

**PERFORMANCE BASED DESIGN BERDASARKAN ANALISIS  
PUSHOVER STRUKTUR BETON BERTULANG GEDUNG  
BERTINGKAT TINGGI**

**Roynaldy Tjalungun  
NRP : 0021061**

**Pembimbing : Daud Rahmat Wiyono, Ir., M.Sc**

**FAKULTAS TEKNIK JURUSAN TEKNIK SIPIL  
UNIVERSITAS KRISTEN MARANATHA  
BANDUNG**

---

**ABSTRAK**

Indonesia adalah negara yang sebagian besar wilayahnya terletak di zona gempa dengan intensitas gempa sedang hingga berat sehingga perencanaan struktur bangunan tahan gempa menjadi sangat penting. Metoda analisis *pushover* telah menjadi metoda analisis gempa yang populer digunakan para perencana bangunan tingkat tinggi. Metoda ini mempunyai keterkaitan dengan *Performance Based Design* (perencanaan berbasis kinerja). Konsep perencanaan berbasis kinerja merupakan kombinasi dari aspek tahanan dan aspek layan.

Dalam studi ini sebuah gedung beton bertulang dengan sistem struktur rangka pemikul momen khusus bertingkat delapan akan didesain sesuai Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung [SNI 1726-2002] dan Tata Cara Perencanaan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung [SNI 2847-2002]. Perilaku seismik struktur ini dievaluasi dengan menggunakan analisis *pushover*.

Hasil Studi menunjukkan analisis *pushover* menghasilkan daktilitas ( $\mu_{\Delta}$ ) dan faktor reduksi (R) aktual yang lebih besar daripada  $\mu_{\Delta}$  dan R desain. Hasil evaluasi *performance-based design* menunjukkan bahwa struktur gedung yang ditinjau termasuk dalam tingkat kinerja *Immediate Occupancy* (SP-1). Dalam kategori ini sistem penahan gaya lateral dalam bangunan dapat menahan karakteristik dan kapasitas beban gempa, resiko korban jiwa sangat rendah, kerusakan struktur masih dalam batas toleransi.

## **PRAKATA**

Pujian dan Syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yesus Kristus sahabat sejati yang karena kasih setiaNya telah memberikan kemampuan dan semangat untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Laporan Tugas Akhir ini berjudul “**PERFORMANCE BASED DESIGN BERDASARKAN ANALISIS PUSHOVER STRUKTUR BETON BERTULANG GEDUNG BERTINGKAT TINGGI**” dan disusun sebagai syarat untuk menempuh ujian sidang Tugas Akhir sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan program studi di Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Kristen Maranatha.

Untuk itu pada kesempatan ini, penulis menyampaikan rasa terimakasih yang tulus kepada pihak-pihak berikut ini :

1. Bapak Daud Rahmat Wiyono, Ir., M.Sc, selaku dosen Pembimbing yang telah banyak memberikan petunjuk, bimbingan, saran dan dorongan semangat kepada penulis selama penyusunan Tugas Akhir ini.
2. Ibu Rini I. Rusandi, Ir., selaku koordinator Tugas Akhir Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Kristen Maranatha, Bandung.
3. Bapak Budi Hartanto S, Ir., M.Sc, selaku Dosen Wali yang telah banyak memberikan bimbingan dan pengarahan selama masa studi penulis.
4. Ibu Noek Soelandari, Ir., M.Sc, selaku Pembantu Dekan dan Dosen Penguji yang telah memberikan saran, dan ilmu yang dibutuhkan penulis.
5. Bapak Anang K, ST., MT., selaku Sekertaris Jurusan dan Dosen Penguji yang telah memberikan saran dan ilmu yang sangat dibutuhkan penulis

6. Bapak Ginardy Husada, Ir., MT., selaku Dosen Penguji yang juga banyak memberikan masukan-masukan dan saran yang sangat dibutuhkan penulis.
7. Bapak Yosafat Aji Pranata, ST., MT, selaku dosen yang banyak memberikan bantuan, saran dan ilmu yang sangat dibutuhkan oleh penulis.
8. Segenap staf dan karyawan Universitas Kristen Maranatha, baik itu staf Tata Usaha maupun staf Perpustakaan.
9. Keluargaku tercinta : Papa Rewo Tj, Mama Yohana T, R1, R3, dan R4.
10. Teman-teman Pengurus HIMASIP 2004/2005, PP GII HIT, KOMSEL GKI Anugrah, Persekutuan Doa Pagi GII HIT, PSM-UKM.
11. Joni Lepong and Family, Aprianto, Greta Vidya, Vida, Kathryn, Luluina, Patty, Kezia, Christyane Paula, Ko Andri, Ko Arson, “Kos 36” (Rendy, Marvin, Andre, Alan, Alton, Adam) yang senantiasa memberikan perhatian lebih, memberikan semangat dan mendoakan, serta menolong penulis di saat-saat sulit.
12. Temen-temen “Civil 2000”, Banny, Punti, Mamat, Tantan, Tery, Wira, Will, Wilman, Daniel, Wayan, dan semua teman satu angkatan. Temen-temen Sipil Maranatha 2002 (Randi, Mansye, dkk), Edo (HMS-ITB).
13. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu untuk segala kebaikan dan dukungannya.

Akhir kata semoga kasih setia dan anugrah mulia dari Kristus Yesus, Tuhan dan Juruselamat kita memberkati dan membalas semua kebaikan yang telah diberikan semua pihak kepada Penulis. Tuhan memberkati.

Bandung, 31 Januari 2006

Penulis

# DAFTAR ISI

	Halaman
<b>SURAT KETERANGAN TUGAS AKHIR</b> .....	i
<b>SURAT KETERANGAN SELESAI TUGAS AKHIR</b> .....	ii
<b>ABSTRAK</b> .....	iii
<b>PRAKATA</b> .....	iv
<b>DAFTAR ISI</b> .....	vii
<b>DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN</b> .....	x
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xiv
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xvi
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xvii
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang Masalah .....	1
1.2 Tujuan Penulisan .....	4
1.3 Ruang Lingkup Permasalahan .....	4
1.4 Metoda Penulisan .....	5
1.5 Sistematika Penulisan .....	5
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Wilayah Gempa dan Spektrum Respons .....	7
2.2 Kategori Gedung .....	11
2.3 Tingkat Daktilitas Struktur .....	12
2.4 Analisis Dinamik Dengan Beban Gempa Spektrum Respons ....	13
2.5 Simpangan Antar-tingkat ( <i>Drift</i> ) .....	17
2.6 Kinerja Struktur ( <i>Performance Objectives</i> ) .....	18

2.7	Analisis Statik Nonlinier .....	23
2.8	Prosedur Menentukan Titik Kinerja Menurut ATC-40 (1996) ..	25
2.9	Metoda Kapasitas Spektrum .....	26
2.9.1	Menentukan Redaman Ekvivalen .....	29
2.9.2	Menentukan <i>Demand Spectrum</i> .....	33
2.10	Tahapan Desain Kinerja Menurut Prosedur B, ATC-40 (1996) .	35
2.11	Klasifikasi <i>Deformation Limit</i> .....	38
2.12	Evaluasi Perilaku Struktur .....	39
 <b>BAB 3 STUDI KASUS</b>		
3.1	Umum .....	41
3.1.1	Model Struktur .....	44
3.1.2	Asumsi Desain .....	44
3.2	Pemodelan, Analisis, Desain.....	45
3.3	Analisis Beban Dorong ( <i>Pushover Analysis</i> ) .....	48
3.3.1	Kriteria Pemodelan Sendi ( <i>Hinge Properties</i> ) .....	49
3.3.2	Distribusi Sendi Plastis .....	51
3.3.3	Tahapan Analisis <i>Pushover</i> .....	52
 <b>BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN</b>		
4.1	Analisis .....	59
4.2	Analisis Beban Dorong ( <i>Pushover Analysis</i> ) .....	61
4.2.1	Kurva Kapasitas .....	61
4.2.2	Distribusi Sendi Plastis .....	61
4.2.3	Evaluasi Perilaku Seismik .....	63
4.2.3.1	Menentukan Peralihan Puncak Tingkat	

	Saat Terjadi Leleh Pertama .....	63
4.2.3.2	Menentukan Peralihan Puncak Tingkat	
	Pada Kondisi Ultimit .....	67
4.3	Evaluasi <i>Performance-Based Design</i> .....	67
4.3.1	Tahapan Desain Kinerja Struktur .....	67
4.3.2	<i>Performance Point</i> .....	68
4.3.3	<i>Performance Level</i> .....	69
<b>BAB 5</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1	Kesimpulan .....	72
5.2	Saran .....	73
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	.....	74
<b>LAMPIRAN</b>	.....	75

## DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

- $A$  = Percepatan puncak Gempa Rencana pada taraf pembebanan nominal sebagai gempa masukan untuk analisis respons dinamik linier riwayat waktu struktur gedung.
- $A_m$  = Percepatan respons maksimum atau Faktor Respons Gempa maksimum pada Spektrum Respons Gempa Rencana
- $A_o$  = Percepatan puncak muka tanah akibat pengaruh Gempa Rencana yang bergantung pada Wilayah Gempa dan jenis tanah tempat struktur gedung berada.
- $A_r$  = Pembilang dalam persamaan hiperbola Faktor Respons Gempa C pada Spektrum Respons Gempa Rencana.
- $a_{pi}, d_{pi}$  = Koordinat titik kinerja (*performance point*) pada *capacity spectrum*.
- $a_y, d_y$  = Koordinat titik leleh efektif (*effective yield point*) pada *capacity spectrum*.
- $C$  = Faktor Respons Gempa dinyatakan dalam percepatan gravitasi.
- $C_v$  = Faktor Respons Gempa vertical.
- $E$  = Beban Gempa
- $E_1$  = Beban Gempa arah-1
- $E_2$  = Beban Gempa arah-2 (tegak lurus arah-1)
- $E_c$  = Modulus elastis beton, MPa
- $f$  = Faktor kuat lebih total yang terkandung di dalam struktur gedung secara keseluruhan.
- $f_1$  = Faktor kuat lebih beban dan bahan yang terkandung di dalam suatu struktur gedung akibat selalu adanya pembebanan dan dimensi

penampang serta kekuatan bahan terpasang yang berlebihan dan nilainya ditetapkan sebesar 1,6

$f_2$  = Faktor kuat lebih struktur akibat kehiperstatikan struktur gedung yang menyebabkan terjadinya redistribusi gaya-gaya oleh proses pembentukan sendi plastis yang tidak serempak bersamaan.

$f_{skala}$  = faktor skala untuk modifikasi spektrum respons Gempa Rencana.

$f'_c$  = Kuat tekan beton, MPa

$f_y$  = Tegangan leleh baja tulangan utama yang disyaratkan, MPa

$f_{ys}$  = Tegangan leleh baja tulangan sengkang, MPa

$g$  = percepatan gravitasi,  $m/det^2$ ;

$H$  = Tinggi total gedung, meter.

$h_i$  = tinggi lantai gedung ke-i, m.

$I$  = Faktor keutamaan gedung.

$m$  = massa gedung,  $kg \cdot det^2/meter$ ;  $m_{total}$  adalah massa gedung total,  $kg \cdot det^2/meter$ ;  $m_{base}$  adalah massa gedung pada lantai dasar,  $kg \cdot det^2/meter$

$PF1$  = Faktor modal partisipasi (*modal participation factors*) untuk ragam alami pertama.

$R$  = Faktor reduksi gempa.

$S_a$  = Percepatan Spektral (*Spectral acceleration*),  $m/det^2$

$S_d$  = Perpindahan Spektral (*Spectral displacement*), meter

$T$  = Waktu getar alami struktur gedung, detik.



- $T_c$  = Waktu getar alami sudut, yaitu waktu getar alami pada titik perubahan diagram C dari garis datar menjadi kurva hiperbola pada spektrum Respons Gempa Rencana.
- $V$  = Beban (gaya) geser dasar nominal statik ekuivalen akibat pengaruh Gempa Rencana yang bekerja di tingkat dasar struktur gedung beraturan dengan tingkat daktilitas umum, kg.
- $V_d$  = Gaya geser dasar dinamik struktur, kg.
- $V_e$  = Pembebanan gempa maksimum akibat pengaruh Gempa Rencana yang dapat diserap oleh struktur gedung elastik penuh dalam kondisi di ambang keruntuhan, kg.
- $V_m$  = Pembebanan gempa maksimum akibat pengaruh Gempa Rencana yang dapat diserap oleh struktur gedung dalam kondisi di ambang keruntuhan dengan pengerahan faktor kuat lebih total  $f$  yang terkandung di dalam struktur gedung.
- $V_n$  = Pengaruh Gempa Rencana pada taraf pembebanan nominal untuk struktur dengan tingkat daktilitas umum; pengaruh Gempa Rencana pada saat di dalam struktur terjadi pelelehan pertama yang sudah direduksi dengan faktor kuat lebih beban dan bahan  $f_l$ , kg.
- $V_s$  = Gaya geser dasar nominal akibat beban gempa yang dipikul oleh suatu jenis subsistem struktur gedung tertentu di tingkat dasar, kg.
- $V_t$  = Gaya geser dasar nominal akibat pengaruh Gempa Rencana pada taraf pembebanan nominal yang bekerja di tingkat dasar struktur gedung dan yang didapat dari hasil analisis respons dinamik riwayat waktu, kg.
- $W_t$  = Massa gedung total dikalikan dengan gravitasi, kg.

- $\alpha_1$  = Koefisien modal massa (*mass modal coefficient*) untuk ragam alami pertama.
- $\beta_{eff}$  = redaman (*damping*) efektif
- $\beta_{eq}$  = redaman ekuivalen
- $\beta_0$  = redaman liat
- $\phi_{i1}$  = amplitudo ragam pertama pada tingkat ke-I
- $\Delta_e$  = Batasan simpangan antar tingkat (*drift*) sesuai dengan kinerja batas layan.
- $\Delta_m$  = Batasan simpangan antar tingkat (*drift*) sesuai dengan kinerja batas *ultimate*.
- $\Delta_{roof}$  = perpindahan atap ( $V$  dan  $\Delta_{roof}$  terdapat pada kurva kapasitas)
- $\delta_y$  = Peralihan atap pada saat leleh pertama.
- $\delta_u$  = Peralihan atap pada kondisi *ultimate*.
- $\kappa$  = Nilai faktor modifikasi redaman
- $\mu_{\Delta}(\mu)$  = Faktor daktilitas struktur gedung.

# DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Wilayah Gempa Indonesia dengan percepatan puncak batuan dasar dengan perioda ulang 500 tahun .....	8
Gambar 2.2 Respons Spektrum Gempa Rencana Untuk Masing-masing Wilayah Gempa Indonesia .....	9
Gambar 2.3 Denah Tipikal Struktur Gedung Tidak Beraturan .....	15
Gambar 2.4 Bangunan Dengan Loncatan Bidang Muka .....	16
Gambar 2.5 Bangunan Dengan Kekakuan Tingkat Yang Tidak Merata .....	16
Gambar 2.6 Kurva ATC-40 (1996) .....	23
Gambar 2.7 Kurva kapasitas bangunan (building capacity) .....	24
Gambar 2.8 (a) Konversi <i>Response Spectrum</i> .....	26
(b) Konversi <i>Capacity Spectrum</i> .....	26
Gambar 2.9 Penurunan Redaman Untuk Reduksi Spektral .....	29
Gambar 2.10 (a) Penurunan Energi Disipasi oleh Redaman ( $E_D$ ) .....	30
(b) Penyederhanaan Kurva $E_D$ .....	30
Gambar 2.11 Kurva Maksimum Regangan-Energi ( $E_{S0}$ ) .....	30
Gambar 2.12 Kurva <i>Reduced Response Spectrum</i> .....	33
Gambar 2.13 Kurva <i>Family of demand spectrum</i> .....	35
Gambar 2.14 Kurva kapasitas Spektrum ( <i>Capacity Spectrum</i> ) .....	35
Gambar 2.15 Kurva bilinear .....	36
Gambar 2.16 Nilai $d_{pi}$ . .....	37
Gambar 2.17 <i>Performance Point</i> .....	38
Gambar 2.18 Diagram beban dan simpangan ( $V-\delta$ ) struktur gedung. ....	39

Gambar 3.1	Denah gedung (lantai 1 sampai dengan atap) .....	44
Gambar 3.2	tampak 3-D gedung .....	44
Gambar 3.3	Default-P Hinge Properties .....	49
Gambar 3.4	<i>Default-M3 dan Default-PMM Hinge Properties</i> .....	50
Gambar 3.5	Pemodelan umum struktur pada program <i>ETABS</i> . .....	52
Gambar 3.6	Properti sendi pada balok induk .....	53
Gambar 3.7	Properti sendi pada kolom .....	53
Gambar 3.8	Penempatan titik-titik properti sendi pada balok dan kolom .....	53
Gambar 3.9	Kombinasi pembebanan <i>Pushover</i> .....	54
Gambar 3.10	Kombinasi Pembebanan <i>Pushover</i> untuk gravitasi (GRAV).....	54
Gambar 3.11	Kombinasi Pembebanan <i>Pushover</i> untuk arah-x (ARAHX) .....	56
Gambar 3.12	Kombinasi Pembebanan <i>Pushover</i> untuk arah-y (ARAHY) .....	56
Gambar 3.13	<i>Run Static Nonlinear Analysis</i> . .....	57
Gambar 3.14	Kurva Kapasitas ( <i>Capacity Curve</i> ) .....	57
Gambar 3.15	Tabel dari kurva <i>Pushover</i> . .....	58
Gambar 3.16	Kurva <i>Capacity Spectrum</i> dan <i>Performance Point</i> . .....	58
Gambar 4.1	Kurva Kapasitas Struktur Gedung 8 Lantai .....	61
Gambar 4.2	Diagram beban dan simpangan ( $V-\delta$ ) struktur gedung. ....	64
Gambar 4.3	<i>Capacity Spectrum</i> gedung dalam arah-x .....	68
Gambar 4.4	<i>Capacity Spectrum</i> gedung dalam arah-y .....	69

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Percepatan Puncak Batuan Dasar Dan Percepatan Puncak Muka Tanah Untuk Masing-masing Wilayah Gempa Indonesia .....	10
Tabel 2.2 Spektrum Respons Gempa Rencana .....	11
Tabel 2.3 Faktor Keutamaan (I) .....	12
Tabel 2.4 Wilayah gempa dan Sistem Rangka Pemikul Momen.....	13
Tabel 2.5 Kombinasi antara Komponen Struktural dan Nonstruktural Dalam Bentuk Tingkat Kinerja Bangunan ( <i>Building Performance Levels</i> ) .....	22
Tabel 2.6 Nilai Faktor Modifikasi, $\kappa$ .....	32
Tabel 2.7 Nilai $SR_A$ dan $SR_V$ minimum yang disarankan .....	34
Tabel 2.8 Nilai <i>Spectral Reduction Factors</i> , $SR_A = 1/B_s$ dan $SR_V = 1/B_L$ ...	34
Tabel 2.9 <i>Structural Behavior Types</i> .....	34
Tabel 2.10 <i>Deformation Limits</i> .....	38
Tabel 4.1 <i>Modal Participating Mass Ratio</i> Struktur Gedung 8 Lantai .....	60
Tabel 4.2 Distribusi Sendi Plastis Struktur Gedung 8 Lantai arah-x .....	62
Tabel 4.3 Distribusi Sendi Plastis Struktur Gedung 8 Lantai arah-y .....	62
Tabel 4.4 Nilai $\mu_\Delta$ dan R aktual struktur gedung .....	67
Tabel 4.5 Evaluasi <i>Performance-Based Design</i> sesuai ATC-40 .....	70
Tabel 4.6 Klasifikasi keamanan sesuai ATC-40 .....	70

## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1 Tabel Kinerja Batas Layan per Lantai	76
Lampiran 2 Tabel Kinerja Batas Ultimit	76
Lampiran 3 Tabel <i>Response Spectrum Base Reaction</i> (ETABS)	77
Lampiran 4 Penulangan Balok dan Kolom	78