

## DAFTAR ISI

PRAKATA	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
DAFTAR NOTASI	xvi
INTISARI	xviii
ABSTRACT	xviii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Penelitian	5
1.4 Keaslian Penelitian	5
1.5 Tujuan Penelitian	6
1.6 Manfaat Penelitian	6
II. TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Penelitian Bambu	7
2.2 Penelitian Bambu Laminasi	9
2.3 Penelitian Struktur Laminasi	11
2.4 Penelitian Kuat Tumpu	15
2.4.1 Penelitian kuat tumpu kayu	15
2.4.2 Penelitian kuat tumpu bambu laminasi	17
2.5 Penelitian Tahanan Lateral	17
2.6.1 Penelitian tahanan lateral kayu-beton dengan alat sambung <i>lag screw</i>	17
2.6.2 Penelitian tahanan lateral glulam-beton dengan alat sambung <i>rebar</i>	19
2.6.3 Penelitian kuat geser kayu-pelat baja dengan alat sambung baut	20
2.6 Struktur Komposit Glulam (Kayu - Bambu Laminasi) dengan Beton	22
2.6.1 Penelitian jembatan kayu laminasi	22
2.6.2 Penelitian komposit glulam dan FRP ( <i>Fiber Reinforced Polymer</i> )	22
2.6.3 Penelitian komposit kayu laminasi - lantai beton	24
2.6.4 Penelitian jembatan komposit bambu laminasi - beton	25
2.6.5 Penelitian balok komposit glulam-beton dengan alat sambung daktail	25
III. LANDASAN TEORI	28
3.1 Sifat Fisika dan Mekanika Bambu	28
3.2.1 Sifat fisika bambu	28
3.2.2 Sifat mekanika bambu	28
3.2 Beton	30
3.3 Perekat Urea Formaldehida	31
3.4 Konektor Geser ( <i>Shear Connector</i> )	32
3.5 Kekeuatan Lentur <i>Dowel</i> Baja	34
3.6 Kuat Tumpu	34
3.7 Tahanan Lateral	36
3.8 Perancangan Campuran ( <i>Mix Design</i> ) Beton	38
3.9 Analisis Perekatan	38

3.10	Teori Kuat Lentur Kayu ... ..	39
3.11	Analisis Balok Komposit Glulam – Beton .. ..	41
3.10.1	Analisis tampang balok komposit metode transformasi .....	41
3.10.2	Kekuatan batas tampang balok komposit .....	45
3.12	Analisis balok komposit metode pias ( <i>layering</i> ) ... ..	48
3.13	Analisis balok komposit metode Gamma ( $\gamma$ ) .....	50
3.14	Analisis balok komposit metode Frozen .... ..	52
3.15	Persyaratan Struktur Balok Pada Bangunan Gedung... ..	53
3.15.1	Kekuatan balok .....	53
3.15.2	Kekakuan dan kelengkungan balok . .....	54
3.16	Hipotesis ... ..	56
IV.	METODE PENELITIAN .....	57
4.1	Tempat Penelitian .....	58
4.2	Bahan Penelitian .....	58
4.2.1	Bahan utama .. ..	58
4.2.2	Bahan pendukung ... ..	59
4.3	Alat Penelitian ... ..	60
4.3.1	Alat pembuatan benda uji .....	60
4.3.2	Alat pengujian .. ..	61
4.4	Perancangan Benda Uji dan Pengujian .....	64
4.4.1	Pengujian sifat fisika dan mekanika bambu petung laminasi .....	64
4.4.2	Pengujian kuat tumpu bambu laminasi .....	69
4.4.3	Pengujian baja tulangan sebagai alat sambung .....	70
4.4.4	Pemeriksaan dan pengujian bahan agregat penyusun beton .....	71
4.4.5	Pengujian tahanan lateral komposit bambu – beton .. ..	71
4.4.6	Pengujian model balok komposit bambu – beton bentuk T. ....	73
4.5	Pelaksanaan Penelitian .....	75
4.5.1	Persiapan bahan dan alat .....	75
4.5.2	Penelitian sifat fisika dan mekanika bambu laminasi .....	76
4.5.3	Penelitian dowel .....	79
4.5.4	Penelitian kuat tumpu bambu laminasi .....	80
4.5.5	Penelitian geser tahanan lateral komposit bambu - beton .. ..	81
4.5.6	Penelitian model balok komposit bambu laminasi - beton .....	82
4.6	Analisi Data ... ..	88
4.6.1	Sifat fisika dan mekanika bambu laminasi .... ..	88
4.6.2	Sifat mekanika dowel dan kuat tumpu ... ..	91
4.6.3	Kekuatan tahanan lateral ( <i>dowel</i> ) .... ..	92
4.6.4	Analisis balok komposit ... ..	92
4.6.5	Analisis statistik .....	93
V.	HASIL DAN PEMBAHASAN .....	95
5.1	Sifat Fisika dan Mekanika Bambu Laminasi .....	95
5.1.1	Sifat fisika bambu laminasi ... ..	95
5.1.2	Sifat mekanika bambu laminasi.....	95
5.2	Sifat Mekanika Dowel .....	99
5.3	Kuat Tumpu Bambu Laminasi .. ..	99
5.4	Kuat Tekan Beton .....	104

5.5	Tahanan Lateral Komposit Bambu Laminasi - Beton .....	105
5.5.1	Tahanan lateral komposit variasi jenis dan diameter <i>dowel</i> .....	105
5.5.2	Tahanan lateral komposit variasi panjang <i>dowel</i> tertanam .....	109
5.6	Balok Komposit Bambu Laminasi-Beton.....	112
5.6.1	Kekuatan balok komposit.....	113
5.6.2	Kelengkungan dan kekakuan balok komposit.....	119
5.6.3	Perilaku kerusakan balok komposit.....	121
5.6.4	Pembahasan pemodelan dan eksperimental balok komposit .....	126
5.6.5	Analisis pemodelan dan eksperimental balok komposit .....	136
5.7	Usulan Desain Balok Komposit Bambu Laminasi-Beton ..	140
VI.	PENUTUP .....	144
6.1	Kesimpulan.....	144
6.2	Saran ..	145
	DAFTAR PUSTAKA .....	146
	LAMPIRAN	

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Kuat tarik rata-rata bambu tanpa buku keringoven (Morisco, 2006) .....	10
Tabel 2.2	Perbandingan sifat mekanika bambu Petung dari berbagai sumber .....	11
Tabel 2.3	Sifat mekanika bambu petung (Irawati dan Saputra, 2012) .....	11
Tabel 2.4	Perbandingan kuat tekan sejajar serat dengan beberapa jenis perekat (Correal dan Lopez, 2008) .....	12
Tabel 2.5	Sifat mekanika bambu Guadua laminasi (Correal dan Lopez, 2008).....	12
Tabel 2.6	Sifat fisika dan mekanika kayu dan bambu laminasi (LBL) (Rittironk dan Elnieiri, 2007) .....	13
Tabel 2.7	Hasil pengujian tiga variasi kadar air dengan tiga variasi diameter baut (Eratodi dan Ariawan, 2012) ..	19
Tabel 2.8	Evaluasi sifat konektor terhadap 3 metode analisis (Zhang, 2013) .....	29
Tabel 3.1	Nilai kuat acuan (MPa) mutu kayu berdasarkan pada kadar air 15% (SNI 7973, 2013) .....	31
Tabel 3.2	Rumus prediksi penentuan nilai kekuatan kayu pada kadar air 12 % (Anonim, 1999; USDA-FPL, 1999) .....	32
Tabel 3.3	Tahanan lateral acuan baut (Z) satu alat pengencang dengan satu irisan yang menyambung dua komponen (AF&PA, 2001).....	39
Tabel 4.1	Uraian benda uji sifat fisika dan mekanika bambu laminasi .....	64
Tabel 4.2	Spesifikasi ukuran benda uji balok komposit.....	74
Tabel 4.3	Properties balok komposit hasil hitungan metode pias .....	81
Tabel 4.4	Nilai tahanan laeral acual dowel (Z) berdasarkan model kelelehan .....	91
Tabel 5.1	Properties bambu petung laminasi hasil eksperimental .....	95
Tabel 5.2	Kuat tarik dan modulus elastistas tarik rata-rata bambu petung laminasi .....	97
Tabel 5.3	Hasil uji kuat tarik dan lentur rata-rata <i>dowel</i> .....	98
Tabel 5.4	Kuat tumpu rata-rata bambu laminasi metode <i>half hole</i> .....	97
Tabel 5.5	Kuat tumpu rata-rata bambu laminasi metode <i>full hole</i> .....	100
Tabel 5.6	Komparasi kuat tumpu bambu petung laminasi dengan variasi jenis dan ukuran dowel ..	101
Tabel 5.7	Hasil rata-rata nilai tahanan lateral dan rasio $Z_{maks}/Z_{5\%}$ dengan variasi diameter <i>dowel</i> .....	104
Tabel 5.8	Komparasi hasil hitungan nilai tahanan lateral teoritis dan eksperimental .....	105
Tabel 5.9	Hasil rata-rata nilai tahanan lateral dan rasio $Z_{maks}/Z_{5\%}$ dengan variasi panjang tertanam <i>dowel</i> .....	108
Tabel 5.10	Koparasi hasil tahanan lateral eksperimental dan teoritis EYM .....	109
Tabel 5.11	Hasil pengukuran aktual benda uji balok komposit ..	111
Tabel 5.12	Beban puncak dan proporsional balok komposit .....	112

Tabel 5.13	Nilai kelengkungan dan faktor kekakuan balok komposit ... ..	119
Tabel 5.14	Spesifikasi properties material bambu laminasi dan beton ... ..	127
Tabel 5.15	Spesifikasi desaian balok komposit glulam - beton .....	128
Tabel 5.16	Komparasi beban puncak hasil analisis metode pias dan eksperimental .....	132
Tabel 5.17	Komparasi beban puncak hasil analisis metode transformasi dan eksperimental .....	132
Tabel 5.18	Komparasi beban puncak hasil analisis eksperimental (aktual) dan idealisasi .. ..	134
Tabel 5.19	Spesifikasi struktur balok komposit BK200.C .. ..	135
Tabel 5.20	Spesifikasi struktur balok komposit BK150.B .. ..	136
Tabel 5.21	Spesifikasi struktur balok komposit BK100.B .. ..	138
Tabel 5.22	Rasio perbedaan hasil metode Gamma dan eksperimental .. ..	139
Tabel 5.23	Rasio perbedaan hasil metode Frozen dan eksperimental .. ..	139
Tabel 5.24	Tegangan dan regangan tarik dan tekan maksimum bambu laminasi .....	139

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Diagram hirarki dan hubungan penggunaan dan produk bambu (Rittironk dan Elnieiri, 2007) ..	2
Gambar 1.2	Bangunan bambu : a) tradisional di Filipina, dan b) plester di Columbia (Flander dan Rovers, 2009) ....	2
Gambar 1.3	Proses pembuatan produk papan bambu laminasi/ <i>Laminated Bambu Lumber (LVL)</i> (Rittironk dan Elnieiri, 2007) .....	3
Gambar 1.4	Proses pembuatan produk balok/kolom bambu laminasi (Flander dan Rovers, 2009) .....	3
Gambar 1.5	Produk bambu laminasi (LBL) di Cina yang dikirim ke Amerika untuk finishing beberapa bangunan (Rittironk dan Elnieiri, 2007) .....	4
Gambar 1.6	Aplikasi glulam pada struktur jembatan di Cina (Xiao dkk, 2007) .....	5
Gambar 2.1	Diagram tegangan-regangan bambu dan baja (Morisco, 2006) .	10
Gambar 2.2	Aplikasi struktur kayu laminasi (glulam) pada bangunan .....	14
Gambar 2.3	Balok kayu laminasi-baut uji lentur 2 titik (Pranata, 2011) ..	15
Gambar 2.4	Perbandingan grafik beban – lendutan balok laminasi (LVL dan Glulam) (Liu dkk, 2008) .....	16
Gambar 2.5	Model uji kuat tumpu <i>dowel</i> pada kayu (Awaludin dkk, 2007).	17
Gambar 2.6	Spesifikasi benda uji dan pengujian geser lateral (Suriani, 2012) .....	20
Gambar 2.7	Spesifikasi benda uji dan pengujian geser lateral (Weaver, 2002) .....	21
Gambar 2.8	Kerusakan benda uji geser lateral (Weaver, 2002) .....	22
Gambar 2.9	Kurva beban – selip hasil uji geser lateral (Weaver, 2002) .....	22
Gambar 2.10	Setup pengujian geser lateral kayu – pelat baja (Awaludin, 2008) .....	23
Gambar 2.11	Beban leleh satu irisan untuk sambungan baja – kayu (Awaludin, 2008) .....	23
Gambar 2.12	Kurva beban lateral – slip dengan pre-tension (Awaludin, 2008).....	23
Gambar 2.13	Pengembangan balok FRP-glulam-beton (David et al., 2002)....	24
Gambar 2.14	Hasil uji lentur balok FRP-glulam-beton (David et al., 2002)...	25
Gambar 2.15	Kerusakan lentur balok FRP-glulam-beton (David et al., 2002).	25
Gambar 2.16	Jenis kerusakan balok komposit glugu-sengon-beton (RBK) ....	26
Gambar 2.17	Konstruksi jembatan glulam di Leiyang, Cina (Xiao dkk, 2007)	27
Gambar 2.18	Sistem struktur balok komposit (Zhang, 2013) .....	28
Gambar 2.19	Hubungan beban-slip konektor sebanding dengan prediksi beban lendutan metode Gamma (Zhang, 2013) ...	28
Gambar 2.20	Hubungan beban-slip konektor sebanding dengan prediksi beban lendutan metode Frozen (Zhang, 2013).....	28
Gambar 2.21	Hubungan beban-slip konektor sebanding dengan prediksi beban lendutan metode elasto-plastis (Zhang, 2013) .....	29

Gambar 3.1	Bentuk-bentuk konektor geser (Salmon dan Johnson, 1996).....	35
Gambar 3.2	Pengujian kuat leleh lentur besi beton (ASTM F1575, 2008).....	36
Gambar 3.3	Metode penentuan titik leleh (Munoz, dkk, 2010) .....	37
Gambar 3.4	Model kelelahan sambungan <i>dowel</i> tunggal (NDS, AF&PA, 1999) .....	38
Gambar 3.5	Hubungan tegangan tarik dan tekan bilinear (Buchanan, 1990)..	41
Gambar 3.6	Distribusi regangan dan tegangan lentur kayu (Buchanan, 1990).....	42
Gambar 3.7	Dimensi tampang melintang yang menentukan lebar efektif .....	43
Gambar 3.8	Penampang komposit Glulam-Beton tipe T .....	43
Gambar 3.9	Letak garis netral pada tampang komposit glulam – beton .....	45
Gambar 3.10	Distribusi tegangan pada tampang balok komposit glulam-beton .....	46
Gambar 3.11	Diagram tegangan – regangan balok glulam-beton .....	47
Gambar 3.12	Luasan kurvatur balok tumpuan sederhana (Maghsoundi dan Sharifi, 2009) .....	49
Gambar 3.13	Distribusi tegangan balok komposit sebagian ( <i>partial composite</i> ) (Zhang, 2013) .....	51
Gambar 3.14	Tingkat gaya geser di dalam konektor (Zhang, 2013).....	52
Gambar 3.15	Balok dengan beban terpusat dua buah pada 1/3 bentang.....	54
Gambar 3.16	Diagram lendutan balok terlentur akibat beban terpusat 1/3 bentang .....	55
Gambar 4.1	Diagram alir ( <i>flow chart</i> ) penelitian .....	56
Gambar 4.2	Mesin gergaji.....	59
Gambar 4.3	Mesin <i>planner</i> .....	59
Gambar 4.4	Kempa hidrolis .....	60
Gambar 4.5	<i>Universal Testing Machine</i> (UTM).....	61
Gambar 4.6	<i>Loading frame</i> .....	61
Gambar 4.7	<i>Hydraulic Jack</i> dan <i>Hydraulic Pump</i> .....	62
Gambar 4.8	<i>LVDT</i> , <i>Load Cell</i> , dan <i>Data Logger</i> .....	63
Gambar 4.9	Benda uji kadar dan berat jenis bambu laminasi .....	64
Gambar 4.10	Ukuran denda uji tarik bambu petung laminasi .....	65
Gambar 4.11	Konfigurasi variasi jumlah dan posisi nodia pada daerah uji tarik .....	66
Gambar 4.12	Benda uji tarik tegak lurus serat (ASTM D143, 2008) .....	66
Gambar 4.13	Benda uji tekan (ASTM D143, 2008) .....	67
Gambar 4.14	Benda uji geser (ASTM D143, 2008) .....	67
Gambar 4.15	Benda uji lentur bambu laminasi.....	68
Gambar 4.16	Benda uji kuat tumpu bambu laminasi dengan setengah lubang. ....	69
Gambar 4.17	Benda uji kuat tumpu bambu laminasi dengan lubang penuh ...	69
Gambar 4.18	Spesifikasi benda uji geser tahanan lateral tipe 1.....	71
Gambar 4.19	Spesifikasi benda uji geser tahanan lateral tipe 2.....	72
Gambar 4.20	Penampang benda uji balok komposit.....	73
Gambar 4.21	Penampang batang tekan bambu laminasi.....	76
Gambar 4.22	Setup pengujian tekan dan poisson rasio.....	76
Gambar 4.23	Setup pengujian lentur baja tulangan ulir.....	78

Gambar 4.24	Setup pengujian kuat tumpu .....	79
Gambar 4.25	Setup pengujian tahanan lateral komposit.....	80
Gambar 4.26	Dimensi penampang balok komposit bambu laminasi – beton BK150.B .....	82
Gambar 4.27	Dimensi penampang balok komposit bambu laminasi – beton BK200.C .....	82
Gambar 4.28	Dimensi penampang balok komposit bambu laminasi – beton BK100.B .....	83
Gambar 4.29	Pengeboran balok dan pemasangan <i>dowel</i> pada bambu laminasi .....	83
Gambar 4.30	Geometri jarak <i>dowel</i> 35 mm pada balok BK150.B, BK200.C, dan BK100.B .....	84
Gambar 4.31	Geometri jarak <i>dowel</i> 75 mm pada balok BK150.75 .....	84
Gambar 4.32	Geometri jarak <i>dowel</i> 150 mm pada balok BK150.150 .....	84
Gambar 4.33	Pemasangan <i>strain gauge</i> .....	85
Gambar 4.34	Setup pengujian lentur balok komposit .....	86
Gambar 4.35	Setup LVDT pembacaan <i>slip</i> horisontal antara bambu dan beton .....	87
Gambar 5.1	Kurva hubungan tegangan-regangan tarik bambu laminasi variasi jumlah nodia ..	96
Gambar 5.2	Kurva tegangan-regangan tarik dan tekan bambu laminasi..	97
Gambar 5.3	Grafik penentuan titik leleh ( $P_y$ ) dengan metode offset 5%D ..	99
Gambar 5.4	Grafik komparasi kuat tumpu dan <i>dowel</i> ulir dan polos dengan variasi diameter ...	101
Gambar 5.5	Kerusakan tumpu bambu petung laminasi <i>half hole</i> ..	102
Gambar 5.6	Kerusakan tumpu bambu petung laminasi <i>full hole</i> ..	102
Gambar 5.7	Grafik nilai tahanan lateral komposit bambu laminasi – beton ..	106
Gambar 5.8	Kerusakan pada benda uji tahanan lateral tipe 1 ...	107
Gambar 5.9	Kerusakan pada benda uji tahanan lateral tipe 2 ...	110
Gambar 5.10	Grafik beban lendutan tengah bentang balok komposit (BK)....	112
Gambar 5.11	Grafik beban lendutan tengah bendatng balok komposit variasi jarak <i>dowel</i> (BK150)..	113
Gambar 5.12	Grafik beban – <i>slip</i> balok komposit (BK) ..	114
Gambar 5.13	Grafik regangan pada tampang balok komposit BK200.C .....	115
Gambar 5.14	Grafik regangan pada tampang balok komposit BK150.B .....	115
Gambar 5.15	Grafik regangan pada tampang balok komposit BK150.75 ..	116
Gambar 5.16	Grafik regangan pada tampang balok komposit BK150.150 ..	116
Gambar 5.17	Grafik regangan pada tampang balok komposit BK100.B .....	117
Gambar 5.18	Grafik hubungan kelengkungan dan momen lentur balok komposit ..	118
Gambar 5.19	Grafik hubungan faktor kekakuan dan momen lentur balok BK	119
Gambar 5.20	Kerusakan pada beton untuk balok komposit BK200.C ..	120
Gambar 5.21	Kerusakan pada bambu untuk balok komposit BK200.C ..	121
Gambar 5.22	Kerusakan pada beton untuk balok komposit BK150.B ..	122
Gambar 5.23	Kerusakan geser pada tumpuan balok komposit BK200.C .....	123
Gambar 5.24	Kerusakan pada balok komposit BK150.75 .....	123
Gambar 5.25	Kerusakan pada balok komposit BK150.150 ..	124

Gambar 5.26	Kerusakan pada balok komposit BK100.B ..	125
Gambar 5.27	Idealisasi sifat bambu laminasi kondisi tarik dan tekan ..	126
Gambar 5.28	Idealisasi sifat beton yang mengalami tekan ..	126
Gambar 5.29	Diagram distribusi regangan penampang <i>balance</i> ..	127
Gambar 5.30	Grafik tegangan – regangan model balok komposit ..	129
Gambar 5.31	Komparasi hasil analisis dan eksperimental balok BK200.C ...	130
Gambar 5.32	Komparasi hasil analisis dan eksperimental balok BK150.B ...	131
Gambar 5.33	Komparasi hasil analisis dan eksperimental balok BK100.B ...	131
Gambar 5.34	Hasil eksperimen regangan dan tegangan balok BK200.C .....	133
Gambar 5.35	Hasil eksperimen regangan dan tegangan balok BK150.B .....	133
Gambar 5.36	Hasil eksperimen regangan dan tegangan balok BK100.B .....	134
Gambar 5.37	Komparasi hasil analisis gamma, frozen, dan eksperimental BK200.C .....	135
Gambar 5.38	Komparasi hasil analisis gamma, frozen, dan eksperimental BK150.B .....	136
Gambar 5.39	Komparasi hasil analisis gamma, frozen, dan eksperimental BK150.75 ... ..	137
Gambar 5.40	Komparasi hasil analisis gamma, frozen, dan eksperimental BK150.150 ... ..	137
Gambar 5.41	Komparasi hasil analisis gamma, frozen, dan eksperimental BK100.B .....	138
Gambar 5.42	Prediksi beban – lendutan balok komposit (BK) .....	142
Gambar 5.48	Letak garis netral pada tampang komposit .....	146

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Spesifikasi Bahan Perekat Urea Formaldehida ... ..	159
Lampiran 2	Pengujian Perekat pada Bambu Petung Laminasi .. ..	161
Lampiran 3	Sifat Fisika dan Mekanika Bambu Petung Laminasi .. ..	162
Lampiran 4	Pemodelan Desain Balok Komposit Bambu Laminasi – Beton .. .	174
Lampiran 5	Hitungan Balok Tampang Transformasi .. ..	186