

STUDI EVALUASI KINERJA STRUKTUR BAJA BERTINGKAT RENDAH DENGAN ANALISIS *PUSHOVER*

Choerudin S
NRP : 0421027

Pembimbing : Olga Pattipawaej, Ph.D
Pembimbing Pendamping : Cindrawaty Lesmana, M.Sc. Eng

FAKULTAS TEKNIK JURUSAN TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS KRISTEN MARANATHA
BANDUNG

ABSTRAK

Indonesia sangat rawan terhadap gempa karena merupakan daerah pertemuan tiga lempeng tektonik besar. Gempa mengakibatkan banyak kerugian yang dialami, baik korban jiwa maupun kerusakan pada bangunan dan infrastruktur. Perencanaan yang baik terhadap gedung/bangunan tahan gempa dapat mengurangi besarnya kerugian. Saat ini perencanaan gedung tahan gempa telah berkembang pesat, diantaranya adalah perencanaan yang berbasis kinerja.

Dilihat dari tipe keruntuhan bangunan akibat gempa, banyak diantaranya terjadi keruntuhan bangunan yang diakibatkan runtuhnya kolom pada lantai dasar. Maka untuk melakukan analisis dilakukan pemodelan *weak story frame*, yaitu kekuatan kolom lantai dasar tereduksi sebesar 50% dari kekuatan sebenarnya, dan dilakukan perbandingan dengan model tanpa reduksi pada kekuatan kolom lantai dasarnya. Selain itu juga dilakukan analisis terhadap pengaruh P-Delta dari suatu struktur bangunan. Pemodelan struktur pada bangunan tersebut menggunakan program SAP2000. Struktur bangunan yang dimodelkan dan dianalisis adalah bangunan struktur baja bertingkat rendah di Jakarta dengan analisis *pushover* yang menggunakan metode target perpindahan FEMA 440.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa target perpindahan yang terjadi telah memenuhi syarat SNI-1726-2002. Pengaruh P-Delta tidak terlalu signifikan untuk struktur baja bertingkat rendah sedangkan pengaruh reduksi pada kolom lantai dasar menunjukkan perbedaan yang cukup signifikan dibanding dengan tanpa reduksi. Pada dasarnya struktur gedung yang ditinjau menunjukkan perilaku *soft/weak story frame* yang relatif aman dari pengaruh gempa.

DAFTAR ISI

	Halaman
SURAT KETERANGAN TUGAS AKHIR	i
SURAT KETERANGAN SELESAI TUGAS AKHIR	ii
ABSTRAK	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR NOTASI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
 BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Tujuan Penulisan.....	6
1.3 Ruang Lingkup Penulisan	7
1.4 Sistematika Penulisan	8
 BAB II STUDI PUSTAKA	
2.1 Perencanaan Bangunan Tahan Gempa Berbasis Kinerja	10
2.2 Kriteria Penerimaan Kinerja Struktur	13
2.3 Analisis <i>Pushover</i>	17
2.3.1 Tahapan Utama dalam Analisis <i>Pushover</i>	19
2.3.2 Waktu Getar Alami Efektif	20
2.3.3 Target Perpindahan	22
2.3.4 Pola Beban Dorong	25

2.3.5	Langkah – langkah Analisis <i>Pushover</i>	26
2.4	Daktilitas Struktur Gedung	29
2.5	Pengaruh P-Delta	31
2.6	Pengecekan Design Struktur Baja.....	32
BAB III STUDI KASUS		
3.1	Deskripsi Bangunan Rencana	34
3.2	Beban Tetap dan Massa Bangunan	37
3.2.1	Beban Mati dan Beban Hidup Perlantai.....	38
3.2.2	Beban Pada Atap	39
3.3	Pemodelan Struktur Pada SAP2000.....	41
3.4	Analisis Modal	41
3.5	Konfigurasi Pembebanan	43
3.5.1	Beban Gempa.....	43
3.5.2	Kombinasi Pembebanan.....	48
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN		
4.1	Langkah-langkah Analisis Dengan Program SAP2000	49
4.2	Hasil Analisis	59
4.3	Evaluasi Kinerja Struktur.....	77
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		
5.1	Kesimpulan	91
5.2	Saran.....	94
DAFTAR PUSTAKA		95
LAMPIRAN.....		97

DAFTAR NOTASI

A_g	Luas Penampang Batang
B	Lebar Profil Balok
C_0	Koefisien faktor bentuk , untuk merubah perpindahan spektral menjadi perpindahan atap, umumnya memakai faktor partisipasi ragam yang pertama (<i>first mode participation factor</i>) atau berdasarkan Tabel 3-2 dari FEMA 356.
C_1	Faktor modifikasi yang menghubungkan perpindahan inelastik maksimum dengan perpindahan yang dihitung dari respon elastik linier.
C_2	Koefisien untuk memperhitungkan efek “pinching” dari hubungan beban-deformasi akibat degradasi kekakuan dan kekuatan.
C_3	Koefisien untuk memperhitungkan pembesaran lateral akibat adanya efek P-delta. Koefisien diperoleh secara empiris dari studi statistik analisis riwayat waktu non-linier dari SDOF dan diambil berdasarkan pertimbangan <i>engineering judgement</i> , dimana perilaku hubungan gaya geser dasar – lendutan pada kondisi pasca leleh kekuatannya positif (kurva meningkat) maka $C_3 = 1$
E	Modulus Elastisitas Baja
d_c	Tinggi kolom
F_{ye}	Kuat leleh material yang diharapkan
f_y	Kuat leleh baja
g	Percepatan gravitasi 9.81 m/det^2 .
I	Faktor Keutamaan Bangunan

H	Tinggi total Bangunan
h	Pada balok tinggi Profil Balok, pada bangunan, tinggi bangunan
K_e	Kekakuan efektif
K_i	Kekakuan alami
M_{CE}	Kuat momen yang diharapkan
P	Gaya aksial pada kolom
P_{ye}	Gaya aksial leleh yang diharapkan dari kolom
R	Faktor reduksi gempa representatif
S_a	Akselerasi respons spektrum yang berkesesuaian dengan waktu getar alami efektif pada arah yang ditinjau.
T_e	Waktu getar alami efektif yang memperhitungkan kondisi inelastis
T_i	Waktu Getar Alami Awal
t_f	Lebar Sayap Profil Balok
t_p	Tebal daerah panel termasuk plat ganda jika ada
t_w	Lebar Badan Profil Balok
V	Beban (gaya) geser dasar nominal statik ekuivalen akibat pengaruh Gempa Rencana yang bekerja di tingkat dasar struktur gedung beraturan dengan tingkat daktilitas umum, dihitung berdasarkan waktu getar alami fundamental struktur gedung beraturan tersebut.
V_{CE}	Kuat gaya geser yang diharapkan
V_e	Pembebanan gempa maksimum akibat pengaruh Gempa Rencana yang dapat diserap oleh struktur gedung elastik penuh dalam kondisi di ambang keruntuhan.
Z	Modulus Penampang plastis

δ_m	Simpangan maksimum struktur gedung akibat pengaruh Gempa Rencana pada saat mencapai kondisi di ambang keruntuhan.
δ_y	Simpangan struktur gedung akibat pengaruh Gempa Rencana pada saat terjadinya pelelehan pertama.
γ	Faktor beban secara umum.
γ_D	Faktor beban untuk beban mati nominal.
γ_E	Faktor beban untuk beban gempa nominal.
γ_L	Faktor beban untuk beban hidup nominal.
ϕ	Faktor reduksi kekuatan secara umum.
μ	Faktor daktilitas struktur gedung, rasio antara simpangan maksimum struktur gedung akibat pengaruh Gempa Rencana pada saat mencapai kondisi di ambang keruntuhan dan simpangan struktur gedung pada saat terjadinya pelelehan pertama.
μ_m	Nilai faktor daktilitas maksimum yang dapat dikerahkan oleh suatu sistem atau subsistem struktur gedung.
ζ	Koefisien pengali dari jumlah tingkat struktur gedung yang membatasi waktu getar alami fundamental struktur gedung, bergantung pada Wilayah Gempa.
Σ	Tanda penjumlahan.

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1.1 Peta Lempeng Tektonik Indonesia.....	2
Gambar 1.2 Contoh Kerusakan Bangunan Akibat Gempa (Yogyakarta, Mei 2006).....	4
Gambar 2.1 Ilustrasi Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja (ATC 58).....	12
Gambar 2.2 Kurva Beban-Perpindahan Umum	14
Gambar 2.3 Definisi Perputaran Untuk Evaluasi.....	14
Gambar 2.4 Parameter Waktu Getar Fundamental Efektif dari Kurva <i>Pushover</i>	21
Gambar 2.5 Variasi Pola Distribusi Pembebanan Lateral (FEMA 274).....	25
Gambar 3.1 Tampak 3D Struktur Gedung Intikom Center Jakarta	36
Gambar 3.2 Denah Struktur Lantai 2 Gedung Intikom Center Jakarta.....	36
Gambar 3.3 Salah Satu Portal Arah X dan Y Gedung Intikom Center Jakarta	37
Gambar 3.4 Kurva Respons Rencana (SNI – 1726 - 2002).....	44
Gambar 4.1 Faktor Modifikasi Batang Kolom yang Direduksi.....	50
Gambar 4.2 Memasukan Beban Lateral pada <i>Joint</i>	52
Gambar 4.3 Data Penempatan <i>Hinge</i> Untuk Kolom.....	52
Gambar 4.4 Data Penempatan <i>Hinge</i> Untuk Balok	53
Gambar 4.5 Data Analisis Statik Nonlinear Untuk Beban Gravitasi.....	54
Gambar 4.6 Data Analisis Statik Nonlinear Untuk Beban Lateral	54
Gambar 4.7 Modifikasi Kontrol Beban	55
Gambar 4.8 Modifikasi <i>Result Saved</i>	55
Gambar 4.9 Parameter Nonlinear.....	56
Gambar 4.10 Analisis Untuk Beban Statik Linear.....	57

Gambar 4.11	Analisis Untuk Beban Statik Nonlinear	57
Gambar 4.12	Tampilan Hasil <i>Output</i> Analisis Pushover pada SAP2000 Versi 11	58
Gambar 4.13	P-M Ratio Denah Lantai 2 pada Model Tanpa Reduksi	60
Gambar 4.14	P-M Ratio Portal D 1-7 pada Model Dengan Reduksi.....	60
Gambar 4.15	Kurva Bi-linear <i>Pushover</i> untuk Model Tanpa Reduksi dengan P-Delta Arah X.....	61
Gambar 4.16	Kurva Bi-linear <i>Pushover</i> untuk Model Tanpa Reduksi dengan P-Delta Arah Y	62
Gambar 4.17	Kurva Bi-linear <i>Pushover</i> untuk Model Tanpa Reduksi Tanpa P-Delta Arah X.....	64
Gambar 4.18	Kurva Bi-linear <i>Pushover</i> untuk Model Tanpa Reduksi Tanpa P-Delta Arah Y.....	65
Gambar 4.19	Kurva Bi-linear <i>Pushover</i> untuk Model dengan Reduksi dengan P-Delta Arah X	66
Gambar 4.20	Kurva Bi-linear <i>Pushover</i> untuk Model dengan Reduksi dengan P-Delta Arah Y	67
Gambar 4.21	Kurva Bi-linear <i>Pushover</i> untuk Model dengan Reduksi Tanpa P-Delta Arah X.....	69
Gambar 4.22	Kurva Bi-linear <i>Pushover</i> untuk Model dengan Reduksi Tanpa P-Delta Arah Y	70
Gambar 4.23	Kurva <i>Pushover</i> Model dengan P-Delta dan Tanpa P-Delta Arah X.....	72
Gambar 4.24	Kurva <i>Pushover</i> Model Dengan P-Delta dan Tanpa P-Delta Arah Y	73
Gambar 4.25	Kurva <i>Pushover</i> Model dengan P-Delta Tanpa Reduksi dan dengan Reduksi Arah X	74
Gambar 4.26	Kurva <i>Pushover</i> Model dengan P-Delta Tanpa Reduksi dan dengan Reduksi Arah Y	74
Gambar 4.27	Kurva <i>Pushover</i> Model Tanpa P-Delta Tanpa Reduksi dan dengan Reduksi Arah X	74

Gambar 4.28	Kurva <i>Pushover</i> Model Tanpa P-Delta Tanpa Reduksi dan dengan Reduksi Arah Y	75
Gambar 4.29	Kinerja Struktur Step 6 Untuk Model Tanpa Reduksi dengan Efek P-Delta Arah X	78
Gambar 4.30	Kinerja Struktur Step 11 Untuk Model Tanpa Reduksi dengan Efek P-Delta Arah Y	80
Gambar 4.31	Kinerja Struktur Step 5 Untuk Model Tanpa Reduksi Tanpa Efek P-Delta Arah X	81
Gambar 4.32	Kinerja Struktur Step 7 Untuk Model Tanpa Reduksi Tanpa Efek P-Delta Arah Y	83
Gambar 4.33	Kinerja Struktur Step 7 Untuk Model dengan Reduksi dengan Efek P-Delta Arah X	85
Gambar 4.34	Kinerja Struktur Step 13 Untuk Model dengan Reduksi dengan Efek P-Delta Arah Y	86
Gambar 4.35	Kinerja Struktur Step 6 Untuk Model dengan Reduksi Tanpa Efek P-Delta Arah X	87
Gambar 4.36	Kinerja Struktur Step 8 Untuk Model dengan Reduksi Tanpa Efek P-Delta Arah Y	89

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1.1 Daftar Gempa Bumi Besar (lebih dari 5 skala Richter) di Indonesia	3
Tabel 1.2 Kriteria Kinerja	5
Tabel 2.1 Parameter Daktilitas Struktur Gedung	30
Tabel 3.1 Profil Baja Yang Digunakan	35
Tabel 3.2 Penamaan Pemodelan Struktur Pada SAP2000	41
Tabel 3.3 Periode dan Frekuensi Massa.....	42
Tabel 3.4 Rasio Partisipasi Massa.....	42
Tabel 3.5 Daftar ζ Untuk Setiap Wilayah Gempa (SNI – 1726 - 2002)	43
Tabel 3.6 Faktor Keutamaan I (SNI-1726-2002).....	44
Tabel 3.7 Gaya Reaksi Dasar (Hasil SAP2000).....	45
Tabel 3.8 Gaya Reaksi Dasar (Setelah Dikoreksi).....	47
Tabel 4.1 Target Perpindahan	71
Tabel 4.2 Faktor Daktilitas Hasil SAP 2000	76
Tabel 4.3 Kurva <i>Pushover</i> untuk Model Tanpa Reduksi dengan Efek P-Delta Arah X	77
Tabel 4.4 Kurva <i>Pushover</i> untuk Model Tanpa Reduksi dengan Efek P-Delta Arah Y	79
Tabel 4.5 Kurva <i>Pushover</i> untuk Model Tanpa Reduksi Tanpa Efek P-Delta Arah X.....	80
Tabel 4.6 Kurva <i>Pushover</i> untuk Model Tanpa Reduksi Tanpa Efek P-Delta Arah Y	82
Tabel 4.7 Kurva <i>Pushover</i> untuk Model dengan Reduksi dengan Efek P-Delta Arah X.....	84
Tabel 4.8 Kurva <i>Pushover</i> untuk Model dengan Reduksi dengan Efek P-Delta Arah Y	85

Tabel 4.9	Kurva <i>Pushover</i> untuk Model dengan Reduksi Tanpa Efek P-Delta Arah X	86
Tabel 4.10	Kurva <i>Pushover</i> untuk Model dengan Reduksi Tanpa Efek P-Delta Arah Y	88
Tabel 4.11	Evaluasi Kinerja.....	89

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Tabel Faktor Daktilitas Bangunan Maksimum, Faktor Reduksi Gempa Maksimum, Faktor Tahanan Lebih Struktur dan Faktor Tahanan Lebih Total Beberapa Jenis Sistem dan Subsystem Struktur Gedung. (SNI-1726-2002, hal. 16)	98
Lampiran 2	Tabel <i>Modeling Parameters and Acceptance Criteria for Nonlinear Procedures-structural steel components</i> (FEMA 356, Tabel 5-6 dan 5-7, hal. 5-40 sampai 5-44).....	99
Lampiran 3	Denah Balok Kolom Lantai 1 Gedung Intikom Center Jakarta	103
Lampiran 4	Denah Balok Kolom Lantai 2 Gedung Intikom Center Jakarta	104
Lampiran 5	Denah Balok Kolom Lantai 3 Gedung Intikom Center Jakarta	105
Lampiran 6	Gambar Detail Balok, Kolom dan Rangka Atap Gedung Intikom Center Jakarta	106
Lampiran 7	Input Pada Program SAP2000	118