

ANALISIS PENENTUAN TEGANGAN-REGANGAN GESER BALOK BAJA AKIBAT BEBAN TERPUSAT DENGAN METODE ELEMEN HINGGA

Michael Simanullang
NRP : 0221080

Pembimbing : Yosafat Aji Pranata, ST., MT.

FAKULTAS TEKNIK JURUSAN TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS KRISTEN MARANATHA
BANDUNG

ABSTRAK

Teknologi komputerisasi belakangan ini berkembang dengan sangat pesat sehingga mempermudah pengerjaan dalam bidang numerik dan non-numerik, salah satunya dalam bidang teknik sipil. Banyak muncul perangkat lunak yang mempermudah para praktisi Teknik Sipil dalam menganalisis suatu masalah. Salah satu contoh perangkat lunak yang sering dipakai dalam dunia Teknik Sipil adalah perangkat lunak SAP2000.

Tugas akhir ini bertujuan mempelajari perilaku balok baja dengan persamaan analitis dan metode elemen hingga, yaitu tegangan geser, regangan geser, gaya geser dan lendutan maksimum. Simulasi metode elemen hingga dilakukan menggunakan perangkat lunak SAP2000. Prediksi hitungan analitis berdasarkan persamaan teori dasar mekanika bahan [Gere dan Timoshenko, 1997]. Pada penelitian ini simulasi metode elemen hingga menggunakan variasi enam model *mesh* elemen *shell* untuk membentuk balok profil baja IWF 150x75x5x7. Model pembebanan yang dipakai adalah beban terpusat (P) dan berat sendiri balok (q).

Dalam pengujian eksperimental, letak dua buah *strain gauges* pada *web* belakang tidak membentuk sudut 90° , sehingga nilai yang dihasilkan berbeda terhadap perhitungan analitis dan simulasi metode elemen hingga, yaitu dengan perbedaan relatif sebesar 15,7196% - 17,1616% (terhadap analitis), dan sebesar 12,7143% - 14,1862% (terhadap metode elemen hingga).

Kata kunci: Balok, Baja, Gaya Geser, Tegangan, Regangan, Lendutan, *Shell*, Metode Elemen Hingga, *Strain Gauges*, *UTM*, *Smart Dynamic Strain Recorder*.

PRAKATA

Puji syukur kepada Tuhan Yesus Kristus yang memberikan hikmat dan pengetahuan, karena begitu besar anugrah-Nya sehingga Tugas Akhir ini dapat selesai tepat waktu. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat untuk menempuh program pendidikan Sarjana di Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Kristen Maranatha Bandung. Tugas Akhir ini memiliki judul **“ANALISIS PENENTUAN TEGANGAN-REGANGAN GESER BALOK BAJA AKIBAT BEBAN TERPUSAT DENGAN METODE ELEMEN HINGGA”**

Tugas Akhir ini jauh dari kesempurnaan, mengingat keterbatasan waktu dan kemampuan penyusun. Penyusun menerima saran dan masukan yang membangun dengan tangan terbuka. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar - besarnya kepada semua pihak yang turut memberikan dukungan dan masukan dalam penyusunan Tugas Akhir ini, yaitu kepada :

1. Yosafat Aji Pranata, ST., MT. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan bimbingan dan arahan serta semangat.
2. Ir. Daud Rachmat W., M.Sc., Olga C. Pattipawaej, Ph.D., Cindrawaty Lesmana, ST., M.Sc.Eng, selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan dan saran untuk Tugas Akhir ini.
3. Tan Lie Ing, ST., MT., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Maranatha, Bandung.
4. Yosafat Aji Pranata, ST., MT. selaku Koordinator Tugas Akhir Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Kristen Maranatha, Bandung.

5. Hanny J. Dani, ST., MT., selaku dosen wali yang telah banyak memberikan bantuan dan dukungan.
6. Staf Pengajar, Staf Tata Usaha dan Perpustakaan Fakultas Teknik Universitas Kristen Maranatha Bandung.
7. Bapak dan mama tercinta, abangku Juara dan James, kakakku Hermina, Helen, Neny, adekku Heldya serta ponakanku Christiano. Terima kasih atas dukungan doa dan materil yang telah diberikan.
8. Nancy Maharani, Manse, Heber, Dedi, Afri, Ronal, Astri, Randi, Vidya, Toni, Nando, Parasian, Boro, Ella Momen, untuk dukungan doa dan motivasinya.
9. Teman-teman pemuda Hok Im Tong, Dicky, Alice, Angel, Yoyada, Wilda, Uly, Acong, Billiam, Tata, Ony, Steffany, Robin, Ria, Mery, Sammy.
10. Kahlil Gibran, C.S Lewis, Andrie Wongso, Andra and the Backbone, Drive, Peterpan, Gun and Roses, Bon Jovi, Hillsong, dan Nikita. Terima kasih karena telah menemani dan memberi inspirasi dalam mengerjakan Tugas Akhir ini.
11. Teman-teman semua angkatan 2002 dan pihak-pihak lain yang telah membantu yang tidak bisa disebutkan satu per satu.

Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat baik bagi penyusun dan rekan-rekan semua. God Bless You All.

Bandung, Agustus 2008

Penyusun

DAFTAR ISI

	Halaman
SURAT KETERANGAN TUGAS AKHIR	i
SURAT KETERANGAN SELESAI TUGAS AKHIR	ii
ABSTRAK	iii
PRAKATA	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang Penulisan.....	1
1.2 Tujuan Penulisan	3
1.3 Ruang Lingkup Penulisan	3
1.4 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Material Baja.....	5
2.1.1 Sejarah Perkembangan Struktur Baja.....	5
2.1.2 Sifat Mekanis Baja	8
2.2 Analisis Gaya-Gaya Dalam Balok Statis Tertentu	8
2.2.1 Jenis Beban	9
2.2.2 Reaksi.....	9

2.2.3 Perjanjian Tanda.....	11
2.3 Lendutan Balok Statis Tertentu.....	12
2.4 Tegangan Regangan Geser.....	13
2.4.1 Tegangan Geser di Balok dengan Penampang Persegi Panjang.....	13
2.4.2 Penurunan Rumus Tegangan Geser	15
2.4.3 Tegangan Geser di Badan Balok yang Mempunyai <i>Flens</i>	19
2.4.4 Regangan Geser	23
2.5 Metode Elemen Hingga.....	24
2.5.1 Perangkat Lunak SAP2000	25
2.5.2 Elemen <i>Shell</i>	27
2.5.3 Pemodelan Benda Uji.....	28
2.6 Uji Eksperimental.....	42
2.6.1 <i>Strain Gauges</i>	43
2.6.2 <i>Universal Testing Machine</i> (Hung Ta Instrument)	46
2.6.3 <i>Smart Dynamic Strain Recorder</i> (DC104R Controller)	46
2.6.4 Simulasi Uji Eksperimental (Laboratorium).....	50

BAB III STUDI KASUS DAN PEMBAHASAN

3.1 Studi Kasus	57
3.1.1 Data Material.....	58
3.1.2 Data Struktur	58
3.2 Perhitungan dengan Persamaan Analitis.....	59
3.3 Perhitungan dengan Metode Elemen Hingga.....	60
3.3.1 Pemodelan Struktur.....	60

3.3.2 Model I	61
3.3.3 Model II.....	61
3.3.4 Model III	62
3.3.5 Model IV	62
3.3.6 Model V	63
3.3.7 Model VI.....	63
3.4 Hasil Analisis dengan Perangkat Lunak SAP2000	64
3.5 Pembahasan.....	67
3.5.1 Tegangan.....	68
3.5.2 Regangan.....	71
3.5.3 Lendutan.....	74
3.5.4 Gaya Geser.....	76
 BAB IV KESIMPULAN DAN SARAN	
4.1 Kesimpulan	82
4.2 Saran.....	83
DAFTAR PUSTAKA	85
LAMPIRAN.....	86

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

A	= Luas, mm ²
b	= Lebar balok, mm
E	= Modulus elastisitas, N/mm ²
f_r	= Tegangan sisa, N/mm ²
f_u	= Tegangan tarik putus, N/mm ²
f_y	= Tegangan leleh baja, N/mm ²
G	= Modulus geser, N/mm ²
h	= Tinggi balok, mm
H_A	= Gaya horizontal di titik A, kg
h_l	= Tinggi bersih balok, mm
I_x	= Momen inersia, mm ⁴
L	= Panjang bentang, m
M	= Momen lentur, kg-m
P	= Beban terpusat, kg
q	= Beban merata, kg/m
Q	= Momen pertama, kg-m
t_w	= Tebal badan, mm
t_f	= Tebal sayap, mm
UTM	= <i>Universal Testing Machine</i>
ν	= Poison rasio
V	= Gaya geser, kg
V_A	= Gaya vertikal di titik A, kg

V_B	= Gaya vertikal di titik B, kg
V_E	= Gaya geser di titik E, kg
$V_{E\text{ Analitis}}$	= Gaya geser analitis di titik E, kg
$V_{E\text{ Lab web depan}}$	= Gaya geser laboratorium <i>web</i> depan di titik E, kg
$V_{E\text{ Lab web belakang}}$	= Gaya geser laboratorium <i>web</i> belakang di titik E, kg
σ	= Tegangan lentur, N/mm ²
τ	= Tegangan geser, N/mm ²
τ_{Analitis}	= Tegangan hasil perhitungan analitis, N/mm ²
$\tau_{\text{Lab web depan}}$	= Tegangan hasil laboratorium <i>web</i> depan, N/mm ²
$\tau_{\text{Lab web belakang}}$	= Tegangan hasil laboratorium <i>web</i> belakang, N/mm ²
τ_{MEH}	= Tegangan hasil metode elemen hingga, N/mm ²
γ	= Regangan geser
γ_{Analitis}	= Regangan hasil analitis
$\gamma_{\text{Lab web depan}}$	= Regangan hasil laboratorium <i>web</i> depan
$\gamma_{\text{Lab web belakang}}$	= Regangan hasil laboratorium <i>web</i> belakang
γ_{MEH}	= Regangan hasil metode elemen hingga
δ	= Lendutan, mm
δ_{Analitis}	= Lendutan hasil perhitungan analitis, mm
δ_{MEH}	= Lendutan hasil perhitungan metode elemen hingga, mm

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Jenis-jenis struktur baja.....	7
Gambar 2.2 Balok dengan tumpuan sendi rol.....	9
Gambar 2.3 Gaya geser V	11
Gambar 2.4 Perjanjian tanda untuk gaya geser V	12
Gambar 2.5 Lendutan balok statis tertentu	12
Gambar 2.6 Tegangan geser di suatu balok dengan penampang persegi.....	14
Gambar 2.7 Tegangan geser di suatu balok	16
Gambar 2.8 Diagram benda bebas subelemen yang memperlihatkan semua gaya horizontal.....	17
Gambar 2.9 Profil balok sayap lebar.....	20
Gambar 2.10 Tegangan geser di badan balok sayap lebar	21
Gambar 2.11 Elemen kecil dari bahan yang mengalami tegangan dan regangan geser	23
Gambar 2.12 Sistem sumbu dengan kaidah tangan kanan.....	26
Gambar 2.13 Sistem koordinat persegi (<i>cartesian</i>) dalam SAP2000	26
Gambar 2.14 Pertemuan titik nodal dan bidang permukaan	27
Gambar 2.15 Tampilan awal SAP2000.....	28
Gambar 2.16 <i>New Model</i>	29
Gambar 2.17 <i>New Coord/Grid</i>	29
Gambar 2.18 <i>Coordinate/Grid System</i>	30
Gambar 2.19 Penentuan <i>grid</i> arah-x	30

Gambar 2.20	Penentuan <i>grid</i> arah-y	31
Gambar 2.21	Penentuan <i>grid</i> arah-z	31
Gambar 2.22	<i>Materials</i>	32
Gambar 2.23	<i>Define materials</i>	32
Gambar 2.24	<i>Materials properti data</i>	32
Gambar 2.25	<i>Area sections</i>	33
Gambar 2.26	<i>Edit area sections</i>	33
Gambar 2.27	<i>Area section data web</i>	34
Gambar 2.28	<i>Area section data flens</i>	34
Gambar 2.29	<i>Load cases</i>	35
Gambar 2.30	<i>Define loads</i>	35
Gambar 2.31	<i>Draw rectangular area</i>	36
Gambar 2.32	<i>Properties of object</i>	36
Gambar 2.33	<i>Draw object</i>	36
Gambar 2.34	<i>Joint</i>	37
Gambar 2.35	<i>Restraints</i>	37
Gambar 2.36	<i>Joint loads</i>	38
Gambar 2.37	<i>Joint forces</i>	38
Gambar 2.38	Hasil <i>joint forces</i>	39
Gambar 2.39	<i>Analyze run</i>	39
Gambar 2.40	<i>Set analyze cases to run</i>	40
Gambar 2.41	<i>Analysis complete</i>	40
Gambar 2.42	<i>3D tanpa shade objects dan fill objects</i>	41
Gambar 2.43	<i>Set display options</i>	41

Gambar 2.44	3D dengan <i>shade objects</i> dan <i>fill objects</i>	41
Gambar 2.45	<i>Universal testing machine</i>	42
Gambar 2.46	<i>Strain gauges</i>	43
Gambar 2.47	Slot kabel sensor <i>strain gauges</i> pada DC104R <i>controller</i>	44
Gambar 2.48	Skema dan lokasi pemasangan <i>strain gauges</i>	44
Gambar 2.49	Penulisan kode pada lokasi pemasangan <i>strain gauges</i>	45
Gambar 2.50	<i>Hung ta instrument</i>	46
Gambar 2.51	Alat instrumen DC104R <i>controller</i>	47
Gambar 2.52	Skema sistem blok diagram	48
Gambar 2.53	<i>Setting</i> untuk koneksi <i>strain gauges</i>	48
Gambar 2.54	<i>Setting</i> pemasangan <i>strain gauges</i>	49
Gambar 2.55	<i>Notebook</i> yang digunakan	49
Gambar 2.56	Persiapan pada lokasi pemasangan <i>strain gauges</i>	50
Gambar 2.57	Pemasangan kabel sensor <i>strain gauges</i> dengan bantuan solder ...	51
Gambar 2.58	Pemasangan <i>strain gauges</i>	51
Gambar 2.59	<i>Strain gauges</i> telah terpasang	51
Gambar 2.60	Kabel sensor dihubungkan pada DC104R <i>controller</i>	52
Gambar 2.61	Persiapan uji eksperimental	52
Gambar 2.62	Tumpuan	52
Gambar 2.63	Nilai regangan hasil uji UG-01 (<i>output</i> instrumen DC104R)	54
Gambar 2.64	Nilai regangan hasil uji UG-02 (<i>output</i> instrumen DC104R)	55
Gambar 2.65	Kurva beban-lendutan data dari instrumen UTM	55
Gambar 3.1	Gambar pembebanan balok	58

Gambar 3.2	Model <i>mesh</i> yang dipakai	60
Gambar 3.3	Balok <i>mesh</i> I.....	61
Gambar 3.4	Detail <i>mesh</i> I di titik E (<i>joint</i> 27)	61
Gambar 3.5	Detail <i>mesh</i> II di titik E (<i>joint</i> 27)	61
Gambar 3.6	Detail <i>mesh</i> III di titik E (<i>joint</i> 27).....	62
Gambar 3.7	Detail <i>mesh</i> IV di titik E (<i>joint</i> 27).....	62
Gambar 3.8	Detail <i>mesh</i> V di titik E (<i>joint</i> 27).....	63
Gambar 3.9	Detail <i>mesh</i> VI di titik E (<i>joint</i> 27).....	63
Gambar 3.10	Detail di titik E model VI.....	64
Gambar 3.11	Nilai tegangan geser elemen 5580	64
Gambar 3.12	Nilai tegangan geser elemen 8566	65
Gambar 3.13	Nilai tegangan geser elemen 8581	65
Gambar 3.14	Nilai tegangan geser elemen 11595	65
Gambar 3.15	Letak titik C pada balok	66
Gambar 3.16	Lendutan di titik C	66

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1 Hasil perhitungan gaya-gaya.....	59
Tabel 3.2 Data profil baja IWF	59
Tabel 3.3 Hasil perhitungan tegangan, regangan dan lendutan.....	60
Tabel 3.4 Nilai tegangan geser hasil SAP2000 di titik E	67
Tabel 3.5 Nilai hasil perhitungan regangan geser dari hasil tegangan geser SAP2000 di titik E	67
Tabel 3.6 Nilai lendutan hasil SAP2000 di titik C.....	67
Tabel 3.7 Nilai tegangan geser hasil SAP2000 di titik E	70
Tabel 3.8 Persen relatif tegangan geser antara hasil analitis, MEH dan laboratorium	70
Tabel 3.9 Nilai regangan hasil SAP2000 di titik E	73
Tabel 3.10 Persen relatif regangan geser antara hasil analitis, MEH dan laboratorium	73
Tabel 3.11 Nilai lendutan hasil SAP2000 di titik C.....	75
Tabel 3.12 Persen relatif lendutan antara hasil analitis, MEH dan laboratorium ..	76
Tabel 3.13 Gaya geser analitis, MEH dan laboratorium.....	79
Tabel 3.14 Persen relatif gaya geser antara analitis, MEH dan laboratorium.....	79

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1 Diagram bagan alir penelitian	87
Lampiran 2 Perhitungan analitis.....	88
Lampiran 3 Diagram gaya normal, gaya geser, dan momen lentur.....	95
Lampiran 4 Tabel hasil perhitungan gaya dalam.....	98
Lampiran 5 Data geser hasil uji eksperimental.....	99