 Hz.....	93
Gambar 5.1. Hasil uji densitas potongan karet ban bekas .....	95
Gambar 5.2. Hasil uji kekerasan potongan karet ban bekas .....	96
Gambar 5.3. Benda uji <i>dumbbell</i> setelah diuji tarik hingga putus.....	96
Gambar 5.4. Grafik hasil uji kuat tarik hingga putus .....	97
Gambar 5.5. Hasil uji kuat tarik dan perpanjangan putus potongan karet ban bekas..	97
Gambar 5.6. Nilai modulus elastisitas dan modulus geser (MPa).....	98
Gambar 5.7. Benda uji modulus geser sebelum pengujian.....	98
Gambar 5.8. Seting uji modulus geser karet.....	99
Gambar 5.9. Hubungan antara tegangan dan regangan geser.....	99
Gambar 5.10. Korelasi antara beberapa sifat karet ban bekas .....	100
Gambar 5.11. Hasil uji gradasi pasir .....	101
Gambar 5.12. Benda uji kuat tekan, kuat tarik, dan kuat lentur mortar.....	102
Gambar 5.13. Pelaksanaan pengujian sifat mekanik mortar.....	102
Gambar 5.14. Hasil uji densitas, kuat tekan, tarik, dan MoR mortar .....	103
Gambar 5.15. Kurva <i>load-displacement</i> lentur.....	104
Gambar 5.16. Seting uji dinamik balok mortar di laboratorium.....	105
Gambar 5.17. Output dari software <i>dewesoft</i> berupa grafik FFT dan <i>time history</i> . ....	105
Gambar 5.18. <i>Time history</i> untuk analisis <i>damping ratio</i> .....	106
Gambar 5.19. Frekuensi alami dan <i>damping</i> mortar SKBB .....	107
Gambar 5.20. Benda uji kuat geser mortar SKBB.....	107
Gambar 5.21. Kondisi pengujian tanpa beban aksial (TBA).....	108
Gambar 5.22. Kondisi pengujian dengan beban aksial (DBA) .....	108
Gambar 5.23. Grafik hubungan gaya geser dan perpindahan.....	108
Gambar 5.24. Perbandingan antara kuat geser dan modulus geser .....	109
Gambar 5.25. Beberapa macam kerusakan setelah pengujian.....	110
Gambar 5.26. Grafik histeritik hasil uji geser mortar .....	111
Gambar 5.27. Perbandingan antara EVDR dan kekakuan geser .....	111
Gambar 5.28. Bata merah AT yang digunakan dalam pengujian.....	112
Gambar 5.29. Benda uji mutu bata merah .....	112
Gambar 5.30. Sampel uji mutu mortar .....	113
Gambar 5.31. Proses pembuatan benda uji dinding 1 x 1 m <sup>2</sup> .....	114
Gambar 5.32. Seting pengujian dinding 2D (tampak depan) .....	114
Gambar 5.33. Seting pengujian dinding 2D (tampak belakang) .....	114
Gambar 5.34. Detail besi perata beban arah vertikal (merujuk pada Gambar 5.33) ...	115
Gambar 5.35. Kondisi kerusakan dinding setelah pengujian .....	115
Gambar 5.36. Grafik histeritik dinding W-N.....	116
Gambar 5.37. Grafik histeritik dinding W-BT .....	116
Gambar 5.38. Grafik histeritik dinding W-DL .....	116
Gambar 5.39. Grafik histeritik dinding W-GT .....	117
Gambar 5.40. Grafik histeritik dinding W-MR .....	117
Gambar 5.41. <i>Drift ratio</i> saat pertama retak dan saat pecah .....	118

Gambar 5.42. EVDR struktur dinding 2 D .....	119
Gambar 5.43. Perubahan EVDR terhadap awal (%) .....	119
Gambar 5.44. Penurunan kekakuan struktur.....	121
Gambar 5.45. Grafik FFT dinding W-N sebelum dan sesudah pengujian .....	122
Gambar 5.46. Proses pembuatan dan pembakaran bata merah skala 2 .....	123
Gambar 5.47. Benda uji kuat tekan bata merah skala 2.....	124
Gambar 5.48. SKBB lolos saringan #4.....	124
Gambar 5.49. Benda uji silinder mortar SKBB .....	124
Gambar 5.50. Penulangan kolom dan pemasangan begisting <i>sloof</i> .....	126
Gambar 5.51. Proses pembangunan dinding pasangan bata skala 2.....	126
Gambar 5.52. Penulangan balok dan kolom.....	126
Gambar 5.53. Proses pengadukan beton dengan molen .....	127
Gambar 5.54. Proses pengecoran balok dan kolom.....	127
Gambar 5.55. Tampilan 4 buah model 3D skala 2 setelah berusia lebih dari 28 hari .	127
Gambar 5.56. Hasil uji konvergensi <i>meshing</i> .....	128
Gambar 5.57. Tampilan <i>Assign automatic area mesh</i> untuk dinding.....	128
Gambar 5.58. Tampilan pemodelan prototip pada SAP2000 .....	129
Gambar 5.59. Input properties dinding pasangan bata M10 dan M20. ....	129
Gambar 5.60. Input properties dinding pasangan bata M30, dan M40 .....	130
Gambar 5.61. Input properties beton .....	130
Gambar 5.62. Benda uji dengan <i>added mass</i> sebesar 822 kg .....	132
Gambar 5.63. Pemodelan <i>added mass</i> 822 kg pada SAP2000 .....	132
Gambar 5.64. <i>Mass source</i> data dan <i>joint loads</i> (SAP2000).....	133
Gambar 5.65. Hasil <i>running</i> SAP2000 untuk M10 dengan <i>added mass</i> .....	133
Gambar 5.66. Hasil <i>running</i> SAP2000 untuk M20 dengan <i>added mass</i> .....	134
Gambar 5.67. Hasil <i>running</i> SAP2000 untuk M30 dengan <i>added mass</i> .....	134
Gambar 5.68. Hasil <i>running</i> SAP2000 untuk M40 dengan <i>added mass</i> .....	134
Gambar 5.69. Penimbangan berat model.....	135
Gambar 5.70. Pelaksanaan pengujian frekuensi alami (eksperimen) .....	135
Gambar 5.71. Lokasi pengecekan frekuensi alami eksperimen .....	136
Gambar 5.72. Perbandingan berat dan frekuensi alami eksperimen dan numerik .....	136
Gambar 5.73. Pemasangan baut pada dasar benda uji.....	137
Gambar 5.74. Kondisi model siap dimulai pembebanan .....	137
Gambar 5.75. Frekuensi alami awal M10 ( <i>in-plane</i> ) dari <i>Dewesoft</i> .....	138
Gambar 5.76. Frekuensi alami awal M20 ( <i>in-plane</i> ) dari <i>Dewesoft</i> .....	138
Gambar 5.77. Frekuensi alami awal M30 ( <i>in-plane</i> ) dari <i>Dewesoft</i> .....	139
Gambar 5.78. Frekuensi alami awal M40 ( <i>in-plane</i> ) dari <i>Dewesoft</i> .....	139
Gambar 5.79. Perbandingan frekuensi alami awal ( <i>in-plane</i> ) semua model.....	140
Gambar 5.80. Trend perubahan frekuensi alami awal ( <i>in-plane</i> ) dari M10 ke M40...	140
Gambar 5.81. Frekuensi alami ( <i>in-plane</i> ) akibat beban sinusoidal (BS) 0,1g.....	141
Gambar 5.82. Frekuensi alami ( <i>in-plane</i> ) akibat beban beban gempa (BG) Yogya ...	141
Gambar 5.83. Pengukuran <i>drift ratio</i> .....	142
Gambar 5.84. <i>Drift ratio</i> dinding <i>in-plane</i> akibat beban sinusoidal 0,1g.....	142



Gambar 5.85. <i>Drift ratio</i> dinding <i>in-plane</i> akibat beban gempa Yogya.....	143
Gambar 5.86. Trend nilai <i>drift ratio</i> maksimum dinding <i>in-plane</i> .....	144
Gambar 5.87. Kondisi benda uji model 3D paska pengujian .....	145
Gambar 5.88. <i>Strong part</i> gempa Yogya skala2, <i>highpass filtered</i> 1 Hz .....	146
Gambar 5.89. Nilai <i>damping</i> dinding <i>in-plane</i> akibat beban sinusoidal 0,1 g .....	146
Gambar 5.90. Nilai <i>damping</i> dinding <i>in-plane</i> akibat beban gempa Yogya .....	146
Gambar 5.91. <i>Damping ratio</i> maksimum akibat beban sinusoidal dan beban gempa	148
Gambar 5.92. <i>Dialog box</i> pada input <i>time history function</i> .....	149
Gambar 5.93. <i>Dialog box</i> pada input <i>load case data</i> .....	149
Gambar 5.94. Perbandingan <i>drift ratio</i> hasil uji eksperimen dan numerik SAP2000.	150
Gambar 5.95. Grafik hubungan tegangan – regangan aksial mortar SKBB (variasi sifat karet ban bekas) .....	152
Gambar 5.96. Grafik hubungan tegangan – regangan aksial mortar SKBB (vaiasi kadar SKBB) .....	152
Gambar 5.97. Grafik hubungan tegangan – regangan geser mortar SKBB.....	153
Gambar 5.98. Kurva histeritik dinding pasangan bata dengan mortar SKBB (akibat gaya lateral siklik).....	153
Gambar 5.99. Kurva histeritik dinding pasangan bata dengan mortar SKBB (akibat gaya geser siklik) .....	154

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Produksi ban mobil di Indonesia tahun 1997 – 2004 (APBI, 2005).....	11
Tabel 2.2.	Komposisi dari sebuah ban mobil penumpang (Anne and Evans, 2006) ..	12
Tabel 2.3.	Kandungan bahan dalam ban mobil ( <i>Exposure Research</i> , 2009).....	13
Tabel 2.4.	Properties potongan/serutan ban bekas* (Sgobba et al., 2010) .....	15
Tabel 2.5.	Karakteristik fisik serutan karet ban bekas (Bekhiti et al., 2014).....	15
Tabel 2.6.	Karakteristik kimia serutan karet ban bekas (Bekhiti et al., 2014).....	15
Tabel 2.7.	Nilai <i>slump</i> campuran beton karet (Batayneh, et al., 2008).....	17
Tabel 2.8.	Pengaruh kadar SKBB terhadap kekuatan beton (Batayneh, et al., 2008)	18
Tabel 2.9.	Persyaratan kekuatan minimal untuk beberapa kategori penggunaan beton (Neville, 2011) .....	19
Tabel 2.10.	Hasil pengujian beton karet oleh Li, et al. (2004) .....	19
Tabel 2.11.	<i>Damping ratio</i> dari beton jenis NC, GR dan CR, pada kadar karet 15% (Zheng et al., 2008).....	21
Tabel 3.1.	Kemampuan bahan dalam menyimpan energi (Freakley and Payne, 1978) .....	33
Tabel 3.2.	Nilai <i>durometer</i> beberapa material (Rubbermill, 2017) .....	34
Tabel 3.3.	<i>Acceptance criteria</i> dalam FEMA 273. ....	39
Tabel 3.4.	Kriteria persyaratan level kinerja bangunan masonry dalam FEMA 356 .	39
Tabel 3.5.	Kekuatan dan kekakuan bangunan <i>masonry</i> (Paulay and Priestley, 1992)	41
Tabel 3.6.	Ukuran dan toleransi bata merah pejal untuk pasangan dinding (BSN, 2000) .....	43
Tabel 3.7.	Persyaratan minimum bata merah pejal untuk dinding pasangan bata .....	43
Tabel 3.8.	Persyaratan spesifikasi sifat-sifat mortar menurut SNI 03-6882-2002.....	44
Tabel 3.9.	Pemilihan tipe mortar menurut SNI 03-6882-2002 .....	45
Tabel 3.10.	Rencana campuran 1 m <sup>3</sup> beton normal (BSN, 2008a) .....	46
Tabel 3.11.	Sifat dinamik struktur <i>masonry</i> (Velez, 2014).....	58
Tabel 3.12.	<i>Damping ratio</i> beberapa tipe konstruksi (Lindeburg and McMullin, 2008) .....	59
Tabel 3.13.	Rekomendasi nilai <i>damping ratio</i> (Chopra, 2007) .....	59
Tabel 3.14.	Defleksi maksimum dan kekakuan beberapa sistem struktur (Lindeburg and McMullin, 2008) .....	61
Tabel 4.1.	Distribusi benda uji .....	65
Tabel 4.2.	Jumlah dan distribusi benda uji .....	71
Tabel 4.3.	<i>Mix design</i> untuk 1 m <sup>3</sup> mortar.....	71
Tabel 4.4.	Berat jenis dan densitas bahan penyusun mortar SKBB.....	75
Tabel 4.5.	Mix design untuk 1 m <sup>3</sup> mortar segar.....	75
Tabel 4.6.	Benda uji dinding pasangan bata merah .....	77
Tabel 4.7.	Mix design untuk 1 m <sup>3</sup> spesi mortar SKBB (kg) .....	78
Tabel 4.8.	Sifat-sifat spesi mortar SKBB.....	78
Tabel 4.9.	Target <i>displacement</i> (mm) .....	80

Tabel 4.10.	Faktor skala respon struktur akibat beban gempa ( <i>adequate model</i> ) (Suhendro, 2000b) .....	82
Tabel 4.11.	Rencana spesifikasi prototipe dan model dengan skala 2:1 .....	83
Tabel 4.12.	<i>Mix design</i> 1 m <sup>3</sup> beton .....	85
Tabel 4.13.	<i>Mix design</i> 1 m <sup>3</sup> mortar .....	85
Tabel 4.14.	Hasil simulasi pembebanan gempa Yogya skala 2 .....	93
Tabel 4.15.	Hasil equalisasi dengan beban gempa Yogya skala 2 <i>highpass</i> <i>filtered</i> 1 Hz .....	94
Tabel 5.1.	Rangkuman hasil pengujian bahan karet ban bekas .....	100
Tabel 5.2.	Hasil Pengujian Pasir .....	101
Tabel 5.3.	Hasil Pengujian SKBB.....	101
Tabel 5.4.	Hasil uji densitas, kuat tekan, kuat tarik, dan MoR mortar .....	103
Tabel 5.5.	Rekapitulasi hasil uji dinamik.....	106
Tabel 5.6.	Hitungan kuat geser ( <i>bond strength</i> ) dan modulus geser lekatan.....	109
Tabel 5.7.	Hasil perhitungan EVDR dan kekakuan geser .....	112
Tabel 5.8.	Properties bahan penyusun dinding 2D .....	113
Tabel 5.9.	Pengamatan <i>drift ratio</i> saat kerusakan dinding.....	116
Tabel 5.10.	Hasil perhitungan <i>equivalent viscous damping ratio</i> (EVDR) .....	118
Tabel 5.11.	Hasil hitungan kekakuan dinding (N/mm).....	121
Tabel 5.12.	Hasil perhitungan frekuensi alami struktur.....	122
Tabel 5.13.	Rekomendasi properties karet ban bekas untuk campuran spesi dinding pasangan bata.....	123
Tabel 5.14.	Spesifikasi model (benda uji) .....	124
Tabel 5.15.	Mutu bata merah skala 2 .....	125
Tabel 5.16.	Mutu beton, mortar SKBB, dan baja tulangan.....	125
Tabel 5.17.	Hitungan berat satuan dan modulus elastisitas dinding pasangan bata merah .....	125
Tabel 5.18.	Berat dan frekuensi alami prototip (numerik dengan SAP2000).....	130
Tabel 5.19.	Berat dan frekuensi alami model skala 2 (numerik dengan SAP2000) ...	131
Tabel 5.20.	Berat dan frekuensi alami struktur sesuai syarat similaritas.....	131
Tabel 5.21.	Berat dan frekuensi alami model dengan <i>added mass</i> 822 kg .....	133
Tabel 5.22.	Berat dan frekuensi alami model skala 2 (eksperimen dan numerik).....	136
Tabel 5.23.	Berat dan frekuensi alami model dengan <i>added mass</i> (kg) .....	138
Tabel 5.24.	Pengamatan frekuensi alami struktur.....	143
Tabel 5.25.	Penjelasan beban pada Gambar 5.94. ....	151
Tabel 5.26.	Prediksi <i>drift ratio</i> model pada performance level IO dan LS .....	151

## DAFTAR LAMBANG

Lambang	Arti	Dimensi
Q	Gaya	F
q	Tekanan	FL <sup>-2</sup>
ρ	Densitas	ML <sup>-3</sup>
g	Gravitasi	LT <sup>-2</sup>
δ	Displacement	L
ω	Frekuensi angular	T <sup>-1</sup>
f	Frekuensi alami	T <sup>-1</sup>
T	Periode alami	T
σ	Tegangan	FL <sup>-2</sup>
ε	Regangan	-
ν	Poisson's ratio	-
E	Modulus elastisitas	FL <sup>-2</sup>
G	Modulus geser	FL <sup>-2</sup>
μ	Daktilitas	-
$f_c$	Kuat tekan beton	ML <sup>-1</sup> T <sup>-2</sup>
$f_m$	Kuat tekan mortar	ML <sup>-1</sup> T <sup>-2</sup>
$E_m$	Modulus Elastisitas mortar	ML <sup>-1</sup> T <sup>-2</sup>
$G_m$	Modulus Geser mortar	ML <sup>-1</sup> T <sup>-2</sup>
ξ	Damping ratio	-
m	Massa	M
k	Kekakuan	MT <sup>-2</sup>

## DAFTAR ISTILAH

Istilah	Arti
<i>Added mass</i>	Penambahan massa yang diberikan di atas model, agar massa struktur memenuhi persyaratan similaritas.
Beban Gempa	Gaya yang ditimbulkan akibat peristiwa gempabumi
<i>Clay brick</i>	Bata merah yang dibuat dari tanah liat dengan melalui pembakaran
<i>Compressive strength</i>	Kuat tekan
<i>Damping</i>	Ukuran energi disipasi (energi yang hilang) pada struktur yang bergetar hingga struktur tersebut kembali diam.
<i>Drift ratio</i>	Rasio antara besarnya simpangan tingkat dengan tinggi (jarak) pengukuran
Durabilitas	Ketahanan beton dalam menghadapi serangan - serangan yang merusak, baik dari faktor fisik maupun kimiawi
FFT	Fast fourier transform adalah sinyal dengan domain frekuensi
Frekuensi alami	Frekuensi goyangan yang cenderung dimiliki suatu sistem saat sistem tersebut dibiarkan bergetar tanpa peredam maupun adanya eksitasi dengan satuan Hz (cycles per detik)
<i>Flexural strength</i>	Kuat lentur
<i>Elongation</i>	Rasio antara perpanjangan dan panjang semula
Gaya lateral siklik	Gaya bolak balik yang bekerja tegak lurus arah lateral bahan
Gaya dinamik	Gaya yang memiliki perubahan dalam dimensi waktu
Gempa Yogya	Gempa bumi yang terjadi pada tanggal 27 Mei 2006, menimpa daerah Yogyakarta dan Jawa Tengah, bersumber dari daerah Bantul.
<i>Highpass filtered 1 Hz</i>	Proses menghilangkan unsur gelombang yang mengandung frekuensi kurang dari 1 Hz.
<i>In-plane load</i>	Gaya sejajar bidang
Kurva histeritik	Kurva hubungan antara tegangan dan regangan bahan akibat gaya bolak balik
<i>Lightweight concrete</i>	Beton ringan, dengan densitas $\leq 1850 \text{ kg/m}^3$ .
<i>Masonry</i>	Dinding pasangan bata yang terbuat dari unit bata dan mortar (spesi)
<i>Mix Design</i>	Perencanaan campuran yang menyatakan berat masing-masing bahan yang dibutuhkan untuk mendapatkan $1 \text{ m}^3$ campuran
Modulus elastisitas	Rasio antara tegangan tarik dan regangan suatu benda
Modulus geser	Rasio antara tegangan geser dan regangan suatu benda
Mortar	Suatu bahan komposit yang merupakan campuran antara pasir, semen, dan air
<i>Mortar joint</i>	Spesi pada dinding pasangan bata
<i>Out-of-plane load</i>	Gaya tegak lurus bidang
<i>Reinforced masonry wall</i>	Dinding pasangan bata dengan perkuatan beton bertulang
Respon dinamik	Respon dari struktur yang diakibatkan oleh gaya dinamik.



<i>Shake table</i>	Meja getar yang dapat bergetar mengikuti respon spektrum suatu riwayat gempa.
SKBB	Serutan karet ban bekas yang dibuat dari karet bekas ban mobil kemudian diserut
Teori similaritas	Teori yang digunakan untuk membuat pemodelan sehingga sifat-sifat prototip dapat diwakili oleh sifat-sifat model.
<i>Tensile strengths</i>	Kuat tarik
<i>Time history</i>	Catatan riwayat gempa yang merupakan sinyal dengan domain waktu
<i>Unreinforced masonry wal</i>	Dinding pasangan bata tanpa perkuatan beton bertulan
<i>Waste material</i>	Material sampah (bekas)
<i>Workability</i>	Tingkat kemudahan pengerjaan campuran beton yang meliputi kemudahan saat pencampuran, pengangkutan dan pencetakan