

ANALISIS LENTUR PADA SAMBUNGAN RUMAH MODULAR DENGAN MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK

Nehemia Edward Kurniawan
1421063

Pembimbing: Dr. ANANG KRISTIANTO, S.T., M.T.

ABSTRAK

Indonesia merupakan negara yang memiliki tingkat kerawanan gempa yang tinggi dengan skala intensitas moderat hingga berat. Kondisi ini menyebabkan sistem struktur yang dibangun di Indonesia harus sesuai dengan kaidah bangunan tahan gempa. Saat ini, pengembangan rumah modular menjadi salah satu prioritas Badan Penelitian dan Pengembangan Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat untuk mengatasi permasalahan kebutuhan rumah tinggal di Indonesia. Salah satu usulan konsep, yaitu rumah modular tipe 36 yang menggunakan sistem struktur *frame* yang didesain sesuai kaidah kekuatan, kekakuan, dan stabilitas yang terdiri atas komponen struktur utama kolom dan balok, dengan dilengkapi boks *joint* dan pelat penyambung khusus. Penggunaan perangkat lunak dapat dimanfaatkan sebagai alat bantu untuk hasil analisis yang lebih akurat.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kekuatan sambungan rumah modular akibat beban lentur dengan menggunakan perangkat lunak SAP2000. Pemodelan dalam perangkat lunak dibuat 3 model sambungan. Dimensi model A memiliki penampang kotak, dimensi model B memiliki penampang berbentuk I, dan dimensi model C memiliki penampang berbentuk *plus* atau *cross*, ketiga model memiliki tebal sebesar 5mm. Untuk setiap model dibuat 2 metode, yaitu: *dry connection* dan *wet connection*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa setiap sambungan baik *dry connection* dan *wet connection* memenuhi kapasitas untuk dijadikan rumah modular. Program SAP2000 tidak dapat mengalami kehancuran seperti pada uji laboratorium sehingga terjadi perbedaan hasil deformasi. Ukuran *mesh* pada program SAP2000 mempengaruhi benda uji sehingga dapat mendekati hasil uji laboratorium. Berdasarkan hasil *output* SAP2000 tegangan yang terjadi untuk *dry connection* dan *wet connection* sambungan model B yang mendekati dengan hasil uji laboratorium.

Kata kunci: modular balok, rumah modular, boks *joint*, *dry connection*, *wet connection*, perangkat lunak SAP2000, *mesh*, deformasi

FLEXURAL BENDING ANALYSIS BOX JOINTS ON FABRICATED HOUSE USING SOFTWARE

**Nehemia Edward Kurniawan
1421063**

Supervisor: Dr. Anang Kristianto, S.T., M.T.

ABSTRACT

Indonesia is a country with high earthquake vulnerability with moderate to severe intensity scale. This condition causes the structural system built in Indonesia to be in accordance the rules of earthquake resistant building. Currently, the development of fabricated house is one of the priorities of the Agency for Research and Development of Public Works and People's Housing to address the problems of housing needs in Indonesia. One of the proposed concepts, which is a fabricated house type 36 that uses a frame structure system designed according to the rules of strength, stiffness, and stability consisting of the main structural components of columns and beams, with a box joint and a special connecting plate. The use of the software can be used as a tool for more accurate analysis results.

This study aims to analyze the strength of modular home connections due to flexural load using SAP2000 software. Modeling in software made 3 connection models. The model A dimension has a box section, model B dimension has an I-shaped section, and model C has a plus or cross shaped section, the three models have a thickness of 5mm. For each model two methods are made, namely: dry connection and wet connection.

The results showed that each connection both dry connection and wet connection fullfil the capacity to be fabricated house. The SAP2000 program can not experience such destruction in laboratory tests resulting in different deformation results. The mesh size of the SAP2000 program affects the specimen so that it can approach the laboratory test results. Based on the results of the SAP2000 stress output for dry connection and wet connection, connection model B is close to the results of laboratory tests.

Keyword: *modular beam, fabricated house, box joint, dry connection, wet connection, software SAP2000, mesh, deformation*

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
<i>ABSTRACT</i>	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR NOTASI	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	2
1.3 Ruang Lingkup Penelitian	2
1.4 Sistematika Penulisan	2
BAB II STUDI LITERATUR	3
2.1 Rumah	3
2.1.1 Rumah Tinggal	3
2.1.2 Rumah Modular	4
2.2 Beton Bertulang	5
2.3 Balok Beton Bertulang	6
2.4 Sambungan Beton Bertulang	7
2.4.1 Sambungan <i>Dry Connection</i> dan <i>Wet Connection</i>	7
2.4.2 Sambungan Las dan Baut	9
2.5 Perangkat Lunak SAP2000	11
2.5.1 Fasilitas SAP2000	12
2.5.2 Objek dan Elemen	13
2.5.3 Elemen <i>Shell</i>	13
2.5.4 Elemen <i>Solid</i>	16
2.5.5 Hasil <i>Output</i> SAP2000	17
2.5.6 Tabel Pergeseran/Perpindahan <i>Joint</i>	18
2.6 Konsep Perancangan	19
2.7 Konsep Elemen Hingga	23
2.8 Teori Umum Metode Elemen Hingga	23
Metode Elemen Hingga Segi Empat	25
2.9 Tegangan Normal pada Balok	28
BAB III METODE PENELITIAN	30
3.1 Diagram Alir Penelitian	30
3.2 <i>Preliminary Design</i>	31
3.2.1 Data Struktur dan Denah Rumah Modular	31
3.2.2 <i>Preliminary Design</i> Balok	32

3.2.3 <i>Preliminary Design</i> dan Analisis Atap	33
3.2.4 <i>Preliminary Design</i> Kolom	34
3.3 <i>Preliminary Design</i> Bangunan Rumah Modular	35
3.4 Perencanaan Sambungan Balok	51
3.5 Pemodelan Benda Uji pada SAP2000	53
3.5.1 Pemodelan Sambungan <i>Dry Connection</i>	53
3.5.2 Pemodelan Sambungan <i>Wet Connection</i>	62
3.6 Perhitungan Momen (M_u)	74
3.6.1 Momen pada Sambungan Model A	75
3.6.2 Momen pada Sambungan Model B	76
3.6.3 Momen pada Sambungan Model C	76
3.7 Perhitungan Tegangan (σ_x)	77
3.7.1 Analisis Tegangan untuk Sambungan Model A	77
3.7.2 Analisis Tegangan untuk Sambungan Model B	78
3.7.3 Analisis Tegangan untuk Sambungan Model C	78
3.8 Proses Pengujian Benda Uji	80
BAB IV ANALISIS DATA	81
4.1 Kapasitas Momen Sambungan dengan <i>Dry Connection</i> dan <i>Wet Connection</i>	81
4.2 Deformasi Sambungan Balok Uji Laboratorium dan SAP2000	81
4.2.1 Sambungan Balok Model A <i>Dry Connection</i>	82
4.2.2 Sambungan Balok Model B <i>Dry Connection</i>	83
4.2.3 Sambungan Balok Model C <i>Dry Connection</i>	84
4.2.4 Sambungan Balok Model A <i>Wet Connection</i>	85
4.2.5 Sambungan Balok Model B <i>Wet Connection</i>	86
4.2.6 Sambungan Balok Model C <i>Wet Connection</i>	88
4.3 Perbedaan Deformasi	89
4.3.1 Sambungan Balok Model A <i>Dry Connection</i>	89
4.3.2 Sambungan Balok Model B <i>Dry Connection</i>	90
4.3.3 Sambungan Balok Model C <i>Dry Connection</i>	90
4.3.4 Sambungan Balok Model A <i>Wet Connection</i>	90
4.3.5 Sambungan Balok Model B <i>Wet Connection</i>	91
4.3.6 Sambungan Balok Model C <i>Wet Connection</i>	91
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	95
5.1 Kesimpulan	95
5.2 Saran	95
DAFTAR PUSTAKA	96
LAMPIRAN	97

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Tipikal Sambungan Pracetak	8
Gambar 2.2 Konsep Sambungan Las atau Baut Antar Modul	9
Gambar 2.3 Tipikal Sambungan pada Modul dengan Menggunakan Baut Atau Las	10
Gambar 2.4 Model Sambungan Kolom pada Struktur <i>Design for Disassembly</i> (DfD)	10
Gambar 2.5 Model Sambungan Kering pada Balok dengan Menggunakan Baut	11
Gambar 2.6 Kotak Dialog <i>New Model</i> pada SAP2000	13
Gambar 2.7 Gaya dan Momen pada Elemen <i>Shell</i>	16
Gambar 2.8 <i>Solid Element Joint Connectivity</i> dan <i>Face Definitions</i>	17
Gambar 2.9 Pemilihan <i>Item Output</i> yang akan Ditampilkan	18
Gambar 2.10 Tampilan Tabel <i>Output Joint Displacement</i>	18
Gambar 2.11 Diskritisasi Suatu Benda Menjadi Elemen-elemen Kecil	25
Gambar 2.12 Elemen Segi Empat dengan 4 Simpul dalam Nomer Simpul Global	25
Gambar 2.13 Elemen Segi Empat dalam Koordinat Simpul Global	26
Gambar 2.14 Penyebaran Tegangan Normal pada Sebuah Balok dari Bahan Elastis Linear	28
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	30
Gambar 3.2 Denah Rumah Modular HASAN	31
Gambar 3.3 Tinjauan Balok Kedua Ujung Menerus	32
Gambar 3.4 Tinjauan Balok Satu Ujung Menerus	32
Gambar 3.5 Gaya Dalam Struktur Rangka Atap	33
Gambar 3.6 Pemodelan Beban Atap Rumah Modular	34
Gambar 3.7 Pengisian <i>Grid</i> Data pada Pemodelan ETABS	35
Gambar 3.8 Pengisian Material Pemodelan ETABS	36
Gambar 3.9 Pemodelan Kolom pada ETABS	36
Gambar 3.10 Pemodelan Balok pada ETABS	37
Gambar 3.11 Pemodelan Rumah Modular pada ETABS	37
Gambar 3.12 Pengisian pembebanan pada ETABS	39
Gambar 3.13 Pengisian Kombinasi Pembebanan pada ETABS	39
Gambar 3.14 Pengisian Beban Atap dan Dinding pada ETABS	40
Gambar 3.15 Hasil Massa Struktur Bangunan pada ETABS	40
Gambar 3.16 Respons Spektrum pada ETABS	41
Gambar 3.17 Analisis Partisipasi Ragam dan Periode Getar pada ETABS	42
Gambar 3.18 <i>Deformed Shape Mode 1</i>	43
Gambar 3.19 <i>Deformed Shape Mode 2</i>	43
Gambar 3.20 <i>Deformed Shape Mode 3</i>	44
Gambar 3.21 Pengisian Gaya Gempa Lateral	46
Gambar 3.22 Mengisi Pembebanan Akibat Respons Spektrum pada ETABS	47
Gambar 3.23 Pengisian <i>Case Respon</i> Spektrum	47
Gambar 3.24 Hasil Simpangan Akibat Gempa	49
Gambar 3.25 <i>Story Forces SpecX</i>	50

Gambar 3.26 <i>Story Forces SpecY</i>	50
Gambar 3.27 Sambungan Model A	52
Gambar 3.28 Sambungan Model B	52
Gambar 3.29 Sambungan Model C	53
Gambar 3.30 Penentuan Modul <i>Pipes and Plates</i>	53
Gambar 3.31 Penentuan Bentuk <i>Rectangular Plate</i>	54
Gambar 3.32 Penentuan Bentuk <i>Circular Hole</i>	54
Gambar 3.33 Hasil Pengisian Ukuran Pelat Baja	55
Gambar 3.34 Pengisian Data Material	55
Gambar 3.35 Pengisian Data Material <i>Solid</i>	56
Gambar 3.36 Pembuatan Area pada Bagian Sisi Pelat Baja	56
Gambar 3.37 Cara Pembuatan <i>Solid</i>	57
Gambar 3.38 Pengisian Ukuran <i>Solid</i>	57
Gambar 3.39 Hasil <i>Extrude Area to Solid</i>	58
Gambar 3.40 Detail Sambungan Model A <i>Dry Connection</i>	58
Gambar 3.41 Detail Sambungan Model B <i>Dry Connection</i>	59
Gambar 3.42 Detail Sambungan Model C <i>Dry Connection</i>	60
Gambar 3.43 Pengisian Beban Mati Tambahan pada Model	61
Gambar 3.44 Hasil Lendutan dan Kontur Tegangan S11 pada Model	62
Gambar 3.45 Penentuan Model <i>Pipes and Plates</i>	62
Gambar 3.46 Penentuan Bentuk <i>Rectangular Plate</i>	63
Gambar 3.47 Penentuan Bentuk <i>Circular Hole</i>	63
Gambar 3.48 Hasil Pengisian Ukuran Pelat Baja	64
Gambar 3.49 Pengisian Data Material	64
Gambar 3.50 Pengisian Data Material <i>Solid</i>	65
Gambar 3.51 Pembuatan Area pada Bagian Sisi Pelat Baja	65
Gambar 3.52 Cara Pembuatan <i>Solid</i>	66
Gambar 3.53 Pengisian Ukuran <i>Solid</i>	66
Gambar 3.54 Hasil <i>Extrude Area to Solid</i>	67
Gambar 3.55 Pengisian Data Material	67
Gambar 3.56 Pengisian Data Material <i>Solid</i>	68
Gambar 3.57 Pembuatan Area pada Bagian Sisi Pelat Baja	68
Gambar 3.58 Cara Pembuatan <i>Solid</i>	69
Gambar 3.59 Pengisian Ukuran <i>Solid</i>	69
Gambar 3.60 Hasil <i>Extrude Area to Solid</i> untuk <i>Wet Connection</i>	70
Gambar 3.61 Detail Sambungan Model A <i>Wet Connection</i>	70
Gambar 3.62 Detail Sambungan Model B <i>Wet Connection</i>	71
Gambar 3.63 Detail Sambungan Model C <i>Wet Connection</i>	71
Gambar 3.64 Pengisian Beban Mati Tambahan pada Model	73
Gambar 3.65 Hasil Lendutan dan Kontur Tegangan S11 pada Model	74
Gambar 3.66 Gaya-gaya pada Benda Uji	74
Gambar 3.67 Potongan Diagram Momen untuk Sumbu $x = 0,5m$	75
Gambar 3.68 Diagram Momen dan Gaya Geser	75
Gambar 4.1 Kurva Deformasi Hubungan Lab. dan SAP Sambungan Model A <i>Dry Connection</i>	83
Gambar 4.2 Kurva Deformasi Hubungan Lab. dan SAP Sambungan Model B <i>Dry Connection</i>	84
Gambar 4.3 Kurva Deformasi Hubungan Lab. dan SAP Sambungan	

Model C <i>Dry Connection</i>	85
Gambar 4.4 Kurva Deformasi Hubungan Lab. dan SAP Sambungan Model A <i>Wet Connection</i>	86
Gambar 4.5 Kurva Deformasi Hubungan Lab. dan SAP Sambungan Model B <i>Wet Connection</i>	88
Gambar 4.6 Kurva Deformasi Hubungan Lab. dan SAP Sambungan Model C <i>Wet Connection</i>	89
Gambar 4.7 Tegangan S11 Sambungan Model A <i>Dry Connection</i>	93
Gambar 4.8 Tegangan S11 Sambungan Model B <i>Dry Connection</i>	93
Gambar 4.9 Tegangan S11 Sambungan Model C <i>Dry Connection</i>	93
Gambar 4.10 Tegangan S11 Sambungan Model A <i>Wet Connection</i>	94
Gambar 4.11 Tegangan S11 Sambungan Model B <i>Wet Connection</i>	94
Gambar 4.12 Tegangan S11 Sambungan Model C <i>Wet Connection</i>	94



DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Data Karakteristik Material	31
Tabel 3.2 Berat Struktur Bangunan Pemodelan ETABS	40
Tabel 3.3 Partisipasi Massa Ragam	42
Tabel 3.4 Perhitungan Gaya Gempa Lateral	45
Tabel 3.5 Kombinasi Pembebanan Gempa	48
Tabel 3.6 Kombinasi Pembebanan Gempa Rumah Modular	49
Tabel 3.7 Pemeriksaan Simpangan Rumah Modular	50
Tabel 3.8 Pemeriksaan Analisis $0,85V_s < V_d$ Rumah Modular	51
Tabel 3.9 Pemeriksaan Pengaruh P-Delta Rumah Modular	51
Tabel 3.10 Parameter P_u , V_u dan M_u pada ETABS	51
Tabel 3.11 Momen pada Sambungan A	76
Tabel 3.12 Momen pada Sambungan B	76
Tabel 3.13 Momen pada Sambungan C	77
Tabel 3.14 Tegangan Tekan (Negatif)	79
Tabel 3.15 Tegangan Tarik (Positif)	79
Tabel 4.1 Hasil Momen Sambungan Baja	81
Tabel 4.2 Hasil Deformasi Sambungan Balok Model A	82
Tabel 4.3 Hasil Deformasi Sambungan Balok Model B	84
Tabel 4.4 Hasil Deformasi Sambungan Balok Model C	85
Tabel 4.5 Hasil Deformasi Sambungan Balok Model A	86
Tabel 4.6 Hasil Deformasi Sambungan Balok Model B	87
Tabel 4.7 Hasil Deformasi Sambungan Balok Model C	89
Tabel 4.8 Perbedaan Deformasi Sambungan Balok Model A	90
Tabel 4.9 Perbedaan Deformasi Sambungan Balok Model B	90
Tabel 4.10 Perbedaan Deformasi Sambungan Balok Model A	91
Tabel 4.11 Perbedaan Deformasi Sambungan Balok Model B	91
Tabel 4.12 Perbedaan Deformasi Sambungan Balok Model C	91
Tabel 4.13 Hasil Tegangan Tekan Uji Lab. dan Tegangan S11	92
Tabel 4.14 Hasil Tegangan Tarik Uji Lab. dan Tegangan S11	92

DAFTAR NOTASI

A_b	Luas baut
A_{gv}	Luas <i>bruto</i> penahan geser
A_{nt}	Luas <i>netto</i> penahan tarik
A_{nv}	Luas <i>netto</i> penahan geser
b_p	Lebar pelat
C_d	Faktor amplifikasi defleksi
C_s	Koefisien respon seismik
C_{vx}	Faktor distribusi vertikal
d	Diameter baut
d_i	Jarak baris ke- i dari baut tarik terhadap titik berat
f'_c	Mutu beton
F_i	Gaya gempa lateral statik
F_{nt}	Tegangan tarik nominal
F_{nv}	Tegangan geser nominal
F_{py}	Tegangan leleh dari material pelat ujung
F_u	Kekuatan tarik minimum
F_y	Tegangan leleh minimum
l_c	Jarak bersih antara tepi lubang dan tepi lubang yang berdekatan
g	Spasi pusat-ke pusat transversal antara sarana penyambung
g	Percepatan gravitasi
h_i dan h_x	Tinggi dari dasar sampai tingkat i atau x
h_{sx}	Tinggi tingkat di bawah tingkat x
I_e	Faktor keutamaan gempa
k	Eksponen yang terkait dengan periode struktur
M_p	Momen lentur plastis
M_u	Momen ultimit
P_x	Beban desain vertikal pada dan di atas tingkat x
R	Koefisien modifikasi respons
R_n	Kekuatan nominal
s	Spasi pusat-ke pusat longitudinal setiap dua lubang
t	Tebal pelat
t_p	Tebal pelat ujung
U_{bs}	Koefisien reduksi
V	Gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur
V_x	Gaya geser seismik yang bekerja antara tingkat x dan $x-1$
W	Berat total struktur
w_i dan w_x	Bagian berat seismik efektif total struktur (W) yang ditempatkan atau dikenakan pada tingkat i atau x
Y_p	Parameter kuat batas pelat berdasarkan pola garis leleh yang dapat berbeda untuk tiap-tiap konfigurasi geometri
Z_x	Modulus penampang plastis
δ_{xe}	Defleksi pada lokasi yang disyaratkan
σ	Tegangan
σ_{ijin}	Tegangan izin

γ_r	Faktor peningkatan kapasitas sambungan untuk memenuhi syarat sebagai sambungan <i>rigid</i>
\emptyset	Faktor ketahanan
Δ	Simpangan antar lantai tingkat desain



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran L.1 Pemodelan Sambungan	97
Lampiran L.2 Detail Komponen	99
Lampiran L.3 <i>Output</i> SAP2000 Deformasi	102

