

**TINJAUAN PERANCANGAN DENGAN METODE
PERFORMANCE BASED DESIGN UNTUK MEMPREDIKSI
PERILAKU INELASTIK STRUKTUR**

Tesis

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar magister dari
Universitas Atma Jaya Yogyakarta

Oleh :

Boby Culus Ertanto

NPM :145102198



**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA
YOGYAKARTA
2016**

**TINJAUAN PERANCANGAN DENGAN METODE
PERFORMANCE BASED DESIGN UNTUK MEMPREDIKSI
PERILAKU INELASTIK STRUKTUR**

Tesis

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister dari
Universitas Atma Jaya Yogyakarta

Oleh :

Boby Culus Ertanto

NPM :145102198



**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA
YOGYAKARTA
2017**



UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA
PROGRAM PASCASARJANA
PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL

PENGESAHAN TESIS

Nama : BOBY CULIUS ERTANTO
Nomor Mahasiswa : 145102198/PS/MTS
Konsentrasi : Struktur
Judul tesis : *Tinjauan Perancangan dengan Metode Performance Based Design untuk Memprediksi Perilaku Inelastik Struktur*



Nama Pembimbing	Tanggal	Tanda Tangan
Prof. Ir. Yoyong Arfiadi, M. Eng., Ph.D.	24/1/2017	
Ir. John Tri Hatmoko, M.Sc.	24/1/17	



UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA
PROGRAM PASCASARJANA
PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL

PENGESAHAN TESIS

Nama : BOBY CULIUS ERTANTO
Nomor Mahasiswa : 145102198/PS/MTS
Konsentrasi : Struktur
Judul tesis : Tinjauan Perancangan dengan *Metode Performance Based Design* untuk Memprediksi Perilaku Inelastik Struktur

Telah diuji dan disahkan oleh:

Nama Pembimbing	Tanggal	Tanda Tangan
<u>Prof. Ir. Yoyong Arfiadi, M. Eng., Ph.D.</u> Ketua/Penguji/Pembimbing I	24/1/2017	
<u>Ir. John Tri Hatmoko, M.Sc.</u> Anggota/Penguji/Pembimbing II	24/1/2017	
<u>Dr. Ir. Ade Lisantono, M.Eng.</u> Anggota/Penguji	24/01/2017	

Ketua Program Studi Magister Teknik Sipil



Dr. Ir. Imam Basuki, M.T.

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tesis dengan judul :

TINJAUAN PERANCANGAN DENGAN METODE PERFORMANCE BASED DESIGN UNTUK MEMPREDIKSI PERILAKU INELASTIK STRUKTUR

Benar – benar merupakan hasil karya saya sendiri dan bukan merupakan hasil plagiasi dari karya orang lain. Ide, data hasil penelitian maupun kutipan baik langsung maupun tidak langsung yang bersumber dari tulisan atau ide orang lain dinyatakan secara tertulis dalam Tesis ini. Apabila terbukti di kemudian hari bahwa Tesis ini merupakan hasil Plagiasi, maka ijazah yang saya peroleh dinyatakan batal dan saya kembalikan kepada Rektor Universitas Atma Jaya Yogyakarta

Yogyakarta, 20 Januari 2017

Yang membuat Pernyataan



(Boby Culus Ertanto)

Seismic Design (and Analysis) Is as Much an Art as it is a Science

(Fema)

Skripsi ini dipersembahkan kepada :

Bapa ,Yesus Kristus,Bunda Maria,dan semua Malaikat di Surga

Semua yang tinggal di daerah rawan gempa

Teruntuk yang selalu memberi tanpa henti memberi

Papah

Ferica Liem yang selalu ada

Prof. Ir. Yoyong Anjadi, M.Eng., Ph.D.,

Sahabat-sahabat dan TBK Squad

Dosen-dosen yang banyak membantu dan memberi

KATA HANTAR

Puji dan Syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala Berkah dan Cinta Kasih-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tesis sebagai syarat menyelesaikan pendidikan tinggi Program Strata-2 di Fakultas Teknik Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa penyusunan Tesis ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun. Dalam menyusun Tugas Akhir ini penulis telah mendapat banyak bimbingan, bantuan dan dorongan moral serta doa dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Ir. Yoyong Arfiadi, M. Eng., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing yang selalu bersedia membimbing dengan sabar, menjadi inspirasi, membuka wawasan, memberikan petunjuk dan ilmu pengetahuan tentang rekayasa dinamik dan gempa, serta mengajarkan banyak hal kepada penulis selama penulisan hingga selesai dan selama kuliah;
2. Bapak Ir. John Tri Hatmoko, M.Sc. selaku Dosen Pembimbing kedua yang selama ini telah dengan sabar mengajar dan memberi ilmu pengetahuan;
3. Bapak Dr. Ir. Imam Basuki, M.T. selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta;
4. Bapak Ir. Haryanto Y.W., M.T. yang banyak membimbing serta mengajarkan banyak hal tentang kedisiplinan dan nilai penting dalam kehidupan;
5. Untuk Papah yang selalu ada mendoakan, mendukung dan memberi materi ;
6. Bapak Dr. Ir. Ade Lisantono, M.Eng., Siswadi, S.T., M.T. , J. Januar Sudjati, S.T., M.T., dan seluruh Dosen UAJY yang banyak membantu dan mengajar penulis;
7. Untuk Ferica Liem yang tidak pernah lelah untuk membantu, memberi semangat, perhatian kasih sayang dan cinta yang tidak berkesudahan, serta mendukung dengan tulus dan menemani dalam suka dan duka sampai penulis dapat menyelesaikan tulisan ini;

8. Teman-teman seperjuangan Aan, Henry, Hanavi, Petrus, Anas, Yumna, Elvi, Agnes, Hanz dan semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu, baik secara langsung maupun tidak langsung telah membantu penulis dalam menyelesaikan studi di Fakultas Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta;

Akhir kata penulis berharap Laporan Tesis yang berjudul “TINJAUAN PERANCANGAN DENGAN METODE PERFORMANCE BASED DESIGN UNTUK MEMPREDIKSI PERILAKU INELASTIK STRUKTUR” ini berguna bagi pembaca.

Yogyakarta, 20 Januari 2017

Penulis

Boby Culus Ertanto

NPM : 145102198

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN	ii
PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR NOTASI	xii
INTISARI	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Perumusan Masalah	1
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Keaslian Tugas Akhir	4
1.5 Tujuan Penulisan Tugas Akhir	4
1.6 Manfaat Penulisan Tugas Akhir	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 <i>Performance Based Seismic Design</i>	5
2.2 <i>Displacement Coefficient Method</i>	5
2.3 <i>Direct Displacement Based Design</i>	6
2.4 <i>Yield Point Spectra</i>	6
2.5 Analisis Inelastik Dinamik Riwayat Waktu.....	7
BAB III LANDASAN TEORI	8
3.1 <i>Pushover dan Displacement Coefficient Method</i>	8
3.1.1 <i>Pushover</i>	8
3.1.2 <i>Displacement Coefficient Method</i>	9

3.1.3 Waktu Getar Efektif.....	12
3.2 <i>Direct Displacement Based Design</i>	14
3.3 <i>Yield Point Spectra</i>	21
3.4 Analisis Nonlinier.....	29
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	32
4.1 Deskripsi Model Struktur	32
4.2 Desain <i>Direct Displacement Based Design</i>	34
4.3 Desain <i>Yield Point Spectra</i>	39
4.4 Desain <i>Force Based Design</i>	43
4.5 Rekaman Gempa untuk NLTHA	45
4.6 Analisis.....	49
4.6.1 Analisis <i>Pushover</i>	53
4.6.2 Analisis NLTHA.....	64
4.6.3 <i>Displacement</i>	69
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	72
5.1 Kesimpulan	72
5.2 Saran	75
DAFTAR PUSTAKA	76
LAMPIRAN	77

Daftar Tabel

NO	Nama Tabel	Halaman
3.1	Tabel koefisien Faktor bentuk C_0	10
3.2	Faktor massa efektif C_m	11
3.3	Nilai Faktor Modifikasi C_2	12
3.4	Sasaran Kinerja Bangunan	15
3.5	Perkiraan <i>Yield Drift Rasio</i>	21
3.6	Story Drift Ijin berdasarkan SNI 1726-2012	22
3.7	Estimasi $\alpha_3, stat$ berdasarkan FEMA P-750	22
3.8	Sistem Daktilitas Faktor Keutamaan Biasa (2/3MCE)	23
3.9	Nilai a dan b Bergantung dari Nilai Strain Hardening α	26
3.10	Rasio heff,1/h Berdasarkan FEMA P-750	29
4.1	Perhitungan Perpindahan dan Tinggi efektif	34
4.2	Hubungan Waktu Percepatan dan Perpindahan	35
4.3	Iterasi Perpindahan Rencana Baru	37
4.4	Distribusi Gaya Geser Dasar dan Gaya Geser Lantai YPS	38
4.5	Desain DDBD 5 Lantai, 10 Lantai, 15 Lantai	38
4.6	Faktor Partispasi dan Faktor Partispasi Ragam Pertama	39
4.7	Spektra titik luluh Yogyakarta menurut Nassar dan Krawinker	41
4.8	Distribusi Gaya Geser Dasar per Lantai YPS	42
4.9	Distribusi gaya gempa dan geser dasar YPS /lantai terkoreksi	43
4.10	Desain YPS 5 Lantai, 10 Lantai, 15 Lantai	43
4.10	Distribusi gaya gempa dan geser dasar YPS /lantai terkoreksi	44
4.11	Desain FBD 5 lantai, 10 lantai, 15 lantai	44
4.12	Real Ground Motion	45
4.13	Gaya lateral per lantai FBD, DDBD YPS	49
4.14	Gaya Geser tingkat per lantai FBD, DDBD YPS	49
4.15	Kombinasi pembebanan	51
4.16	Tabel distribusi sendi plastis DDBD 5 lantai	55
4.17	Tabel distribusi sendi plastis YPS 5 lantai	56
4.18	Perbandingan Desain Performance Point struktur 5 lantai	58
4.19	Tabel distribusi sendi plastis DDBD 10 lantai	60
4.20	Tabel distribusi sendi plastis YPS 10 lantai	61
4.21	Perbandingan Desain Performance Point struktur 10 lantai	63
4.22	Perpindahan yang terjadi pada struktur 5 lantai	70
4.23	Perpindahan yang terjadi pada struktur 10 lantai	70

Daftar Gambar

No	Nama Gambar	Halaman
1.1	Peta Kejadian Gempa	1
3.1	Kurva Kapasitas	8
3.2	Metode Displacement Coefficient	10
3.3	Kekakuan Efektif	13
3.4	Konsep Dasar DDBD	14
3.5	Hubungan dari Ekvivalen SDOF	15
3.6	drift leleh pada ujung balok	17
3.7	Acceleration-Displacement Response Spectra	20
3.8	Respon Elastic dan Luluh MDOF Mode Pertama	24
3.9	Hubungan $R\mu-\mu-T$ Menurut Nassar	25
3.10	Hubungan Beban-Perpindahan Bilinier	26
3.11	Spektra Titik Luluh SDOF Berbagai Daktilitas	27
3.12	Bilinier Takeda Model	30
3.13	histerisis loops balok lemah kolom kuat	30
3.14	gambar hubungan gaya-deformasi/rotasi element	31
4.1	Respon Spektrum Kota Yogyakarta	32
4.2	Geometri Bangunan	33
4.3	Plot Perpindahan Rencana di Spektra Perpindahan	36
4.4	Respon Perpindahan dengan Redamana Baru	37
4.5	Spektra titik luluh Yogyakarta menurut Nassar dan Krawinker	40
4.6	Respon percepatan DBE dan MCE Yogyakarta	45
4.7	Ground motion Sanfernando arah x dan y	46
4.8	Ground motion Kobe arah x dan y	46
4.9	Ground motion Imperial Valley arah x dan y	46
4.10	Spektrum dan ground motion modifikasi SanFernando x dan y	47
4.11	Spektrum dan ground motion modifikasi Kobe arah x dan y	47
4.12	Spektrum dan ground motion modifikasi ImpValey x dan y	48
4.13	Perbandingan gaya lateral perlantai FBD, DDBD dan YPS	50
4.14	Perbandingan gaya geser tingkat FBD, DDBD dan YPS	50
4.15	Hasil Penulangan DDBD dan YPS	52
4.16	Sendi platis pada balok kolom	55
4.17	Hasil <i>pushover</i> desain DDBD5 lantai	54
4.18	Hasil <i>pushover</i> desain YPS 5 lantai	56
4.19	<i>Displacemnt coefisien method</i> FEMA 440 untuk DDBD	58
4.20	<i>Displacemnt coefisien method</i> FEMA 440 untuk YPS	58
4.20	Hasil <i>pushover</i> desain DDBD 10 lantai	59
4.21	Hasil <i>pushover</i> desain YPS 10 lantai	61
4.22	<i>Displacemnt coefisien method</i> FEMA 440 untuk DDBD	63
4.23	<i>Displacemnt coefisien method</i> FEMA 440 untuk YPS	63
4.24	Perpindahan Struktur 5 Lantai	71
4.25	Perpindahan Struktur 10 Lantai	71

Daftar Notasi

- PF_1 = faktor partisipasi ragam (*modal participation factor*) untuk ragam ke-1
 α_1 = koefisien massa ragam untuk ragam ke-1
 w_i/g = massa lantai i
 ϕ_{i1} = perpindahan pada lantai i ragam ke-1
 N = jumlah lantai
 V = gaya geser dasar
 W = berat struktur (akibat beban mati dan beban hidup tereduksi)
 Δ_{atap} = perpindahan atap (yang digunakan pada kurva kapasitas)
 S_a = spektrum percepatan
 S_d = spektrum perpindahan
 C_0 = koefisien faktor bentuk
 C_1 = faktor modifikasi yang menghubungkan perpindahan inelastik maksimum dengan perpindahan yang dihitung dari respon elastik linier
 T_e = waktu getar alami efektif yang memperhitungkan kondisi inelastis
 TS = waktu getar karakteristik yang diperoleh dari kurva respons spektrum pada titik dimana terdapat transisi bagian akselerasi konstan ke bagian kecepatan konstan.
 R = rasio “kuat elastik perlu” terhadap “koefisien kuat leleh terhitung
 C_m = faktor massa efektif
 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.
 Δ_c = perpindahan lantai *critical*
 δ_c = bentuk ragam di lantai *critical*
 δ_i = normalisasi bentuk ragam inelastik
 H_i = tinggi tiap lantai
 H_n = tinggi total struktur
 m_i = massa di lantai H_i
 Δ_i = perpindahan rencana antar tingkat
 Δ_d = perpindahan rencana SDOF ekuivalen
 Δ_y = perpindahan saat luluh SDOF ekuivalen
 L_b = panjang bentang balok antara dari titik pusat kolom
 h_b = tinggi penampang balok
 ε_y = regangan luluh baja tulangan atau profil baja
 ω = frekuensi alami
 $\Delta_{(T,\xi)}$ = perpindahan untuk waktu getar T dan redaman $\xi\%$
 $S_{a(T,\xi)}$ = percepatan untuk waktu getar T dan redaman $\xi\%$
 $R(\xi)$ = factor reduksi perpindahan
 Δ_y = perpindahan saat luluh
 h = tinggi gedung
 $\left(\frac{\Delta y}{h}\right)$ = estimasi rasio drift luluh
 $\Delta_{u,\Delta}$ = perpindahan puncak

Δa = story drift ijin (tabel 6)
 α_3, sta = koefisien koreksi (tabel 7)
 h_{sx} = tinggi tingkat yang ditinjau
 μ_d = batas daktilitas rencana
 μ_c = daktilitas system berdasarkan tabel 8
 $\Delta_{u,\Delta}$ = perpindahan puncak
 I = factor keutamaan struktur
 $\{\phi\}_1$ = vektor bentuk ragam pertama
 $[W]$ = matrik diagonal berisi berat masing-masing lantai
 $\{1\}$ = vektor berisi angka 1
 T = periode alami
 Say = spectra pseudo percepatan saat luluh
 Sa = spectrum respons percepatan
 $F_{i,\beta}$ = beban lateral pada lantai
 β_i = rasio geser tingkat V_i terhadap geser dasar V_y
 β_{i+1} = 0 untuk puncak gedung
 $h_{eff,1}$ = titik berat momen guling berdasarkan mode 1
 $h_{eff,\beta}$ = titik berat momen guling yang dihitung berdasarkan distribusi beban lateral yang bekerja