

EVALUASI KINERJA KOLOM DAN BALOK BANGUNAN EKSISTING DENGAN PENGUJIAN NONDESTRUKTIF

Roi Milyardi
NRP: 1221048

Pembimbing: Dr. Yosafat Aji Pranata, S.T., M.T.

ABSTRAK

Bangunan tua sebagai warisan cagar budaya tentunya harus dilestarikan keberadaannya. Berdasarkan dari jenis sistem struktur bangunan, bangunan tua ada yang tersusun dari sistem portal balok dan kolom, sementara itu dari jenis material, bangunan tua eksisting ada yang tersusun dari dinding batu bata dan kayu. Tidak sedikit dari bangunan tua tersebut masih difungsikan sebagai fungsi bangunannya. Pada bangunan yang masih difungsikan, tentunya dibutuhkan penyelidikan kinerja struktur bangunan yang bersifat tidak merusak (nondestruktif) komponen struktur bangunan terutama pada bangunan tua kayu yang memiliki sifat material yang tidak homogen.

Tujuan penelitian dalam Tugas Akhir ini adalah melakukan evaluasi kinerja struktur bangunan kayu eksisting terhadap beban gravitasi dan beban gempa, serta evaluasi kinerja komponen kolom dan balok.

Hasil dari penelitian ini menyatakan bahwa bangunan Vihara Satya Budhi yang berada di kota Bandung memenuhi persyaratan simpangan antar lantai ijin minimum dan persyaratan $0,85V_s \leq V_d$ akibat respon spektrum desain sesuai SNI 1726:2012. Pada analisis kinerja balok dan kolom berdasarkan SNI 7973:2013, terdapat 7 buah komponen struktur kolom dan 2 buah komponen struktur balok tidak memenuhi persyaratan kekuatan terhadap beban gravitasi dan beban gempa respon spektrum. Sementara itu, pada analisis kinerja balok dan kolom berdasarkan *Eurocode 5* didapati 3 komponen kolom tidak memenuhi persyaratan kekuatan terhadap beban gravitasi dan beban gempa respon spektrum. Saran yang diberikan adalah pada tahap selanjutnya dapat dilakukan penelitian untuk menanggulangi pada bagian-bagian struktur bangunan yang diidentifikasi tidak memenuhi persyaratan SNI 7973:2013 dan *Eurocode 5*.

Kata Kunci: Bangunan Tua Eksisting, *Eurocode 5*, Evaluasi Kinerja Kolom dan balok, Gempa, Pengujian Nondestruktif, SNI 1726:2012, SNI 7973:2013,

PERFORMANCE EVALUATION OF COLUMN AND BEAM OF EXSISTING BUILDING WITH NONDESTRUCTIVE TESTING

Roi Milyardi
NRP: 1221048

Supervisor: Dr. Yosafat Aji Pranata, S.T., M.T.

ABSTRACT

Ancient building as heritage building must be preserved its existence. Based on structure system, ancient building's material composed by beam-column (frame) system, in addition based on type of material, ancient building' material composed by brick wall structure and wood structure. Some ancient building still in operational function that certainly needed non-destructive investigation structural member especially on wooden ancient building that have not homogeneous material property.

The target of research in this final project is to evaluate the performance of the ancient existing wooden building structure against gravity loads and seismic loads and related to evaluate the performance of the beam and column.

The results of this final project stated that Satya Budhi temple building in the city of Bandung meet the requirements of a minimum story drift and requirement $0,85V_s \leq V_d$ from response spectrum design based on SNI 1726: 2012. The analysis of the performance of beam and column based on SNI 7973:2013, there is 7 structural column and 2 structural beam that do not satisfy performance requirement against gravity loads and response spectrum seismic loads. Whereas on analysis of the performance of beam and column based on Eurocode 5, there is 3 structural column that do not satisfy performance requirement against gravity loads and response spectrum seismic loads. The suggestion of this final project that in the next step could be held research to solve the beam and column that not comply minimum requirement SNI 7973:2013 and Eurocode 5.

Keyword: Ancient exsisting building, Earthquake, Eurocode 5, Nondestructive Testing, Performance Evaluation of beam and column, SNI 1726:2012, SNI 7973:2013.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN ORISINALITAS LAPORAN PENNELITIAN	iii
PERNYATAAN PUBLIKASI LAPORAN PENELITIAN	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR NOTASI	xxi
DAFTAR LAMPIRAN	xxiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	3
1.3 Ruang Lingkup	3
1.4 Sistematika Penulisan	4
1.5 Diagram Alir Penelitian	5
BAB II TINJAUAN LITERATUR	6
2.1 Kayu	6
2.1.1 Sifat Fisik Kayu	6
2.1.2 Sifat Mekanik Kayu	8
2.2 Bangunan Kayu	9
2.2.1 Kolom	9
2.2.2 Balok	10
2.3 Pengujian Destruktif dan Pengujian Nondestruktif	10
2.3.1 Pengujian Nondestruktif	10
2.3.2 Pengujian Destruktif	11
2.4 <i>Sylvatest Trio</i>	14
2.4.1 Langkah Kerja <i>Sylvatest Trio</i>	14
2.4.2 Pengolahan Data <i>Sylvatest Trio</i>	16
2.5 Beban	17
2.5.1 Beban Gravitasi	17
2.5.2 Beban Gempa	18
2.5.2.1 Beban Gempa Rencana	18
2.5.2.2 Respon Spektrum Desain	20
2.5.2.3 Analisis Statik Ekuivalen	27
2.5.2.4 Analisis Dinamik Respons Spektrum	30
2.5.2.5 Simpangan Antar Lantai	31
2.5.3 Kombinasi Pembebanan	32
2.6 Perangkat Lunak <i>SAP2000</i>	34
2.7 Pengolahan Data Statistik	35
2.8 Analisis Kinerja Kolom, Balok berdasarkan SNI 7973:2013	37
2.8.1 Analisis Kinerja Kekuatan Batang Tekan Berdasarkan	

SNI7973:2013.....	37
2.8.2 Analisis Kinerja Kekuatan Geser Sejajar Serat Berdasarkan SNI7973:2013.....	38
2.8.3 Analisis Kinerja Kekuatan Momen Lentur Berdasarkan SNI7973:2013.....	39
2.8.4 Analisis Kinerja Kekuatan Kombinasi Momen Lentur dan Aksial Tekan Berdasarkan SNI 7973:2013.....	40
2.8.5 Faktor Koreksi Pada Persyaratan Kekuatan Nominal Berdasarkan SNI 7973:2013.....	41
2.8.5.1 Nilai Desain Acuan dan Terkoreksi (F_c, F_v, F_b).....	41
2.8.5.2 Faktor Layan Basah, C_M	42
2.8.5.3 Faktor Temperatur, C_t	43
2.8.5.4 Faktor Tusukan, C_i	43
2.8.5.5 Faktor Efek Waktu, λ	43
2.8.5.6 Faktor Ketahanan, Φ	44
2.8.5.7 Faktor Konversi Format, K_F	44
2.8.5.8 Faktor Stabilitas Kolom, C_p	45
2.8.5.9 Faktor Ukuran, C_F	45
2.8.5.10 Faktor Komponen Struktur Berulang, C_r	46
2.8.5.11 Faktor Penggunaan Rebah, C_{fu}	46
2.8.5.12 Faktor Stabilitas Balok, C_L	46
2.9 Analisis Kinerja Kekuatan Momen Lentur Berdasarkan <i>Eurocode</i> 5.....	47
2.9.1 Analisis Kinerja Kekuatan Batang Tekan Berdasarkan <i>Eurocode</i> 5.....	47
2.9.2 Analisis Kinerja Kekuatan Geser Sejajar Serat Berdasarkan <i>Eurocode</i> 5.....	50
2.9.3 Analisis Kinerja Kekuatan Momen Lentur Berdasarkan <i>Eurocode</i> 5.....	50
2.9.4 Analisis Kinerja Kekuatan Kombinasi Momen Lentur dan Aksial Tekan Berdasarkan <i>Eurocode</i> 5.....	53
2.9.5 Faktor Koreksi Pada Persyaratan Kekuatan Nominal <i>Eurocode</i> 5.....	54
2.9.5.1 Faktor Durasi Bangunan, k_{mod}	54
2.9.5.2 Faktor Parsial, γ_M	55
2.9.5.3 Faktor Ukuran, k_h	55
2.9.5.4 Nilai Desain Acuan Dan Terkoreksi ($f_{m,k}, f_{c,0,k}, f_{v,k}$).....	55
2.9.5.5 Faktor Tekuk Lateral, k_{crit}	58
BAB III PENGAMBILAN DATA DAN PENGUJIAN.....	59
3.1 Bangunan Eksisting.....	59
3.2 Pengujian Nondestruktif.....	67
3.2.1 Pemetaan Bangunan.....	68
3.2.2 Pengambilan Data Menggunakan <i>Sylvatest Trio</i>	70
3.3 Pengujian Destruktif.....	89
3.3.1 Pengujian Berat Jenis (BJ) Kayu.....	89
3.3.2 Pengujian Parsial Join Balok dan Kolom.....	94
3.4 Perhitungan Beban Penutup Atap.....	103
3.5 Perhitungan Modulus Elastisitas.....	104
BAB IV PEMODELAN DAN ANALISIS STRUKTUR.....	116

4.1	Pemodelan Bangunan Pada Program SAP2000.....	116
4.2	Perhitungan dan <i>Input</i> Data Pembebanan yang Bekerja.....	125
4.2.1	Perhitungan dan <i>Input</i> Data Pembebanan yang Bekerja.....	126
4.2.1.1	Perhitungan Beban Gravitasi.....	126
4.2.1.2	<i>Input</i> Beban Gravitasi.....	137
4.2.2	Perhitungan dan <i>Input</i> Beban Gempa.....	139
4.2.3	Perhitungan dan <i>Input</i> Kombinasi Beban Pada SAP2000.....	145
4.3	Analisis Struktur Bangunan Dengan $MOE_{dinamik}$	147
4.3.1	Partisipasi Masa Ragam.....	147
4.3.2	<i>Mode Shape</i>	148
4.3.3	Waktu Getar Alami.....	148
4.3.4	Gaya Dalam.....	150
4.3.5	Perhitungan Berat Struktur.....	154
4.4	Pembahasan Kinerja Bangunan Berdasarkan Analisis Respon Spektrum Bangunan Dengan $MOE_{dinamik}$	157
4.4.1	Skala Gaya Gedung Dengan $MOE_{dinamik}$	157
4.4.2	Simpangan Antar Lantai Gedung Dengan $MOE_{dinamik}$	159
4.5	Analisis Struktur Bangunan Dengan MOE_{statik}	164
4.5.1	Partisipasi Masa Ragam.....	164
4.5.2	<i>Mode Shape</i>	165
4.5.3	Waktu Getar Alami.....	165
4.5.4	Gaya Dalam.....	167
4.6	Pembahasan Kinerja Bangunan Berdasarkan Analisis Respon Spektrum Bangunan Dengan MOE_{statik}	170
4.6.1	Skala Gaya Gedung Dengan MOE_{statik}	170
4.6.2	Simpangan Antar Lantai Gedung Dengan MOE_{statik}	172
4.7	Pembahasan Kinerja Kolom.....	177
4.7.1	Pembahasan Kinerja Kolom Berdasarkan SNI 7973:2013.....	177
4.7.1.1	Pembahasan Kinerja Aksial Tekan Kolom Berdasarkan SNI 7973:2013.....	177
4.7.1.2	Pembahasan Kinerja Momen Lentur Kolom Berdasarkan SNI 7973:2013.....	183
4.7.1.3	Pembahasan Kinerja Kombinasi Aksial Tekan dan Momen Lentur Kolom Berdasarkan SNI 7973:2013.....	190
4.7.2	Pembahasan Kinerja Kolom Berdasarkan <i>Eurocode5</i>	196
4.7.2.1	Pembahasan Kinerja Aksial Tekan Kolom Berdasarkan <i>Eurocode5</i>	196
4.7.2.2	Pembahasan Kinerja Momen Lentur Kolom Berdasarkan <i>Eurocode5</i>	201
4.7.2.3	Pembahasan Kinerja Kombinasi Aksial Tekan dan Momen Lentur Kolom Berdasarkan <i>Eurocode5</i>	209
4.8	Pembahasan Kinerja Balok.....	214
4.8.1	Pembahasan Kinerja Balok Berdasarkan SNI 7973:2013.....	214
4.8.1.1	Pembahasan Kinerja Momen Lentur Balok Berdasarkan SNI 7973:2013.....	214
4.8.1.2	Pembahasan Kinerja Geser Berdasarkan SNI 7973:2013.....	221
4.8.2	Pembahasan Kinerja Balok Berdasarkan <i>Eurocode5</i>	224
4.8.2.1	Pembahasan Kinerja Momen Lentur Balok Berdasarkan	

<i>Eurocode5</i>	224
4.8.2.2 Pembahasan Kinerja Geser Balok Berdasarkan <i>Eurocode5</i>	229
4.9 Pembahasan Perbedaan Analisis Kinerja Kekuatan berdasarkan SNI 7973:2013 Dan <i>Eurocode 5</i>	233
BAB V SIMPULAN DAN SARAN	236
5.1 Simpulan	236
5.2 Saran.....	237
DAFTAR PUSTAKA.....	238
LAMPIRAN.....	241
SURAT KETERANGAN TUGAS AKHIR.....	243
SURAT KETERANGANSELESAI TUGAS AKHIR.....	244



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Vihara Satya Budhi (Jl. Kelenteng 10/23A, Bandung)	1
Gambar 1.2	Struktur Portal Balok Kolom Pada Vihara Satya Budhi	2
Gambar 1.3	Penggunaan <i>Sylvatest Trio</i> Pada Pengukuran Kolom.....	3
Gambar 1.4	Diagram Alir Penelitian.....	5
Gambar 2.1	Pengujian Parsial Pen dan Lubang [Erdil,Y.Z. <i>et al</i> , 2005].....	11
Gambar 2.2	M_n dan V_n Pada Sambungan Balok-Kolom.....	12
Gambar 2.3	Alat <i>Universal Testing Machine (UTM)</i> Pada Pengujian Sambungan Parsial.....	12
Gambar 2.4	Tipe-tipe Kegagalan Pada Pengujian Material Kayu.....	13
Gambar 2.5	Definisi Beban Batas Proporsional [Yasumura dan Kawai,1998]..	13
Gambar 2.6	Perangkat <i>Sylvatest Trio</i>	14
Gambar 2.7	Posisi <i>Probes</i> Dengan Cara <i>Direct measurement</i>	15
Gambar 2.8	Posisi <i>Probes</i> Dengan Cara <i>Indirect measurement</i>	15
Gambar 2.9	Posisi <i>Probes</i> Dengan Cara <i>Radial Measurement</i>	15
Gambar 2.10	Data Hasil Pemancaran Gelombang <i>Sylvatest Trio</i>	16
Gambar 2.11	Peta MCER (S_s), Berdasarkan SNI 1726:2012.....	19
Gambar 2.12	Peta MCER (S_1), Berdasarkan SNI 1726:2012	19
Gambar 2.13	Spektrum Respons Desain.....	26
Gambar 2.14	Penentuan Simpangan Antar Lantai.....	32
Gambar 2.15	Panjang Efektif dan Kondisi Akhir Berdasarkan <i>Eurocode 5</i>	48
Gambar 2.16	Tekan Aksial	49
Gambar 2.17	Tekuk Kolom	49
Gambar 2.18	Penampang Balok Persegi Panjang.....	52
Gambar 3.1	Lokasi Vihara Satya Budhi pada <i>Google Map</i>	59
Gambar 3.2	Lokasi Vihara Satya Budhi pada <i>Google Earth</i>	60
Gambar 3.3	Foto Vihara Satya Budhi.....	60
Gambar 3.4	Site Plan Vihara Satya Budhi.....	61
Gambar 3.5	Denah Vihara Satya Budhi.....	62
Gambar 3.6	Potongan A-A, B-B, E-E Vihara Satya Budhi.....	63
Gambar 3.7	Potongan C-C, D-D, Tampak Muka Vihara Satya Budhi.....	63
Gambar 3.8	Tampak Perspektif Denah Lantai Vihara Satya Budhi	64
Gambar 3.9	Tampak Perspektif Denah Kolom Vihara Satya Budhi.....	64
Gambar 3.10	Tampak Perspektif Denah Dinding Vihara Satya Budhi.....	65
Gambar 3.11	Tampak Perspektif Denah Balok Atap Vihara Satya Budhi	65
Gambar 3.12	Tampak Perspektif Atap Vihara Satya Budhi	66
Gambar 3.13	Tampak Perspektif Atas Vihara Satya Budhi.....	66
Gambar 3.14	Tampak Perspektif Vihara Satya Budhi.....	67
Gambar 3.15	Area Pengujian yang Diijinkan Pengurus Vihara Satya Budhi.....	68
Gambar 3.16	Pengukuran Dimensi dan tinggi Kolom.....	69
Gambar 3.17	Pengukuran Dimensi dan Panjang Balok.....	69
Gambar 3.18	Denah Struktur Bangunan Vihara Satya Budhi.....	70
Gambar 3.19	Tampak Depan Ilustrasi Penandaan Titik Pengujian.....	71
Gambar 3.20	Penandaan Titik Pengujian Pada Kolom.....	71
Gambar 3.21	Pembersihan Dempul dan Cat pada Kolom.....	72

Gambar 3.22 Pembersihan Dempul dan Cat pada Balok.....	72
Gambar 3.23 Hasil Pembersihan Dempul dan Cat Pada Balok.....	73
Gambar 3.24 Hasil Pembersihan Dempul dan Cat Pada Kolom.....	73
Gambar 3.25 Tampak Atas Penamaan Sisi pada Balok dan Kolom.....	74
Gambar 3.26 Tampak Depan Ilustrasi Lokasi Penempatan <i>Probes</i>	74
Gambar 3.27 Posisi Alat Pemancar dan Penerima Gelombang Ultrasonik Sejauh 30cm.....	75
Gambar 3.28 Pengukuran Balok Menggunakan Alat <i>Sylvatest Trio</i>	75
Gambar 3.29 Pengukuran Kolom Menggunakan Alat <i>Sylvatest Trio</i>	76
Gambar 3.30 Pemotongan Kayu Struktural Vihara yang Telah Diganti.....	89
Gambar 3.31 Pemotongan Kayu untuk Dijadikan Benda Uji.....	89
Gambar 3.32 Penimbangan Berat Basah Kayu Vihara, Benda Uji Nomor 1.....	90
Gambar 3.33 Penimbangan Berat Basah Kayu Vihara, Benda Uji Nomor 2.....	90
Gambar 3.34 Penimbangan Berat Basah Kayu Vihara, Benda Uji Nomor 3.....	91
Gambar 3.35 Penimbangan Berat Basah Kayu Vihara, Benda Uji Nomor 4.....	91
Gambar 3.36 Penimbangan Berat Basah Kayu Vihara, Benda Uji Nomor 5.....	91
Gambar 3.37 Proses Pengeringan Benda Uji Kayu Vihara dengan Menggunakan Oven.....	92
Gambar 3.38 Penimbangan Berat Kering Kayu Vihara, Benda Uji Nomor 1.....	92
Gambar 3.39 Penimbangan Berat Kering Kayu Vihara, Benda Uji Nomor 2.....	93
Gambar 3.40 Penimbangan Berat Kering Kayu Vihara, Benda Uji Nomor 3.....	93
Gambar 3.41 Penimbangan Berat Kering Kayu Vihara, Benda Uji Nomor 4.....	93
Gambar 3.42 Penimbangan Berat Kering Kayu Vihara, Benda Uji Nomor 5.....	94
Gambar 3.43 Pembuatan dan Penimbangan Sample Berat Basah Kayu Pengujian Sambungan Balok-Kolom.....	95
Gambar 3.44 Pengeringan Kayu Benda Uji Pengujian Sambungan Balok- Kolom.....	95
Gambar 3.45 Penimbangan Berat Kering Kayu Pengujian Sambungan Balok- Kolom, Benda Uji Nomor 1.....	95
Gambar 3.46 Penimbangan Berat Kering Kayu Pengujian Sambungan Balok- Kolom, Benda Uji Nomor 2.....	96
Gambar 3.47 Penimbangan Berat Kering Kayu Pengujian Sambungan Balok- Kolom, Benda Uji Nomor 3.....	96
Gambar 3.48 Penimbangan Berat Kering Kayu Pengujian Sambungan Balok- Kolom, Benda Uji Nomor 4.....	96
Gambar 3.49 Model Sambungan Balok dan Kolom Tampak Samping.....	98
Gambar 3.50 Model Sambungan Balok dan Kolom Tampak Atas.....	99
Gambar 3.51 Kolom Kayu Pengujian Sambungan Balok-Kolom.....	99
Gambar 3.52 Persiapan Uji Sambungan Balok-Kolom dengan <i>UTM</i>	99
Gambar 3.53 Posisi <i>Dial Gauge</i>	100
Gambar 3.54 Posisi Beban.....	100
Gambar 3.55 Detail Persiapan Uji Sambungan Balok-Kolom dengan <i>UTM</i>	100
Gambar 3.56 Kegagalan <i>Horizontal Shear</i> Pada Model Balok-Kolom.....	101
Gambar 3.57 Beban vs Deformasi Pengujian sambungan dengan <i>UTM</i>	101
Gambar 3.58 Penentuan Beban Batas Proporsional.....	102
Gambar 3.59 Benda Uji Setelah Pengujian Sambungan Balok-Kolom dengan <i>UTM</i>	102
Gambar 3.60 Penimbangan Penutup Atap (Genteng)	103

Gambar 3.61 Pengukuran Lebar Penutup Atap.....	103
Gambar 3.62 Pengukuran Panjang Penutup Atap	103
Gambar 4.1 Tampilan <i>Default Grid SAP2000</i>	116
Gambar 4.2 Tampilan <i>Define Grid System Data</i>	117
Gambar 4.3 Tampilan Define Material Properties dengan $MOE_{dinamik}$	118
Gambar 4.4 Tampilan Define Material Properties dengan MOE_{statik}	118
Gambar 4.5 Mendefinisikan Material Kayu.....	118
Gambar 4.6 Mendefinisikan Material Dinding Bata	119
Gambar 4.7 Pemodelan Penampang Kayu	120
Gambar 4.8 Pemodelan Dinding Bata	121
Gambar 4.9 Pemodelan Sambungan.....	122
Gambar 4.10 Jenis Perletakan Sendi.....	123
Gambar 4.11 Pemodelan Vihara Satya Budhi pada SAP2000	123
Gambar 4.12 Tampilan <i>Define Constraint</i>	124
Gambar 4.13 Tampilan <i>Define Diaphragm Constraint</i>	124
Gambar 4.14 Penggambaran <i>Diaphragm Constraint</i> Elevasi 3,5m.....	125
Gambar 4.15 Penggambaran <i>Diaphragm Constraint</i> Elevasi 5m.....	125
Gambar 4.16 Tampilan <i>Define Load Pattern</i>	126
Gambar 4.17 Tampak 3D Atap Tipe 1.....	127
Gambar 4.18 Denah Gording dan Titik-titik Pembebanan Atap Tipe 1	128
Gambar 4.19 Luas Wilayah Pembebanan yang Dipikul oleh Titik O.....	128
Gambar 4.20 Tampak 3D Atap Tipe 2.....	131
Gambar 4.21 Denah Gording dan Titik-titik Pembebanan Atap Tipe 2	132
Gambar 4.22 Tampak 3D Atap Tipe 3.....	134
Gambar 4.23 Denah Gording dan Titik-titik Pembebanan Atap Tipe 3	134
Gambar 4.24 Tampak 3D Atap tipe 4.....	135
Gambar 4.25 Denah Gording dan Titik-titik Pembebanan Atap Tipe 4	136
Gambar 4.26 Pembebanan SDL Pada <i>Joint</i> Struktur Bangunan.....	137
Gambar 4.27 Pembebanan Beban Hidup Pada <i>Joint</i> Struktur Bangunan.....	138
Gambar 4.28 Pembebanan SDL Pada <i>Frame</i> Struktur Bangunan.....	138
Gambar 4.29 Pembebanan Beban Hidup Pada <i>Frame</i> Struktur Bangunan.....	139
Gambar 4.30 Nilai S_s untuk Kota Bandung.....	140
Gambar 4.31 Nilai S_1 untuk Kota Bandung.....	140
Gambar 4.32 Pemilihan Tipe Respon Spektrum Pada SAP2000	143
Gambar 4.33 Input Data Respon Spektrum Pada SAP2000.....	143
Gambar 4.34 Input skala faktor respon spektrum SPEC X.....	144
Gambar 4.35 Input skala faktor respon spektrum SPEC Y.....	144
Gambar 4.36 Input Respon Spektrum Pada <i>Menu Load Case</i>	145
Gambar 4.37 Input Kombinasi Beban.....	146
Gambar 4.38 Proses Analisis Pada SAP2000 Pada Bangunan Dengan $MOE_{dinamik}$	147
Gambar 4.39 Waktu Getar Alami Bangunan $MOE_{dinamik}$, T_x	149
Gambar 4.40 Waktu Getar Alami Bangunan $MOE_{dinamik}$, T_y	149
Gambar 4.41 Gaya Dalam Aksial Akibat Kombinasi Beban Pada Bangunan Dengan $MOE_{dinamik}$	151
Gambar 4.42 Gaya Dalam Geser Akibat Kombinasi Beban Pada Bangunan Dengan $MOE_{dinamik}$	151

Gambar 4.43 Gaya Dalam Momen Lentur Akibat Kombinasi Beban Pada Bangunan Dengan $MOE_{dinamik}$	152
Gambar 4.44 Berat Struktur Vihara Satya Budhi.....	154
Gambar 4.45 Proses Analisis Pada SAP2000 Pada Bangunan Dengan MOE_{Statik}	164
Gambar 4.46 Waktu Getar Alami Bangunan MOE_{statik}, T_x	166
Gambar 4.47 Waktu Getar Alami Bangunan MOE_{statik}, T_y	166
Gambar 4.48 Gaya Dalam Aksial Akibat Kombinasi Beban Pada Bangunan Dengan MOE_{Statik}	168
Gambar 4.49 Gaya Dalam Geser Akibat Kombinasi Beban Pada Bangunan Dengan MOE_{Statik}	168
Gambar 4.50 Gaya Dalam Momen Lentur Akibat Kombinasi Beban Pada Bangunan Dengan MOE_{Statik}	169



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Klasifikasi Situs	20
Tabel 2.2	Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non-gedung Untuk Beban Gempa.....	22
Tabel 2.3	Faktor Keutamaan Gempa	24
Tabel 2.4	Koefisien Situs, F_a	25
Tabel 2.5	Koefisien Situs, F_v	25
Tabel 2.6	Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Percepatan Periode Pendek	27
Tabel 2.7	Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan α	29
Tabel 2.8	Koefisien Untuk Batas Atas pada Periode yang Dihitung.....	30
Tabel 2.9	Simpangan antar tingkat ijin Δ_a	32
Tabel 2.10	Kombinasi Pembebanan SNI 1726:2012.....	33
Tabel 2.11	Persyaratan Nilai Rata-Rata Koefisien Variasi Untuk Sifat Kayu	36
Tabel 2.12	Koefisien Panjang Tekuk, K_e	38
Tabel 2.13	Nilai Desain dan Modulus Elastisitas Lentur Acuan.....	42
Tabel 2.14	Faktor Layan Basah, C_M	42
Tabel 2.15	Faktor Layan Basah, C_t	43
Tabel 2.16	Faktor Tusukan, C_i	43
Tabel 2.17	Faktor Efek Waktu, λ	44
Tabel 2.18	Faktor Ketahanan, Φ	44
Tabel 2.19	Faktor Konversi Format, K_F	44
Tabel 2.20	Faktor Penggunaan Rebah, C_{fu}	46
Tabel 2.21	Penentuan Panjang Efektif Komponen Lentur.....	53
Tabel 2.22	Faktor Durasi Bangunan, k_{mod}	54
Tabel 2.23	Faktor Parsial untuk Sifat Material, γ_M	55
Tabel 2.24	Faktor Ukuran, k_h	56
Tabel 2.25	Nilai kekuatan, Sifat kekakuan dan Kepadatan untuk Kelas Kekuatan Kayu Struktural.....	57
Tabel 2.26	Faktor Tekuk Lateral, k_{crit}	58
Tabel 3.1	Data Hasil Pengujian Kolom.....	77
Tabel 3.2	Data Hasil Pengujian Balok.....	82
Tabel 3.3	Data Hasil Perhitungan Berat Jenis (B_J).....	94
Tabel 3.4	Hasil Pengujian Berat Jenis Kayu Pengujian Sambungan.....	97
Tabel 3.5	Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Kayu Kolom Pengujian Sambungan Balok-Kolom.....	97
Tabel 3.6	Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Kayu Balok Pengujian Sambungan Balok-Kolom.....	97
Tabel 3.7	Hasil Pengujian Sambungan Balok-Kolom dengan UTM	102
Tabel 3.8	Hasil Perhitungan Balok B-R-11-14.....	105
Tabel 3.9	Hasil Perhitungan $MOE_{dinamik}$ dan MOE_{statik} untuk Kolom.....	106
Tabel 3.10	Hasil Perhitungan $MOE_{dinamik}$ dan MOE_{statik} untuk Balok	110
Tabel 4.1	Hasil Perhitungan Pembebanan Atap tipe 1.....	130
Tabel 4.2	Hasil Perhitungan Pembebanan Atap Tipe 2.....	132
Tabel 4.3	Hasil Perhitungan Pembebanan Atap Tipe 3.....	135

Tabel 4.4	Hasil Perhitungan Pembebanan Atap tipe 4.....	136
Tabel 4.5	Kombinasi Beban.....	146
Tabel 4.6	<i>Participating Mass Ratio</i> Pada Bangunan Dengan $MOE_{dinamik}$	147
Tabel 4.7	Ragam gerak struktur bangunan Pada Bangunan Dengan $MOE_{dinamik}$	148
Tabel 4.8	Waktu Getar Alami Pada Bangunan Dengan $MOE_{dinamik}$	150
Tabel 4.9	Gaya Dalam Maksimum Pada Kolom Bangunan Dengan $MOE_{dinamik}$	152
Tabel 4.10	Gaya Dalam Maksimum Pada Balok Bangunan Dengan $MOE_{dinamik}$	153
Tabel 4.11	Perhitungan Manual Berat Struktur Komponen Berpenampang Persegi Empat	155
Tabel 4.12	Perhitungan Manual Berat Struktur Komponen Berpenampang Lingkaran.....	157
Tabel 4.13	Perbandingan Gaya Geser Dinamik Dan Statik Pada Bangunan Dengan $MOE_{dinamik}$	158
Tabel 4.14	Perbesaran Faktor Skala Pada Bangunan Dengan $MOE_{dinamik}$	159
Tabel 4.15	Kontrol Simpangan Antar Lantai Arah X Pada Bangunan Dengan $MOE_{dinamik}$	159
Tabel 4.16	Kontrol Simpangan Antar Lantai Arah Y Pada Bangunan Dengan $MOE_{dinamik}$	162
Tabel 4.17	<i>Participating Mass Ratio</i> Pada Bangunan Dengan MOE_{statik}	164
Tabel 4.18	Ragam gerak struktur Pada Bangunan Dengan MOE_{statik}	165
Tabel 4.19	Waktu Getar Alami Pada Bangunan Dengan MOE_{statik}	167
Tabel 4.20	Gaya Dalam Maksimum Pada Kolom Bangunan Dengan MOE_{statik} ..	169
Tabel 4.21	Gaya Dalam Maksimum Pada Balok Bangunan Dengan MOE_{statik}	170
Tabel 4.22	Perbandingan Gaya Geser Dinamik Dan Statik Gedung Dengan MOE_{statik}	171
Tabel 4.23	Perbesaran Faktor Skala Gedung Dengan MOE_{statik}	172
Tabel 4.24	Kontrol Simpangan Antar Lantai Arah X Pada Bangunan Dengan MOE_{statik}	172
Tabel 4.25	Kontrol Simpangan Antar Lantai Arah Y Pada Bangunan Dengan MOE_{statik}	175
Tabel 4.26	Pengecekan Rasio Kelangsingan Kolom Dengan $MOE_{dinamik}$ Berdasarkan SNI 7973:2013.....	179
Tabel 4.27	Pengecekan Rasio Kelangsingan Kolom Dengan MOE_{statik} Berdasarkan SNI 7973:2013.....	180
Tabel 4.28	Pengecekan Kekuatan Aksial Kolom Dengan $MOE_{dinamik}$ Berdasarkan SNI 7973:2013.....	181
Tabel 4.29	Pengecekan Kekuatan Aksial Kolom Dengan MOE_{statik} Berdasarkan SNI 7973:2013.....	182
Tabel 4.30	Pengecekan Stabilitas Kolom Dengan $MOE_{dinamik}$ Berdasarkan SNI 7973:2013	185
Tabel 4.31	Pengecekan Stabilitas Kolom Dengan MOE_{statik} Berdasarkan SNI 7973:2013	186
Tabel 4.32	Pengecekan Kekuatan Momen Lentur Kolom Dengan $MOE_{dinamik}$ Berdasarkan SNI 7973:2013.....	187
Tabel 4.33	Pengecekan Kekuatan Momen Lentur Kolom Dengan MOE_{statik} Berdasarkan SNI 7973:2013.....	188

Tabel 4.34	Pengecekan Kekuatan Momen Lentur Kolom Dengan $MOE_{dinamik}$ ($F'_b = 96MPa$) Berdasarkan SNI 7973:2013	190
Tabel 4.35	Pengecekan Kekuatan Momen Lentur Kolom Dengan MOE_{statik} ($F'_b = 96MPa$) Berdasarkan SNI 7973:2013	190
Tabel 4.36	Pengecekan Kekuatan Kombinasi Aksial Tekan dan Momen Lentur Kolom Dengan $MOE_{dinamik}$ Berdasarkan SNI 7973:2013.....	192
Tabel 4.37	Pengecekan Kekuatan Kombinasi Aksial Tekan dan Momen Lentur Kolom Dengan MOE_{statik} Berdasarkan SNI 7973:2013.....	193
Tabel 4.38	Pengecekan Kekuatan Kombinasi Aksial Tekan dan Momen Lentur Kolom Dengan $MOE_{dinamik}$ ($F'_b = 96MPa$) Berdasarkan SNI 7973:2013	195
Tabel 4.39	Pengecekan Kekuatan Kombinasi Aksial Tekan dan Momen Lentur Kolom Dengan MOE_{statik} ($F'_b = 96MPa$) Berdasarkan SNI 7973:2013	195
Tabel 4.40	Pengecekan Kekuatan Aksial Tekan Kolom Dengan $MOE_{dinamik}$ Berdasarkan <i>Eurocode5</i>	199
Tabel 4.41	Pengecekan Kekuatan Aksial Tekan Kolom Dengan MOE_{statik} Berdasarkan <i>Eurocode5</i>	200
Tabel 4.42	Pengecekan Kelangsingan Lentur Kolom Bangunan dengan $MOE_{dinamik}$ Berdasarkan <i>Eurocode 5</i>	204
Tabel 4.43	Pengecekan Kelangsingan Lentur Kolom Bangunan dengan MOE_{statik} Berdasarkan <i>Eurocode 5</i>	204
Tabel 4.44	Pengecekan Kekuatan Momen Lentur Kolom Dengan $MOE_{dinamik}$ Berdasarkan <i>Eurocode5</i>	205
Tabel 4.45	Pengecekan Kekuatan Momen Lentur Kolom Dengan MOE_{statik} Berdasarkan <i>Eurocode5</i>	206
Tabel 4.46	Pengecekan Kekuatan dan Momen Lentur Kolom Dengan $MOE_{dinamik}$ ($f_{m,k} = 96MPa$) Berdasarkan <i>Eurocode5</i>	208
Tabel 4.47	Pengecekan Kekuatan Momen Lentur Kolom Dengan MOE_{statik} ($f_{m,k} = 96MPa$) Berdasarkan <i>Eurocode5</i>	208
Tabel 4.48	Pengecekan Kekuatan Kombinasi Aksial Tekan Dan Momen Lentur Kolom Dengan $MOE_{dinamik}$ Berdasarkan <i>Eurocode5</i>	210
Tabel 4.49	Pengecekan Kekuatan Kombinasi Aksial Tekan Dan Momen Lentur Kolom Dengan MOE_{statik} Berdasarkan <i>Eurocode5</i>	211
Tabel 4.50	Pengecekan Kekuatan kombinasi Aksial Tekan dan Momen Lentur Kolom Dengan $MOE_{dinamik}$ ($f_{m,k} = 96MPa$) Berdasarkan <i>Eurocode5</i>	213
Tabel 4.51	Pengecekan Kekuatan Kombinasi Aksial Tekan dan Momen Lentur Kolom Dengan MOE_{statik} ($f_{m,k} = 96MPa$) Berdasarkan <i>Eurocode5</i> ...	213
Tabel 4.52	Pengecekan Stabilitas Balok Dengan $MOE_{dinamik}$ Berdasarkan SNI 7973:2013	217
Tabel 4.53	Pengecekan Stabilitas Balok Dengan MOE_{statik} Berdasarkan SNI 7973:2013	218
Tabel 4.54	Pengecekan Kekuatan Momen Lentur Balok Dengan $MOE_{dinamik}$ Berdasarkan SNI 7973:2013.....	219
Tabel 4.55	Pengecekan Kekuatan Momen Lentur Balok Dengan MOE_{statik} Berdasarkan SNI 7973:2013.....	220

Tabel 4.56	Pengecekan Kekuatan Momen Lentur Balok Dengan MOE_{statik} ($F'_b = 96MPa$) Berdasarkan SNI 7973:2013.....	220
Tabel 4.57	Pengecekan Kekuatan Geser Balok Dengan $MOE_{dinamik}$ Berdasarkan SNI 7973:2013.....	223
Tabel 4.58	Pengecekan Kekuatan Geser Balok Dengan MOE_{statik} Berdasarkan SNI 7973:2013.....	223
Tabel 4.59	Pengecekan Kekuatan Momen Lentur Balok Dengan $MOE_{dinamik}$ Berdasarkan <i>Eurocode 5</i>	227
Tabel 4.60	Pengecekan Kekuatan Momen Lentur Balok Dengan MOE_{statik} Berdasarkan <i>Eurocode 5</i>	228
Tabel 4.61	Pengecekan Kekuatan Geser Balok Dengan $MOE_{dinamik}$ Berdasarkan <i>Eurocode 5</i>	231
Tabel 4.62	Pengecekan Kekuatan Geser Balok Dengan MOE_{statik} Berdasarkan <i>Eurocode 5</i>	232
Tabel 4.63	Perbandingan Nilai Kapasitas berdasarkan SNI 7973:2013 dan <i>Eurocode 5</i>	233
Tabel 4.64	Perbedaan Hasil Perhitungan SNI 7973:2013 dan <i>Eurocode 5</i>	235



DAFTAR NOTASI

A_n	Luas penampang netto balok/ kolom
b	lebar penampang balok/ kolom
BJ	Berat jenis
C_d	Faktor amplifikasi defleksi
C_s	Koefisien respons seismik
C_d	Faktor amplifikasi defleksi
C_{smax}	Koefisien respons seismik maksimum
C_{smin}	Koefisien respons seismik minimum
C_{fu}	Faktor koreksi penggunaan datar
C_F	Faktor koreksi ukuran
C_i	Faktor koreksi tusukan
C_L	Faktor stabilitas balok
C_M	Faktor koreksi layan basah
C_P	Faktor stabilitas kolom
C_r	Faktor koreksi komponen struktur berulang
C_t	Nilai parameter perioda pendekatan
C_u	Koefisien untuk batas atas pada perioda bangunan
C_{vx}	Faktor distribusi vertical
d	tinggi penampang balok
DL	Beban mati
E	Pengaruh beban gempa
$E_{0,05}$	Modulus elastisitas 5%
E_v	Pengaruh beban gempa vertikal
f	Faktor skala perbesaran pada gempa respon spektrum
$f_{c,0,k}$	Nilai desain acuan tekan sejajar serat
f_b	Tegangan normal lentur akibat pembebanan
F_b	Nilai acuan desain lentur
F'_b	Nilai tegangan lentur desain terkoreksi (kapasitas)
f_c	Tegangan normal tekan kolom atau batang akibat pembebanan
F_c	Nilai acuan desain tekan
F'_c	Nilai tegangan tekan desain terkoreksi (kapasitas)
$f_{m,k}$	Nilai desain acuan lentur
$f_{m,x,d}$	Kapasitas tegangan lentur sumbu x terkoreksi
$f_{m,y,d}$	Kapasitas tegangan lentur sumbu y terkoreksi
f_v	Tegangan geser akibat pembebanan (<i>demand</i>)
$f_{v,d}$	Kapasitas tegangan geser terkoreksi
$f_{v,k}$	Nilai desain acuan geser
F_v	Nilai acuan desain geser
F'_v	Nilai tegangan geser desain terkoreksi (kapasitas)
F_a	Koefisien situs untuk perioda pendek (pada perioda 0,2detik)
F_v	Koefisien situs untuk perioda panjang (perioda 1 detik)

F_x	Bagian dari gaya geser dasar, pada tingkat x
g	Percepatan gravitasi
h	Tinggi bangunan, pada lantai i atau n
i_x	Jari jari rotasi sumbu x
i_y	Jari jari rotasi sumbu y
I_e	Faktor keutamaan gempa
k	Eksponen yang terkait dengan perioda struktur
K_F	Faktor konversi format
k_m	Faktor distribusi tegangan
k_{mod}	Faktor durasi beban
k_{sys}	Faktor sistem pembagian
l_e	Panjang efektif
l_{ef}	Panjang efektif lentur
l	Panjang aktual
L	Jarak antara <i>probes</i>
LL	Beban hidup
MOE	Modulus elastisitas
$MOE_{dinamik}$	Modulus elastisitas dinamik
MOE_{statik}	Modulus elastisitas statik
N_u	Gaya tekan <i>ultimate</i> sejajar serat
n	Jumlah data
P	Faktor redundansi untuk desain seismik D sampai F nilainya 1,3
Q	Statis momen
Q_z	Pengaruh gaya seismik horizontal
R	Faktor modifikasi respons
S	Deviasi Standar
S_1	Parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada perioda 1detik
SA	Tanah batuan keras
SB	Tanah batuan
SC	Tanah keras sangat padat dan batuan lunak
SD	Tanah lunak
SDL	Beban mati tambahan
S_{D1}	Parameter percepatan respons spektral spesifik situs pada perioda 1detik, redaman 5%
SF	Tanah khusus yang membutuhkan
S_{DS}	Parameter percepatan respon desain pada periode pendek investigasi geoteknik spesifik
S_{MS}	Parameter percepatan respons spektral MCE pada perioda pendek yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs
S_{M1}	Percepatan percepatan respon spektral MCE pada perioda 1 detik yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs
S_s	Parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada perioda 0,2detik
t	Waktu rambat gelombang ultrasonik

T	Waktu getar alami bangunan
T_0	Periode awal pada respon spektrum
T_a	Waktu getar alami fundamental pendekatan
T_{max}	Waktu getar alami fundamental maksimum
V_t	Kecepatan rambat gelombang di material terkoreksi
V_0	Cepat rambat gelombang ultrasonik pada alat <i>Sylvatest Trio</i>
V_s	Gaya geser gempa statik
V_d	Gaya geser gempa dinamik
W_t	Berat bangunan
W_x	Statis momen arah sumbu x
W_y	Statis momen arah sumbu y
$\bar{x}$	Rata-rata
$\bar{x}_i$	Data ke-i
λ	Faktor efek waktu
$\lambda_{rel m}$	Rasio kelangsingan lentur
$\lambda_{rel,x}$	Rasio kelangsingan relatif sumbu x
$\lambda_{rel,y}$	Rasio kelangsingan relatif sumbu y
λ_x	Rasio kelangsingan sumbu x
λ_y	Rasio kelangsingan sumbu y
Δ	Simpangan antar lantai
$\Delta_a^{a,b}$	Simpangan antar tingkat ijin
δ_{xe}	Defleksi pada lokasi yang disyaratkan
ρ	Kerapatan massa kayu
γ_M	Koefisien parsial material kayu
ρ	Berat jenis kayu
ρ_e	Faktor reduksi
v	Koefisien variansi
ϕ_b	Faktor ketahanan lentur
ϕ_c	Faktor ketahanan tekan
ϕ_v	Faktor ketahanan geser
$\sigma_{c,0,d}$	Tegangan normal tekan sejajar serat akibat pembebanan
$\sigma_{m,crit}$	Tegangan kritis lentur
$\sigma_{m,x,d}$	Tegangan lentur arah sumbu x akibat pembebanan
$\sigma_{m,y,d}$	Tegangan lentur arah sumbu y akibat pembebanan
τ_d	Tegangan geser akibat pembebanan

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Tabel Kekuatan Material- <i>Wood Handbook</i> , 2010.....	241
Lampiran 2	Perbandingan Periode Bangunan Tanpa Dinding Batu Bata Dengan Bangunan Dengan Dinding Batu Bata	242

