

# TESIS

EVALUASI KINERJA STRUKTUR GEDUNG BETON  
BERTULANG SISTEM GANDA DENGAN ANALISIS  
NONLINEAR STATIK DAN *YIELD POINT SPECTRA*



OLEH

Frederikus Dianpratama Ndouk

145 102 156

PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK SIPIL

UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA

2016

PENGESAHAN

TESIS

**EVALUASI KINERJA STRUKTUR GEDUNG BETON  
BERTULANG SISTEM GANDA DENGAN ANALISIS  
NONLINEAR STATIK DAN *YIELD POINT SPECTRA***

Oleh :

Frederikus Dianpratama Ndouk

145 102 156

Telah disetujui oleh Pembimbing  
Yogyakarta, *10 Mei 2016*.....

Pembimbing



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

Disahkan oleh

Program Pascasarjana Teknik Sipil

Ketua



Dr. Ir. Imam Basuki, MT.

PENGESAHAN

TESIS

**EVALUASI KINERJA STRUKTUR GEDUNG BETON  
BERTULANG SISTEM GANDA DENGAN ANALISIS  
NONLINEAR STATIK DAN *YIELD POINT SPECTRA***



Oleh :

Frederikus Dianpratama Ndouk

145 102 156

Telah diuji dan disetujui oleh :

Nama	Tanggal	Tanda Tangan
Prof. Ir. Yoyong Arfiadi, M.Eng., Ph.D.	10/05/2016	
Ir. John Tri Hatmoko, M.sc	2/05/2016	
Dr. Ir. AM. Ade Lisantono, M. Eng.	29/04/2016	



## PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini, menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tesis dengan judul :

EVALUASI KINERJA STRUKTUR GEDUNG BETON BERTULANG SISTEM GANDA DENGAN ANALISIS NONLINEAR STATIK DAN *YIELD POINT SPECTRA*

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

Yogyakarta, 10 Mei 2016

Yang membuat pernyataan



Frederikus Dianpratama Ndouk

## KATA HANTAR

Puji syukur penulis sampaikan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah mencurahkan segala rahmat, bimbingan serta perlindungan-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tesis ini. Penulisan Laporan Tesis dengan judul **"EVALUASI KINERJA STRUKTUR GEDUNG BETON BERTULANG SISTEM GANDA DENGAN ANALISIS NONLINEAR STATIK DAN YIELD POINT SPECTRA"** disusun guna melengkapi syarat untuk menyelesaikan jenjang pendidikan tinggi Program Strata-2 (S-2) di Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

Penulis berharap melalui laporan Tesis ini semakin menambah dan memperdalam ilmu pengetahuan dalam bidang Teknik Sipil baik oleh penulis maupun pihak lain.


Dalam penyusunan laporan Tesis ini penulis telah mendapat banyak bimbingan, bantuan, dan dorongan moral dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Drs. M. Parnawa P., MBA., Ph.D., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
2. Bapak Dr. Ir. Imam Basuki, MT., selaku Ketua Program Studi Pascasarjana Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
3. Bapak Prof. Ir. Yoyong Arfiadi, M.Eng., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing yang telah dengan sabar meluangkan waktu untuk memberi petunjuk dan membimbing penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Seluruh Dosen di Program Studi Pascasarjana Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Atma Jaya Yogyakarta yang telah bersedia mendidik dan mengajar penulis.
5. Keluarga tercinta yang senantiasa memberikan doa juga inspirasi serta semangat kepada penulis sehingga laporan Tesis ini dapat diselesaikan dengan baik.
6. Teman-teman seangkatan MTS UAJY. Terima kasih atas persahabatan dan kebersamaan yang telah kita jalani hingga saat ini.

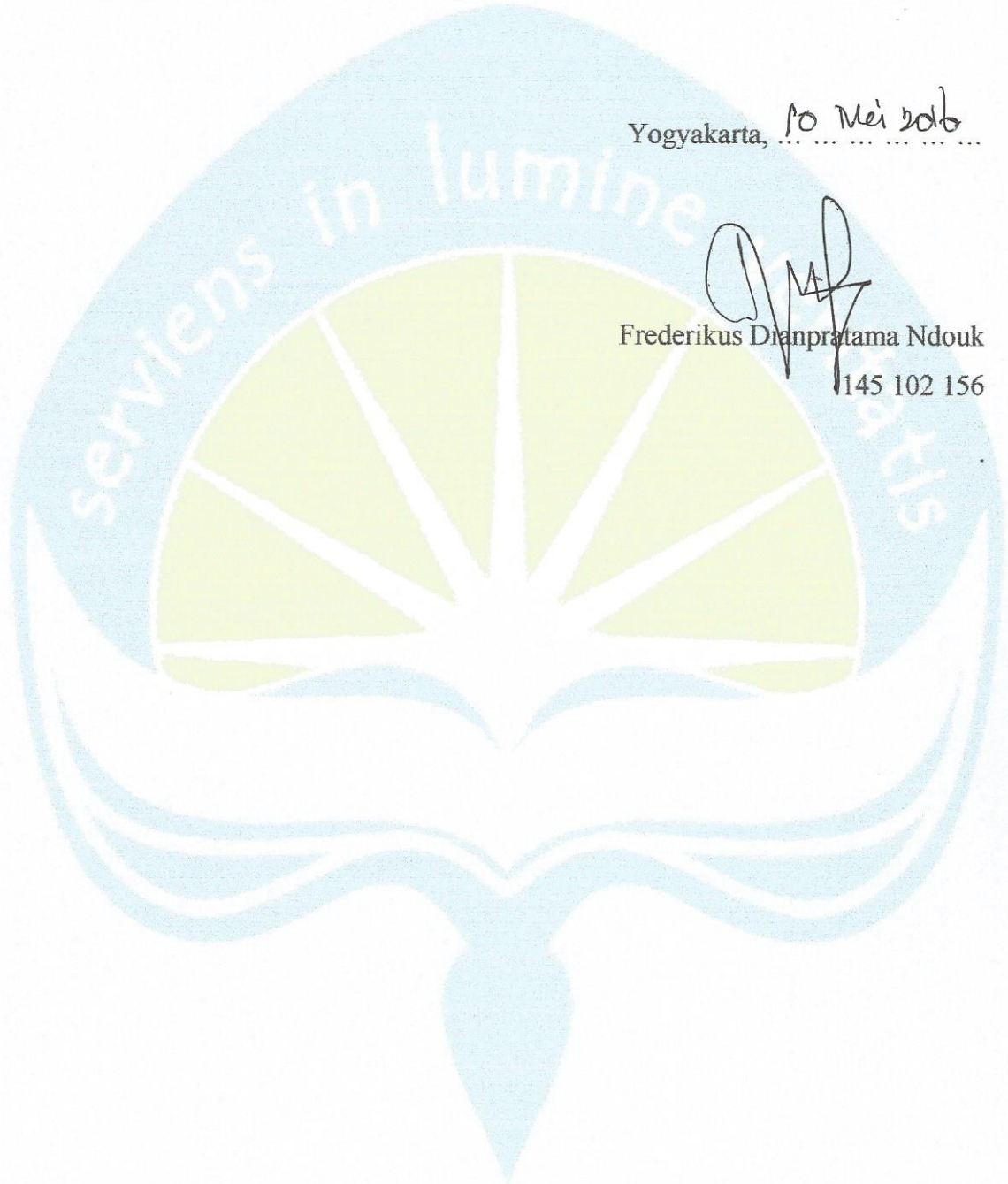
7. Serta pihak-pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu-persatu

Penulis menyadari bahwa penulisan laporan Tesis ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan masukan berupa kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan Tesis ini.

Yogyakarta, 10 Mei 2016

  
Frederikus Dianpratama Ndouk

145 102 156





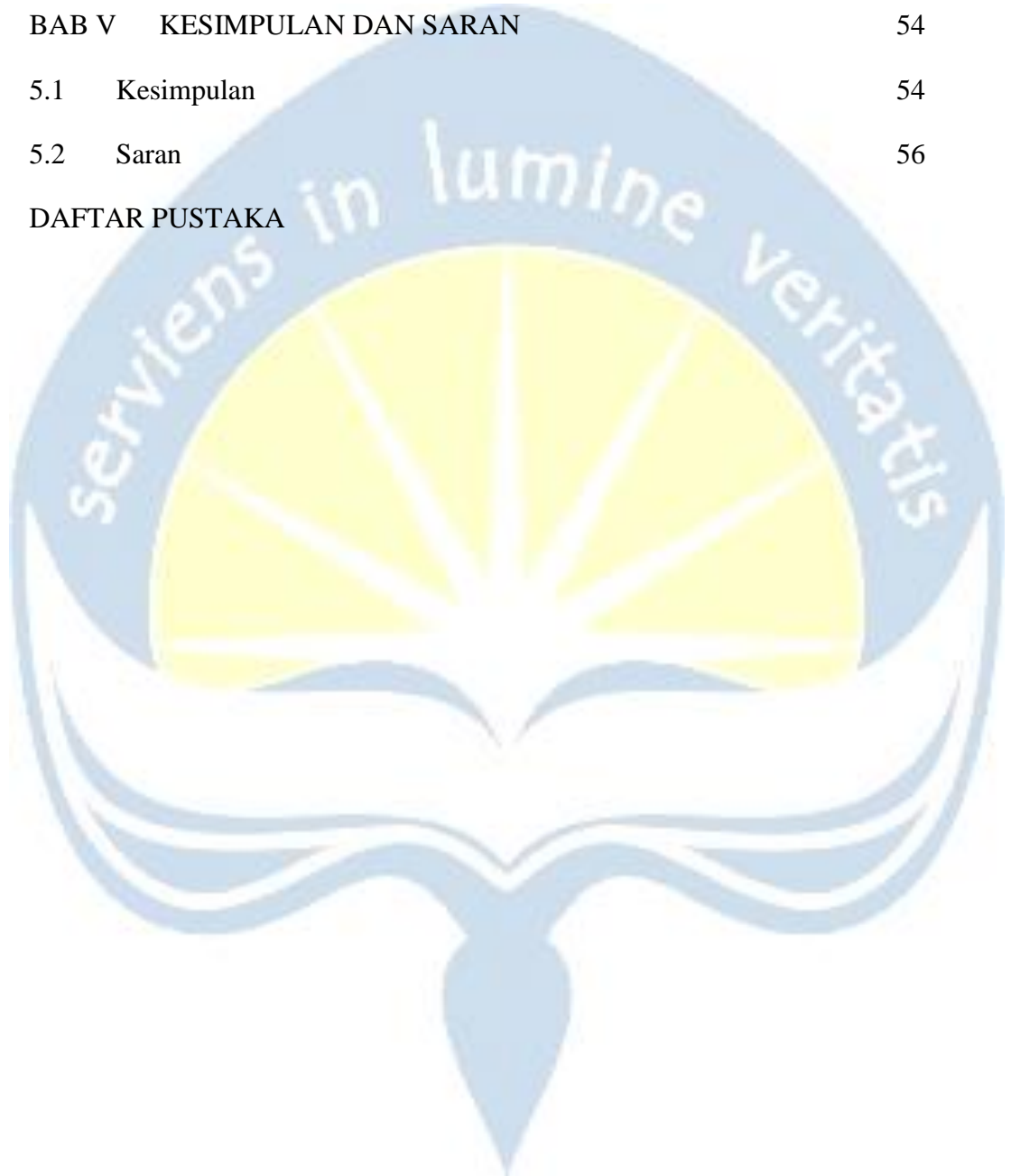
## DAFTAR ISI

PENGESAHAN	i
PERNYATAAN	iii
KATA HANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
NOTASI	xiii
ABSTRAK	xv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Prinsip-prinsip Dinamik Penentu Gempa	
2.1.1 Faktor Keutamaan Gedung ( $I_e$ )	6
A. Menentukan Parameter Percepatan Gempa ( $S_s, S_I$ )	8
B. Menentukan Kelas Situs (SA-SF)	8
C. Menentukan koefisien-koefisien situs dan paramater-	

parameter respons spektral percepatan gempa	
maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget ( $MCE_R$ )	9
D. Menentukan Spektrum Respons Desain	10
E. Menentukan Kategori Desain Seismik	12
2.1.2 Gaya Geser dan Periode Getar Fundamental	14
2.2 Distribusi Beban Horizontal Pada Tiap Lantai	17
2.3 Konsep Kinerja Struktur Tahan Gempa	18
<b>BAB III LANDASAN TEORI</b>	21
3.1 Pengertian Analisa Beban Dorong Statik	21
3.2 <i>Nonlinear Static Pushover Analysis</i> (NSP)	21
3.2.1 Sendi Plastis	22
3.2.2 Mekanisme Keruntuhan Gedung	23
3.3 Metode Capacity Spektrum (CSM)	23
3.4 Metode <i>Yield Point Spectra</i> (YPS)	26
3.4.1 Model <i>Equivalen Single Degree of Freedom</i> (ESDOF)	27
3.4.2 Estimasi Perpindahan Leleh	27
3.5 Penentuan Perpindahan Puncak Atap	29
3.6 Hubungan ESDOF dengan Sistem MDOF	33
3.7 Faktor Pengurang Kekuatan	35
<b>BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN</b>	38
4.1 Faktor Penurunan Kekuatan	38
4.1.1 Newmark dan Hall (1982)	38
4.1.2 Nassar dan Krawinkler (1991)	40
4.1.3 Miranda dan Bertero (1993)	42



4.2	Analisa Nonlinear Statik	43
4.3	Metode <i>Yield Point Spectra</i>	46
4.4	Pembahasan	52
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		54
5.1	Kesimpulan	54
5.2	Saran	56
DAFTAR PUSTAKA		



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Kategori resiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa	6
Tabel 2.2	Faktor keutamaan gempa ( $I_e$ )	8
Tabel 2.3	Klasifikasi Situs	9
Tabel 2.4	Koefisien situs, $F_a$	10
Tabel 2.5	Koefisien situs, $F_v$	11
Tabel 2.6	Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda pendek	13
Tabel 2.7	Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda 1 detik	14
Tabel 2.8	Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung	16
Tabel 2.9	Nilai parameter periode pendekatan $C_t$ dan $x$	16
Tabel 2.10	Batasan rasio <i>drift</i> atap menurut ATC-40	20
Tabel 3.1	Estimasi rasio perpindahan leleh	29
Tabel 3.2	Parameter estimasi FEMA 750, Paper 9	30
Tabel 3.3	Parameter estimasi oleh Tjhin	31
Tabel 3.4	Sistem kekakuan, $\mu_t$ , untuk bangunan dengan kriteria tertentu	32
Tabel 3.5	Parameter faktor amplifikasi Nassar dan Krawinkler	37
Tabel 4.1	Perhitungan hubungan R- $\mu$ -T dengan metode Newmark-Hall	39
Tabel 4.2	Perhitungan hubungan R- $\mu$ -T dengan metode Nassar-Krawinkler	41
Tabel 4.3	Perhitungan hubungan R- $\mu$ -T dengan metode Miranda dan Bertero	43

Tabel 4.4	<i>Performance point</i> analisis statik nonlinear dengan meshing yang berbeda	45
Tabel 4.5	Koefisien gaya geser dasar minimum $C_y^*$	48
Tabel 4.6	Distribusi gaya lateral metode Nassar-Krawinkler	49
Tabel 4.7	Distribusi gaya lateral metode Newmark-Hall	51
Tabel 4.8	Distribusi gaya lateral metode Miranda-Bertero	52
Tabel 4.9	Nilai <i>performance point</i> dengan parameter slender cantilever shear wall	52
Tabel 4.10	Nilai dari parameter Dual <i>Shear Walls-Moment Frame Systems</i>	53
Tabel 4.11	Nilai <i>performance point</i> dengan parameter Dual Shear Wall	53
Tabel 5.1	Rekap analisa hasil pushover SAP 2000	54
Tabel 5.2	Rekap analisa hasil pushover metode YPS	54
Tabel 5.3	Rekap analisa hasil pushover metode YPS	54
Tabel 5.4	Perbandingan metode YPS dan analisa nonlinear SAP dalam persen	55



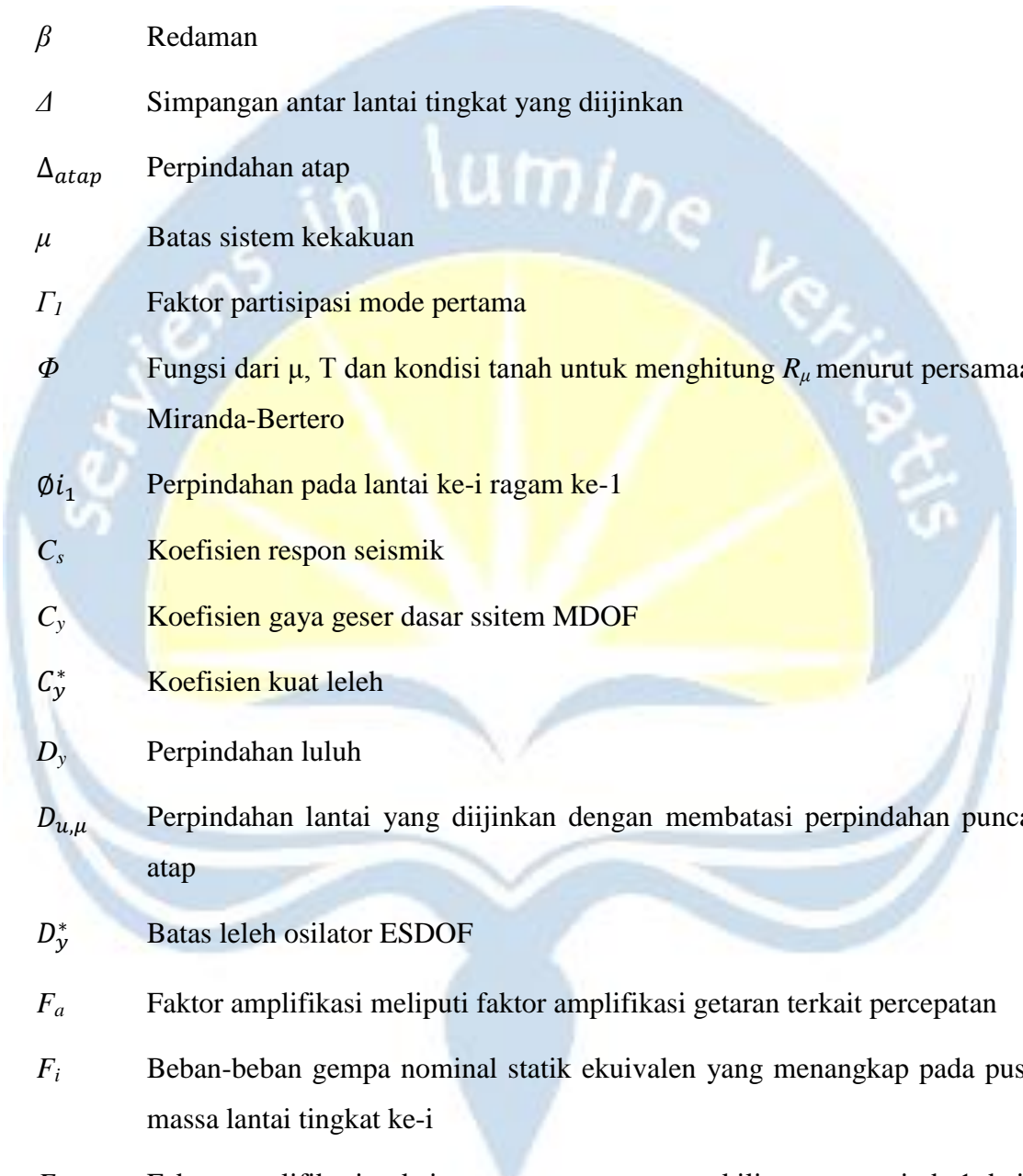
## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Spektrum Respon Desain	12
Gambar 2.2	Perhitungan gaya geser dasar seismik	15
Gambar 2.3	Ilustrasi rekayasa gempa berbasis kinerja	19
Gambar 3.1	Properti sendi default-M3 dan default-PMM	22
Gambar 3.2	Mekanisme keruntuhan gedung	23
Gambar 3.3	Konversi respon spektrum ke format ADRS	25
Gambar 3.4	Kurva kapasitas & titik <i>performance point</i>	25
Gambar 3.5	Mekanisme inelastik model Moment-Frame yang diinginkan.	28
Gambar 3.6	Ilustrasi konsep kurva kapasitas dan perpindahan puncak atap untuk struktur	30
Gambar 3.7	Grafik faktor pengurang kekuatan oleh Newmark dan Hall (1982)	34
Gambar 3.8	Spektrum desain elastik Newmark-Hall	36
Gambar 3.9	Desain respon spektrum elastik	36
Gambar 4.1	Kurva R- $\mu$ -T dengan metode Newmark-Hall	41
Gambar 4.2	Kurva R- $\mu$ -T dengan metode Nassar-Krawinkler	42
Gambar 4.3	Kurva R- $\mu$ -T dengan metode Miranda-Bertero	44
Gambar 4.4	Kurva pushover untuk gempa X dengan mesh 15x15	46
Gambar 4.5	Kurva pushover untuk gempa Y dengan mesh 15x15	46

## DAFTAR LAMPIRAN

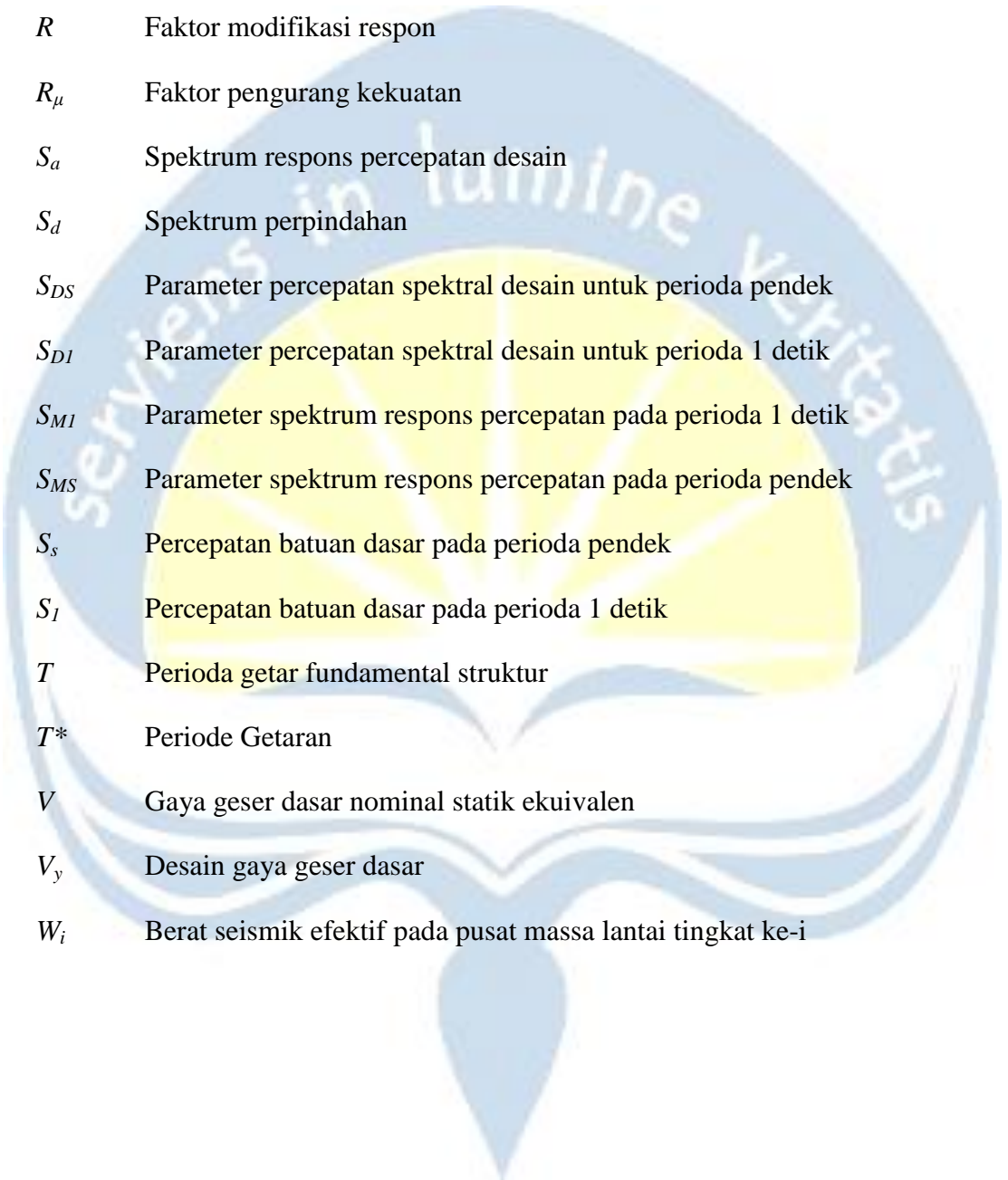
Lampiran 1	Denah model bangunan
Lampiran 2	Dimensi balok
	Pelat
	Dimensi kolom
	Dinding geser
	Pemodelan struktur
	Analisis beban gempa
	Kategori resiko
	Parameter $S_S$ dan $S_I$
	Parameter $F_a$ dan $F_v$
	Parameter $S_{MS}$ dan $S_{M1}$ berdasarkan $MCE_R$
	Parameter $S_{DS}$ dan $S_{D1}$
	Kategori Desain Seismik
	Desain Respon Spektrum
	Kurva Respons Spektrum Rencana
	Perhitungan Gaya Geser Dasar
	Koefisien Beban Gempa
	Arah Gempa X
	Arah Gempa Y
	Gaya Geser Gempa dan Beban Lateral

## DAFTAR NOTASI



$\alpha_l$	Koefisien massa ragam (ragam ke-1)
$\beta$	Redaman
$\Delta$	Simpangan antar lantai tingkat yang diijinkan
$\Delta_{atap}$	Perpindahan atap
$\mu$	Batas sistem kekakuan
$\Gamma_1$	Faktor partisipasi mode pertama
$\Phi$	Fungsi dari $\mu$ , T dan kondisi tanah untuk menghitung $R_\mu$ menurut persamaan Miranda-Bertero
$\phi_{i_1}$	Perpindahan pada lantai ke-i ragam ke-1
$C_s$	Koefisien respon seismik
$C_y$	Koefisien gaya geser dasar sistem MDOF
$C_y^*$	Koefisien kuat leleh
$D_y$	Perpindahan luluh
$D_{u,\mu}$	Perpindahan lantai yang diijinkan dengan membatasi perpindahan puncak atap
$D_y^*$	Batas leleh osilator ESDOF
$F_a$	Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan
$F_i$	Beban-beban gempa nominal statik ekuivalen yang menangkap pada pusat massa lantai tingkat ke-i
$F_v$	Faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran perioda 1 detik
$h_i$	tinggi dari dasar sampai tingkat i atau x, satuan meter (m)
$h_{sx}$	Tinggi tingkat di bawah tingkat x





$I_e$	Faktor keutamaan gempa
$k$	Eksponen yang terkait dengan periode struktur
$PF_i$	Faktor partisipasi ragam (ragam ke-1)
$R$	Faktor modifikasi respon
$R_\mu$	Faktor pengurang kekuatan
$S_a$	Spektrum respons percepatan desain
$S_d$	Spektrum perpindahan
$S_{DS}$	Parameter percepatan spektral desain untuk perioda pendek
$S_{D1}$	Parameter percepatan spektral desain untuk perioda 1 detik
$S_{M1}$	Parameter spektrum respons percepatan pada perioda 1 detik
$S_{MS}$	Parameter spektrum respons percepatan pada perioda pendek
$S_s$	Percepatan batuan dasar pada perioda pendek
$S_1$	Percepatan batuan dasar pada perioda 1 detik
$T$	Perioda getar fundamental struktur
$T^*$	Periode Getaran
$V$	Gaya geser dasar nominal statik ekuivalen
$V_y$	Desain gaya geser dasar
$W_i$	Berat seismik efektif pada pusat massa lantai tingkat ke-i

## ABSTRAK

Metode *Yield Point Spectra* merupakan salah satu metode dalam PBSB yang digunakan untuk mendeskripsikan respon perpindahan puncak dari bangunan tingkat tinggi dan perpindahan daktilitas yang diinginkan pada struktur akibat gempa, dengan syarat dan peraturan untuk desain menggunakan metode ini dimuat dalam FEMA 450. Perhitungan dasar untuk desain menggunakan metode ini sama dengan analisa nonlinear statik, bedanya metode ini bisa digunakan tanpa bantuan program perhitungan struktur sehingga hasil analisa kedua metode ini bisa dibandingkan kecocokannya.

Penelitian dilakukan dengan menggunakan model bangunan 10 lantai sistem SRPMK dengan tambahan *shear wall* pada tiap-tiap sisinya, dan dikerjakan dengan menggunakan parameter-parameter perhitungan yang ada pada Paper 9 (FEMA 750), sedangkan untuk analisa nonlinear statiknya dihitung dengan menggunakan software SAP 2000 versi 14.

Analisa nonlinear statik dengan program SAP 2000 menghasilkan nilai *performance point* pada mesh 15x15 dengan nilai Gaya Geser Dasar ( $V_y$ ) = 5.618,81 kN dan nilai Perpindahan Luluh ( $D_y$ ) = 0,324 pada arah X, nilai Gaya Geser Dasar ( $V_y$ ) = 5.831,22 kN dan nilai Perpindahan Luluh ( $D_y$ ) = 0,345 pada arah Y. Analisa nonlinear statik dengan metode YPS menghasilkan Gaya Geser Dasar ( $V_y$ ) = 4.901,2 kN dan nilai Perpindahan Luluh ( $D_y$ ) = 0,331 pada arah X dan Y, sehingga perlu dengan disesuaikan parameter perhitungan sesuai keadaan gedung sebenarnya.

**Kata kunci :** Yield Point Spectra, Analisa nonlinear statik, Target perpindahan.