

DESAIN GEDUNG BETON BERTULANG DENGAN PERENCANAAN BERBASIS PERPINDAHAN

ELI NOFANOLO HIA

NRP : 0721046

Pembimbing : YOSAFAT AJI PRANATA, ST., MT.

ABSTRAK

Perencanaan struktur bangunan tahan gempa menjadi hal yang sangat penting untuk diperhitungkan agar bangunan yang dibangun dapat bertahan pada saat terjadinya gempa. Kerugian yang diakibatkan oleh gempa bumi tidak secara langsung disebabkan oleh gempa bumi, namun disebabkan oleh kerentanan bangunan sehingga terjadi kerusakan bahkan keruntuhan bangunan. Untuk mengantisipasi kerugian yang besar, baik dari segi materi maupun korban jiwa maka dibutuhkan peraturan yang dapat digunakan sebagai acuan untuk mengatur perencanaan struktur bangunan gedung tahan gempa.

Tujuan penulisan tugas akhir ini adalah melakukan analisis struktur gedung beton bertulang tahan gempa dengan metode perpindahan berdasarkan peraturan FEMA 440, dan pembahasan meliputi gaya geser dasar yang dihasilkan berdasarkan peraturan FEMA 440 dan SNI-1726-2002 sebagai pembanding, perencanaan meliputi penulangan lentur balok, kolom, dan tulangan geser serta mendapatkan kurva kapasitas struktur dari metode *pushover*, kemudian digunakan sebagai evaluasi struktur pada kondisi kinerja yang ditargetkan.

Hasil analisis memperlihatkan bahwa tulangan lentur yang dihasilkan dengan menggunakan peraturan FEMA 440 lebih banyak dibandingkan dengan menggunakan peraturan SNI-1726-2002 dengan persen beda antara 0 sampai 66,7 % . Hasil analisis metode perpindahan berdasarkan peraturan FEMA 440, SNI-1726-2002 sebagai pembanding memerlukan peningkatan jumlah tulangan lentur berkisar 33,3% hingga 66,7% untuk mencapai kinerja *Immediate Occupancy*.

Kata kunci: Gedung beton bertulang, perencanaan berbasis perpindahan, FEMA 440

REINFORCED CONCRETE BUILDING PLANNING WITH DISPLACEMENT BASED DESIGN

ELI NOFANOLO HIA

NRP : 0721046

Supervisor : YOSAFAT AJI PRANATA, ST., MT.

ABSTRACT

Structural design of earthquake resistant buildings to be a very important thing to take into account that buildings are built to survive during the earthquake. Losses caused by earthquakes are not directly caused by earthquakes, but due to the vulnerability of the building, causing damage and even collapse of buildings. In anticipation of large losses, both in terms of material and loss of life it is necessary to rule that can be used as a reference to regulate the structural design of earthquake resistant buildings.

The purpose of this final project is to perform structural analysis of earthquake resistant reinforced concrete buildings with displacement method based on 440 FEMA regulations, and the discussion covers basic shear forces generated by FEMA 440 and SNI-1726-2002 as a comparison, the plan includes flexible reinforcement beams, columns , and shear reinforcement as well as gain the capacity curve of the structure of pushover methods, then used as an evaluation of the structure on the performance of the targeted conditions.

The results of the analysis showed that the flexural steel produced by using the FEMA regulations 440 more than using regulations SNI-1726-2002 with the percent difference between 0 to 66.7%. The results of the analysis method of displacement under the rules of FEMA 440, SNI-1726-2002 as a comparison requires an increase in the amount of flexural steel ranges from 33.3% to 66.7% to reach the Immediate Occupancy performance.

Keywords: Reinforced concrete building, Planing displacement based desaign, FEMA 440.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN ORISINALITAS LAPORAN PENELITIAN.....	iii
PERNYATAAN PUBLIKASI LAPORAN PENELITIAN.....	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR NOTASI	xvi
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.....	3
1.5 Metodologi Penelitian	3
 BAB II TINJAUAN LITERATUR.....	 4
2.1 Beton Bertulang.....	4
2.1.1 Beton	4
2.1.2 Baja.....	5
2.1.3 Beton Bertulang	6
2.2 Bangunan Gedung Beton Bertulang	7
2.2.1 Bangunan Gedung Beton Bertulang Beraturan	7
2.2.2 Bangunan yang Direncanakan Terhadap Beban Gempa	9
2.2.3 Perencanaan Tulangan Berdasarkan SNI 03-2847-2002	10
2.3 Beban.....	15
2.3.1 Beban Gravitasi	15
2.3.2 Beban Gempa	17
2.4 Peraturan Gempa FEMA 440.....	18
2.5 Peraturan Gempa SNI-1726-2002.....	20
2.5.1 Gempa Rencana dan Kategori Gedung	20
2.5.2 Daktilitas Struktur Gedung	21
2.5.3 Wilayah Gempa.....	28
2.5.4 Pembatasan Waktu Getar Alami Fundamental	30
2.5.5 Beban Gempa Nominal Statik Ekuivalen.....	30
2.5.6 Waktu Getar Alami Fundamental	33
2.5.7 Analisis Statik Ekuivalen	33
2.5.8 Kinerja Batas Layan	34
2.5.9 Kinerja Batas Ultimit	34
2.6 Perencanaan Berbasis Perpindahan.....	35

2.7 Metode Capacity Spectrum (ATC-40)	39
2.8 Perangkat Lunak.....	39
BAB III STUDI KASUS DAN PEMBAHASAN	41
3.1 Data Struktur	41
3.1.1 Data Gedung.....	46
3.1.2 Data Meterial	46
3.1.3 Diagram Alir Studi	47
3.2 Pemodelan Struktur	48
3.3 Analisis Struktur	55
3.4 Analisis Struktur Berdasarkan FEMA 440	55
3.4.1 Syarat Analisis.....	62
3.4.2 Perencanaan Tulangan.....	68
3.5 Analisis Struktur Berdasarkan SNI-1726-2002.....	73
3.5.1 Syarat Analisis.....	78
3.5.2 Perencanaan Tulangan	83
3.6 Analisis Berbasis Perpindahan	88
3.6.1 Desain Elemen Struktur Akibat Sendi Plastis	96
3.7 Pembahasan	109
BAB IV KESIMPULAN DAN SARAN	114
4.1 Kesimpulan	114
4.2 Saran.....	115
DAFTAR PUSTAKA	116
LAMPIRAN.....	117

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Penampang Balok Beton Bertulang Tulangan Ganda	11
Gambar 2.2	Konfigurasi Penulangan Senggang Balok	12
Gambar 2.3	Konfigurasi Penulangan Senggang Kolom	14
Gambar 2.4	Respons Spektrum Gempa Rencana.....	28
Gambar 2.5	Wilayah Gempa Indonesia dengan percepatan puncak batuan dasar dengan perioda ulang 500 tahun	29
Gambar 2.6	Ilustrasi Penempatan Pusat Massa [Dewobroto,2005]	33
Gambar 2.7	Ilustrasi Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja [ATC 58]	36
Gambar 2.8	Kurva kapasitas [ATC, 1996]	37
Gambar 2.9	Properti Sendi default-M3 dan default-PMM [CSI, 2006].....	38
Gambar 3.1	Model 3D	41
Gambar 3.2	Denah Stuktur Lantai 3.....	42
Gambar 3.3	Denah Stuktur Lantai 2.....	43
Gambar 3.4	Denah Stuktur Lantai 1.....	44
Gambar 3.5	Tampak Depan Stuktur.....	45
Gambar 3.6	Tampak Belakang Stuktur	45
Gambar 3.7	Tampak Samping Stuktur	46
Gambar 3.8	Diagram Alir Studi	47
Gambar 3.9	New Model Initialization.....	48
Gambar 3.10	Building Plan Grid (satuan m).....	48
Gambar 3.11	Input Data Material (satuan Mpa)	49
Gambar 3.12	Input Balok (satuan mm)	49
Gambar 3.13	Input Kolom (satuan mm)	50
Gambar 3.14	Input Pelat (satuan mm).....	50
Gambar 3.15	Input Beban	51
Gambar 3.16	Input Kombinasi Pembebanan.....	51
Gambar 3.17	Input Beban SDL (satuan kg/m ²).....	52
Gambar 3.18	Input Beban Hidup (satuan kg/m ²)	52
Gambar 3.19	Input Beban Dinding (satuan kg/m)	52
Gambar 3.20	Input Reaksi perletakan rangka atap baja QLL; VA=VB (satuan kg).....	53
Gambar 3.21	Input Reaksi perletakan rangka atap baja QDL; VA (satuan kg)	53
Gambar 3.22	Input Reaksi perletakan rangka atap baja QDL; VB (satuan kg).....	53
Gambar 3.23	Input Perletakan.....	54
Gambar 3.24	Rigid Diaphragm Pelat Lantai dan Atap	54
Gambar 3.25	Rigid Diaphragm Tiap Lantai.....	54
Gambar 3.26	Run Analysis	55
Gambar 3.27	T Mode1 arah X = 0,4426 detik	56
Gambar 3.28	T Mode2 arah Y = 0,4304 detik	56
Gambar 3.29	Massa Bangunan.....	57

Gambar 3.30	Input Beban (Fx).....	60
Gambar 3.31	Input Beban (Fy).....	60
Gambar 3.32	Input Kombinasi Pembebanan.....	61
Gambar 3.33	Run Analysis	61
Gambar 3.34	Concrete Frame Design	62
Gambar 3.35	Start Design/Check of Structure	62
Gambar 3.36	Table Diaphragm CM Displacement.....	63
Gambar 3.37	Titik Simpangan Lantai yang ditinjau	65
Gambar 3.38	Table Point Displacement.....	65
Gambar 3.39	Titik simpangan antar tingkat yang ditinjau	66
Gambar 3.40	Table Point drift.....	66
Gambar 3.41	Balok dan Kolom yang direncanakan.....	69
Gambar 3.42	Konfigurasi Penulangan Lentur Balok	69
Gambar 3.43	Konfigurasi Penulangan Lentur Kolom.....	70
Gambar 3.44	Luas Tulangan Lentur Perlu Balok B2 dan Kolom C6 Hasil Analisis ETABS	70
Gambar 3.45	Penulangan Geser Balok.....	72
Gambar 3.46	Penulangan Geser Kolom	73
Gambar 3.47	Respons Spektrum Gempa Rencana.....	74
Gambar 3.48	Massa Bangunan.....	75
Gambar 3.49	Input Beban (Fx).....	77
Gambar 3.50	Input Beban (Fy).....	77
Gambar 3.51	Table Diaphragm CM Displacement.....	78
Gambar 3.52	Titik Simpangan Lantai yang ditinjau	80
Gambar 3.53	Table Point Displacement	80
Gambar 3.54	Titik simpangan Antar tingkat yang ditinjau.....	81
Gambar 3.55	Table Point drift	81
Gambar 3.56	Balok dan Kolom yang direncanakan.....	84
Gambar 3.57	Konfigurasi Penulangan Lentur Balok	84
Gambar 3.58	Konfigurasi Penulangan Lentur Kolom.....	85
Gambar 3.59	Luas Tulangan Lentur Perlu Balok B2 dan Kolom C6 Hasil Analisis ETABS	85
Gambar 3.60	Penulangan Geser Balok.....	87
Gambar 3.61	Penulangan Geser Kolom	88
Gambar 3.62	Penerapan Sendi Plastis Balok	89
Gambar 3.63	Penerapan Sendi Plastis Kolom.....	89
Gambar 3.64	Pemodelan Pola Beban Gravitasi PUSH1	90
Gambar 3.65	Pemodelan Pola Beban Lateral PUSH2	90
Gambar 3.66	Run Analisis Pushover	91
Gambar 3.67	Kurva Kapasitas Hasil Analisis ETABS	91
Gambar 3.68	Kurva Kapasitas.....	93
Gambar 3.69	Analisis Metode Capacity Spectrum (ATC-40)	94
Gambar 3.70	Plotting Pada Kurva Kapasitas	95
Gambar 3.71	Balok dan Kolom yang ditinjau.....	96
Gambar 3.72	Sendi Plastis pada Balok dan Kolom di Step 1	97
Gambar 3.73	Sendi Plastis pada Balok dan Kolom di Step 2	97
Gambar 3.74	Sendi Plastis pada Balok dan Kolom di Step 3	97
Gambar 3.75	Sendi Plastis pada Balok dan Kolom di Step 4	98

Gambar 3.76	Sendi Plastis pada Balok dan Kolom di Step 5	98
Gambar 3.77	Sendi Plastis pada Balok dan Kolom di Step 6	98
Gambar 3.78	Konfigurasi Penulangan Lentur Balok	105
Gambar 3.79	Penulangan Geser Balok.....	106
Gambar 3.80	Konfigurasi Penulangan Lentur Kolom.....	106
Gambar 3.81	Diagram Interksi Kolom.....	107
Gambar 3.82	Penulangan Geser Kolom	108

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Berat Sendiri Bahan Bangunan dan Komponen Gedung	16
Tabel 2.2	Beban Hidup pada Lantai Gedung	17
Tabel 2.3	Nilai Faktor Modifikasi C_0	18
Tabel 2.4	Koefisien Redaman B_s dan B_1	19
Tabel 2.5	Nilai Faktor Massa Efektif C_m	20
Tabel 2.6	Faktor Keutamaan I untuk Berbagai Kategori Gedung dan Bangunan	21
Tabel 2.7	Parameter Daktilitas Struktur Gedung	23
Tabel 2.8	Faktor Daktilitas Maksimum, Faktor Reduksi Gempa Maksimum, Faktor Tahanan Lebih Struktur Dan Faktor Tahanan Lebih Total Beberapa Jenis Sistem Dan Subsistem Struktur Gedung	24
Tabel 2.9	Spektrum Respons Gempa Rencana	29
Tabel 2.10	Koefisien ζ Yang Membatasi Waktu Getar Alami Fundamental Struktur Gedung	30
Tabel 2.11	Kombinasi Pembebanan	31
Tabel 2.12	Klasifikasi Tingkat Keamanan [ATC, 1996]	37
Tabel 3.1	Dimensi Balok Lantai 3	42
Tabel 3.2	Dimensi Balok Lantai 2	43
Tabel 3.3	Dimensi Balok Lantai 1	44
Tabel 3.4	Berat Struktur dan F_i Arah X	58
Tabel 3.5	Berat Struktur dan F_i Arah Y	58
Tabel 3.6	T-rayleigh Arah X Fema 440	63
Tabel 3.7	T-rayleigh Arah Y Fema 440	64
Tabel 3.8	Simpangan Antar Tingkat (Δ_s) arah X	67
Tabel 3.9	Simpangan Antar Tingkat (Δ_s) arah Y	67
Tabel 3.10	Simpangan Antar Tingkat (Δ_m) arah X	68
Tabel 3.11	Simpangan Antar Tingkat (Δ_m) arah Y	68
Tabel 3.12	Tulangan Lentur Balok B2	69
Tabel 3.13	Tulangan Lentur Kolom C6	70
Tabel 3.14	Gaya Geser Dasar Nominal V Arah X	75
Tabel 3.15	Gaya Geser Dasar Nominal V Arah Y	75
Tabel 3.16	Gaya Geser F_i Arah X	76
Tabel 3.17	Gaya Geser F_i Arah Y	76
Tabel 3.18	T-rayleigh Arah X	79
Tabel 3.19	T-rayleigh Arah Y	79
Tabel 3.20	Simpangan Antar Tingkat (Δ_s) Arah X	82
Tabel 3.21	Simpangan Antar Tingkat (Δ_s) Arah Y	82
Tabel 3.22	Simpangan Antar Tingkat (Δ_m) Arah X	83
Tabel 3.23	Simpangan Antar Tingkat (Δ_m) arah Y	83
Tabel 3.24	Tulangan Lentur Balok B2	84
Tabel 3.25	Tulangan Lentur Kolom C6	85
Tabel 3.26	Nilai Peralihan dan Gaya Geser	92

Tabel 3.27	Gaya Momen Balok B2	100
Tabel 3.28	Persen Beda Tulangan Lentur Balok Akibat Kombinasi Pembebanan dan Akibat Sendi Plastis	109
Tabel 3.29	Persen Beda Tulangan Lentur Kolom Akibat Kombinasi Pembebanan dan Akibat Sendi Plastis	110
Tabel 3.30	Persen Beda Jarak Tulangan Geser Balok Akibat Kombinasi Pembebanan dan Akibat Sendi Plastis.....	110
Tabel 3.31	Persen Beda Jarak Tulangan Geser Kolom Akibat Kombinasi Pembebanan dan Akibat Sendi Plastis.....	110
Tabel 3.32	Persen Peningkatan Gaya Geser Dasar Gedung SNI-1726-2002.....	111
Tabel 3.33	Persen Peningkatan Jumlah Tulangan Lentur Balok Gedung SNI-1726-2002	112
Tabel 3.34	Persen Peningkatan Jumlah Tulangan Lentur Kolom Gedung SNI-1726-2002	112
Tabel 3.35	Persen Pengurangan Jarak Tulangan Geser Balok Gedung SNI-1726-2002	113
Tabel 3.36	Persen Pengurangan Jarak Tulangan Geser Kolom Gedung SNI-1726-2002	113

DAFTAR NOTASI

A_g	: Luas bruto penampang, mm ²
A_m	: Percepatan respons maksimum atau Faktor Respons Gempa Maksimum pada Spektrum Respon Gempa Rencana
A_r	: Pembilang dalam persamaan hiperbola Faktor Respons Gempa C pada Spektrum Respons Gempa Rencana.
A_s	: Luas tulangan yang diperlukan, mm ²
A_{smin}	: Luas tulangan minimum, mm ²
A_{smax}	: Luas tulangan maksimum, mm ²
a	: Nilai konstanta untuk site kategori
a	: tinggi blok tegangan tekan ekivalen aktual, mm
B_1	: Koefisien redaman
b	: Lebar balok, mm
C	: Faktor respons gempa dinyatakan dalam percepatan gravitasi
C_0	: Faktor modifikasi
C_1	: Faktor modifikasi untuk menghubungkan peralihan inelastik maksimum dengan peralihan respon elastik linier
C_2	: Faktor modifikasi untuk mewakili efek dari pinched hysteresis shape
C_3	: Faktor modifikasi untuk mewakili kenaikan peralihan akibat efek P-delta.
C	: Nilai faktor respons gempa yang didapat dari spektrum respons Gempa rencana untuk Waktu getar alami fundamental dari struktur gedung
C_m	: Nilai untuk Faktor Massa Efektif
D	: Beban mati, atau momen gaya dalam yang berhubungan dengannya
d	: Tinggi efektif penampang, mm
db	: Diameter nominal batang tulangan, mm

d_i	: Simpangan horisontal lantai tingkat i dari hasil analisis 3 dimensi struktur gedung akibat beban gempa nominal statik ekuivalen yang menangkap pada pusat massa pada taraf lantai-lantai tingkat.
E	: Pengaruh beban gempa, atau momen dan gaya dalam yang Berhubungan dengannya
E_c	: Modulus elastisitas beton, MPa
E_s	: Modulus elastisitas baja, MPa
e	: Eksentrisitas teoritis antara pusat massa dan pusat rotasi lantai tingkat struktur gedung; dalam subskrip menunjukkan kondisi elastik penuh
e_d	: Eksentrisitas rencana antara pusat massa dan pusat rotasi lantai tingkat struktur gedung
f_c'	: Kuat tekan beton yang disyaratkan, MPa
F_i	: Beban gempa nominal statik ekuivalen
F_x	: Beban gempa nominal statik ekuivalen arah x
F_y	: Beban gempa nominal statik ekuivalen arah y
f_y	: Kuat leleh tulangan lentur yang disyaratkan, MPa
f_{ys}	: Kuat leleh tulangan geser yang disyaratkan, MPa
g	: Percepatan gravitasi
I	: Faktor keutamaan gedung
L	: Beban hidup, atau momen dan gaya dalam yang berhubungan Dengan beban tersebut
l_n	: Bentang bersih, mm
l_o	: panjang manimum, diukur dari muka join sepanjang sumbu komponen struktur, dimana harus disediakan tulangan transversal
M_u	: Momen terfaktor pada penampang, kNm
M_n	: Kuat momen nominal pada suatu penampang, kNm
P_u	: Beban aksial terfaktor, kg
R	: Faktor reduksi gempa maksimum
s	: Spasi maksimum tulangan geser, mm
S_a	: Akselerasi respon spektrum pada waktu getar alami fundamental efektif dan rasio redaman pada arah yang ditinjau

s_o	: Spasi maksimum tulangan geser, mm
T	: Waktu getar alami struktur, detik
T_e	: Waktu getar alami efektif, detik
T_1	: Waktu getar alami fundamental struktur gedung beraturan Maupun tidak beraturan dinyatakan dalam detik
V_c	: Kuat geser nominal yang dipikul oleh beton, kg
V_u	: Gaya geser terfaktor pada penampang, kg
V	: Gaya geser rencana, kg
V_n	: Kuat geser rencana nominal, kg
V_s	: Gaya geser, kg
$V_{s,max}$	: Gaya geser maksimum, kg
V_y	: Gaya geser dasar nominal akibat pengaruh Gempa Rencana
W_i	: Berat lantai tingkat ke-I, termasuk beban hidup yang sesuai
z_i	: Ketinggian lantai tingkat ke-i suatu struktur gedung terhadap taraf penjepitan lateral.
B	: Rasio bentang bersih dalam arah memanjang terhadap arah pendek memanjang terhadap arah memendek dari pelat dua arah
γ_{beton}	: Berat jenis beton
δt	: target peralihan yang diharapkan
$\delta_m (delta-m)$	: Simpangan maksimum struktur gedung akibat pengaruh Gempa Rencana pada saat mencapai kondisi di ambang keruntuhan.
$\delta_y (delta-y)$	: Simpangan struktur gedung akibat pengaruh Gempa Rencana pada saat terjadinya pelelehan pertama.
μ	: Faktor daktilitas struktur gedung
μ_m	: Faktor daktilitas maksimum
ρ	: Rasio tulangan tarik non-prategang
ρ'	: Rasio tulangan tekan non-prategang
ϕ	: Faktor reduksi lentur
ζ	: Faktor pengali dari simpangan struktur gedung akibat pengaruh gempa rencana pada taraf pembebanan nominal untuk mendapatkan simpangan maksimum struktur gedung pada saat mencapai kondisi di ambang keruntuhan

DAFTAR LAMPIRAN

L.1 Surat Keterangan Tugas Akhir	117
L.2 Surat Keterangan Selesai Tugas Akhir	118
L.3 Preliminary Desain	119
L.4 Perencanaan Rangka Atap	126
L.5 Perencanaan Tulangan Lentur Balok dan Kolom Hasil analisis ETABS.....	130