

**SKRIPSI**

***PERFORMANCE BASED DESIGN* PADA SISTEM  
GANDA BETON BERTULANG DENGAN DINDING  
STRUKTURAL BENTUK C**



**ANDREAS GUNAWAN  
NPM : 2013410044**

**PEMBIMBING : Dr. Djoni Simanta**

**KO-PEMBIMBING : Altho Sagara, S.T, M.T**

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN  
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 227/BAN-PT/Ak-XVI/S/XI/2013)  
BANDUNG  
JANUARI 2017**

**SKRIPSI**

***PERFORMANCE BASED DESIGN* PADA SISTEM  
GANDA BETON BERTULANG DENGAN DINDING  
STRUKTURAL BENTUK C**



**ANDREAS GUNAWAN  
NPM : 2013410044**

**BANDUNG, JANUARI 2017**

**PEMBIMBING**

**DR. DJONI SIMANTA**

**KO-PEMBIMBING**

**ALTHO SAGARA, S.T., M.T**

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN  
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 227/BAN-PT/Ak-XVI/S/XI/2013)  
BANDUNG  
JANUARI 2017**

## PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama Lengkap : Andreas Gunawan

NPM : 2013410044

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul Performance Based Design pada Sistem Ganda Beton Bertulang dengan Dinding Struktural Bentuk C adalah karya ilmiah yang bebas plagiat. Jika di kemudian hari terdapat plagiat dalam skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Bandung, 11 Januari 2017



Andreas Gunawan

2013410044

# **PERFORMANCE BASED DESIGN PADA SISTEM GANDA BETON BERTULANG DENGAN DINDING STRUKTURAL BENTUK C**

Andreas Gunawan  
NPM : 2013410044

Pembimbing : Dr. Djoni Simanta  
Ko-Pembimbing : Altho Sagara, S.T, M.T

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN  
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
(Terakreditasi Berdasarkan SK-BAN-PT Nomor : 227/BAN-PT/Ak-XVI/S/XI/2013)  
BANDUNG  
JANUARI 2017**

## **ABSTRAK**

Dalam menghadapi guncangan seismik, bangunan harus tetap berkinerja dengan baik meskipun telah melewati kapasitas elastisnya. Untuk itu, tersedia analisis yang dapat digunakan untuk menganalisis perilaku bangunan secara inelastik yaitu *Nonlinear time history analysis*. Dalam studi ini digunakan *Nonlinear Time History Analysis* karena kemampuannya menggambarkan keadaan dinamis yang lebih akurat melalui rekaman gempa yang telah terjadi. Untuk memenuhi persyaratan-persyaratan yang telah ditetapkan, pertama-tama struktur sistem ganda dengan dinding struktural bentuk C didesain sesuai dengan kurva spektrum yang ada. Setelah itu, perlu dilakukan evaluasi dengan menggunakan *Nonlinear Time History Analysis* untuk mengecek apakah desain memenuhi persyaratan setelah menerima beban gempa. Setelah evaluasi dilakukan, dilakukan perubahan desain dan evaluasi ulang sampai bangunan benar-benar dapat memenuhi persyaratan yang ada. Evaluasi dalam studi menggunakan rekaman gempa El Centro, Kobe, dan Northridge dengan perioda ulang 2475 tahun yang diskalakan dengan *first-mode-period scaling*. Hasil dari analisis respons spektrum yang dievaluasi menunjukkan kinerja *Life Safety*. Setelah itu dilakukan *Performance Based Design* untuk mendapatkan kinerja *Immediate Occupancy*. Kinerja tersebut berhasil dicapai dengan merubah ukuran balok, kolom, dinding geser, tulangan, dan konfigurasi pada denah struktur.

Kata Kunci: *Performance Based Design, Nonlinear Time History Analysis, Sistem Ganda.*

# **REINFORCED CONCRETE DUAL SYSTEM WITH C SHAPED STRUCTURAL WALLS PERFORMANCE BASED DESIGN**

Andreas Gunawan  
NPM : 2013410044

Advisor : Dr. Djoni Simanta  
Co-Advisor : Altho Sagara, S.T, M.T

**PARAHYANGAN CATHOLIC UNIVERSITY**  
**DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING**  
(Accredited by SK-BAN-PT Nomor : 227/BAN-PT/Ak-XVI/S/XI/2013)  
**BANDUNG**  
**JANUARY 2017**

## **ABSTRACT**

In case of seismic loads, a structure must perform well even though it has exceeded its linear capacity. Nonlinear Time History Analysis can be used to analyze a structure's nonlinear behavior. Nonlinear Time History Analysis are often used for its capability in representing a more accurate nonlinear dynamic behavior. To satisfy the code, a dual system structure with C shaped shear wall is designed by using a specified design spectrum. To assess its performance, the structure is evaluated by using Nonlinear Time History Analysis. After the performance assessment is done, the structure is redesigned and re-evaluated to ensure that it completely satisfies the performance requirement. El Centro, Kobe, and Northridge earthquake with 2475 years cycle period which is scaled using first-mode-period scaling are used to evaluate the structure. The evaluation carried for the structure designed by Response Spectrum Analysis shows that it satisfies Life Safety Performance. To achieve even greater performance, Immediate Occupancy performance target is set and it is successfully achieved by enhancing the dimension of frame, shear walls, rebars, and its configuration in the structural plan.

*Keywords : Performance Based Design, Nonlinear Time History Analysis, Dual System.*

## PRAKATA

Puji dan syukur pada Tuhan Yesus Kristus atas terselesaikannya sebuah skripsi yang berjudul *Performance Based Design pada Sistem Ganda Beton Bertulang dengan Dinding Struktural Bentuk C* untuk memenuhi salah satu kriteria kelulusan Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan.

Dalam penyusunan skripsi ini banyak hambatan yang dihadapi penulis, tetapi berkat saran, kritik, serta dorongan semangat dari berbagai pihak, skripsi ini dapat diselesaikan. Untuk itu penulis menyampaikan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada :

1. Bapak Dr. Djoni Simanta selaku dosen pembimbing yang telah bersedia memberikan ilmu dan bimbingan bagi penulis sepanjang proses penyusunan skripsi.
2. Bapak Altho Sagara, S.T., M.T., selaku dosen ko-pembimbing yang telah banyak membantu penulis dalam penulisan skripsi ini.
3. Bapak Prof. Bambang Suryoatmono, Ph.D sebagai ketua komunitas bidang ilmu struktur yang telah memberikan izin bagi penulis mengikuti seluruh rangkaian acara seminar.
4. Ibu Lidya Fransisca Tjong, Ir., Bapak Dr. Paulus Karta Widjaja, Ir., M.Sc., M.T., Ibu Sisi Nova Rizkiani, S.T., M.T., Ibu Dr. Cecilia Lauw Giok Swan, Ir., M.Sc. selaku dosen penguji pada seminar judul penulis..
5. Bapak Dr. Johannes Adhijoso Tjondro atas masukan dan ilmu yang berharga bagi penulis dalam menyusun skripsi.

6. Sdri. Crescentia Giovany Berina Suwarlim yang telah mengizinkan penulis memakai model hasil karya beliau sebagai bahan studi dalam skripsi ini.
7. Seluruh dosen dan pekaya Jurusan Teknik Sipil Unpar yang telah membantu penulis dalam banyak hal selama masa-masa perkuliahan.
8. Kedua orangtua tercinta, ci Daisy, dan Kris sebagai keluarga yang telah sekian kali memberikan motivasi untuk terus maju menyelesaikan penulisan skripsi ini.
9. Jerbud dan Sonson, sebagai teman-teman seperjuangan yang telah bersama-sama melewati begitu banyak momen-momen berharga yang tak akan terlupakan oleh penulis.
10. Para anggota Bellboys yang selalu menghadirkan keceriaan yang aneh dan tak terduga terutama di masa-masa yang sulit selama sekian tahun menjalani perkuliahan Teknik Sipil.
11. Teman-teman Teknik Sipil angkatan 2013, yang berjuang bersama-sama menempuh pendidikan di Unpar.
12. Berbagai pihak lainnya yang secara langsung maupun tidak langsung telah berkontribusi atas terselesaikannya skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna, tapi penulis berharap skripsi ini dapat berguna bagi orang yang membacanya

Bandung, Januari 2017

Andreas Gunawan

201341044

## DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
PRAKATA	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xviii
DAFTAR LAMPIRAN	xxi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Inti Permasalahan	2
1.3. Tujuan Penulisan	2
1.4. Pembatasan Masalah	3
1.5. Metode Penelitian	5
1.6. Sistematika Penulisan	6
BAB 2 STUDI PUSTAKA	7
2.1. <i>Performance Based Design</i>	7



2.2. Tingkat Kinerja Struktur	7
2.2.1. <i>Operational</i>	7
2.2.2. <i>Immediate Occupancy</i>	8
2.2.3. <i>Life Safety</i>	8
2.2.4. <i>Collapse Prevention</i>	8
2.3. Kinerja Target	9
2.4. Prosedur Nonlinear Dinamik	10
2.4.1. Ketentuan Gempa Evaluasi Menurut FEMA-356	10
2.4.2. Kenonlinearan Material dan Geometri	11
2.4.3. Kontribusi Beban Gravitasi	12
2.4.4. Pemodelan Komponen Struktur Nonlinear	12
2.4.5. Metoda Integrasi yang Digunakan	15
2.4.6. Vektor Beban Ruang	18
2.4.7. <i>Stiffness and Mass Proportional Damping</i>	19
2.5. Kriteria Penerimaan Kinerja Struktur Menurut ASCE 41-13	20
2.5.1. Kriteria Penerimaan Elemen Menurut ASCE 41-13	20
2.5.2. Kriteria Penerimaan Umum Menurut ASCE 41-13	25
2.6. Mekanisme Keruntuhan Menurut SNI 1726-2002	26
2.7. Sistem Struktur	26
2.7.1. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus	27

2.7.2. Dinding Struktural	27
2.7.3. Sistem Ganda	27
2.8. Peraturan Beban Gempa Berdasarkan SNI 1726:2012	28
2.8.1. Gempa MCER	28
2.8.2. Wilayah Gempa dan Spektrum Respon	28
2.8.3. Pemilihan Sistem Struktur	30
2.8.4. Kombinasi Pembebanan	31
2.8.5. Batasan Simpangan Antar Lantai Tingkat	32
2.9. Rangka Momen Khusus (Special Moment Frame)	33
2.10. Komponen Struktur yang Menerima Kombinasi Lentur dan Beban Aksial pada SRPMK	35
2.11. Dinding Struktural Beton Khusus	38
2.11.1. Tulangan	38
2.11.2. Elemen Pembatas Dinding Khusus	40
2.12. Balok Kopel	43
<b>BAB 3 PERFORMANCE BASED DESIGN</b>	<b>46</b>
3.1. Nonlinear Time History Analysis	46
3.1.1 Penskalaan	47
3.1.2 <i>Initial Condition</i>	48

3.1.3 <i>Time Step</i>	49
3.1.4 Metode yang digunakan dalam <i>Nonlinear Direct Integration</i>	49
3.1.5 <i>Stiffness and Mass Proportional Damping</i>	50
3.2. Pemodelan Kekakuan nonlinear struktur	51
3.2.1. Pemodelan Kekakuan Nonlinear Elemen Balok dan Kolom	55
3.2.2. Balok Kopel	56
3.2.3. Pier	57
BAB 4 STUDI KASUS DAN ANALISIS	58
4.1. Data Bangunan Secara Global	58
4.1.1. Data Bangunan	58
4.1.2. Data Material	59
4.1.3. Pembebanan Statik	59
4.1.4. Beban Gempa	60
4.2. Evaluasi Desain Analisis Respons Spektrum DBE	63
4.2.1. Data Struktur Hasil Analisis Respons Spektrum DBE	63
4.2.2. Penskalaan Gempa	67
4.2.3. Kinerja Umum	69
4.2.4. Kinerja Elemen	72
4.2.5. Mekanisme Keruntuhan	73

4.2.6. Hasil Keseluruhan Evaluasi	81
4.3. Desain dan Evaluasi Hasil Desain Akhir Struktur	83
4.3.1. Perubahan Denah dan Dimensi pada Sistem Struktur	83
4.3.2. Hasil Desain Akhir	87
4.3.3. Penskalaan	90
4.3.4. Kinerja Umum	92
4.3.5. Kinerja Elemen	95
4.3.6. Mekanisme Keruntuhan	96
4.3.7. Hasil Evaluasi Nonlinear Secara Keseluruhan	104
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	105
5.1. Kesimpulan	105
5.2. Saran	107
DAFTAR PUSTAKA	108

## DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

$A_{cw}$	= Luas penampang balok kopel
$A_g$	= Luas gross
$A_v$	= Luas tulangan geser
$A_{cv}$	= Luas Penampang Beton yang Menahan
$A_{sh}$	= Luas penampang total tulangan sengkang persegi
$A_{vd}$	= Luas tulangan geser diagonal
<i>ATC</i>	= <i>Applied Technology Council</i>
<i>BSE-1</i>	= <i>First Basic Safety Objective</i>
<i>BSE-2</i>	= <i>Second Basic Safety Objective</i>
$b_w$	= lebar elemen
<i>C</i>	= <i>Conforming</i>
<i>CP</i>	= <i>Collapse Prevention</i>
$C_s$	= Koefisien Respons Seismik
$C_d$	= Faktor Perbesaran Defleksi
$C$	= Jarak dari serat terluar ke sumbu netral
<i>D</i>	= <i>Dead Load</i>
<i>D-</i>	= Tulangan ulir
$d$	= tinggi efektif penampang
<i>DBE</i>	= <i>Design Basis Earthquake</i>
<i>DL</i>	= <i>Dead Load</i>
<i>E</i>	= Modulus Elastisitas
<i>E</i>	= <i>Earthquake Load</i>
<i>ETABS</i>	= <i>Extended Three-dimensional Analysis of Building Systems</i>
<i>FEMA</i>	= <i>Federal Emergency Management</i>
$F_a$	= Faktor amplifikasi tanah untuk percepatan pada getaran periode pendek
$F_v$	= Faktor amplifikasi tanah untuk percepatan pada getaran periode 1 detik
$f_i(t)$	= Fungsi terhadap waktu
$f_c'$	= Kuat tekan beton
$f_y$	= tegangan leleh

$h_{sx}$	= Tinggi tingkat dibawah tingkat x
$h_w$	=Tinggi dinding keseluruhan atau segmen dinding yang ditinjau
$I$	= Momen Inersia
$I_e$	= Faktor keutamaan gempa
$IO$	= <i>Immediate Occupancy</i>
$K$	= Matriks kekakuan
$LATBSDC$	= <i>Los Angeles Tall Building Structural Design Council</i>
$L_{exp}$	= <i>25% Unreduced Live Load</i>
$LS$	= <i>Life Safety</i>
$LL$	= <i>Live Load</i>
$L_r$	= Roof Live Load
$ln$	= Lebar Bersih
$l_w$	= panjang balok kopel
$M$	= Matriks masa diagonal
$M_u$	= Momen Ultimit
$M_2$	= Momen arah sumbu 2
$M_3$	= Momen arah sumbu 3
$MCE_R$	= Maximum Considered Earthquake
$NDP$	= <i>Nonlinear Dynamic Procedure</i>
$NIST$	= <i>National Institute of Standards and Technology</i>
$NC$	= Non-conforming
$O$	= <i>Operational</i>
$P$	= Gaya Aksial
$PI$	= Indeks plastisitas
$PBD$	= <i>Performance Based Design</i>
$Q$	= Gaya Kuat Geser Rencana
$s$	= Jarak tulangan transversal
$S_1$	= Parameter percepatan spektrum respons $MCE_R$ perioda 1 detik
$SEAOC$	= <i>Structural Engineers Association of California</i>
$SLE-43$	= <i>Serviceabilty level Earthquake with 43 years return period</i>
$SLE-25$	= <i>Serviceabilty level Earthquake with 25 years return period</i>

$S_{M1}$	= Parameter respons spektral percepatan gempa $MCE_R$ terpetakan pada periode 1 detik, dengan amplifikasi
$S_{MS}$	= Parameter respons spektral percepatan gempa $MCE_R$ terpetakan pada periode pendek, dengan amplifikasi
SNI	= Standar Nasional Indonesia
SRPMB	= Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa
SRPMM	= Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah
SRPMK	= Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus
SRSS	= <i>Square Root of the Sum of Squares</i>
$S_s$	= Parameter percepatan spektrum respons $MCE_R$ periode pendek
$T$	= <i>Perioda Fundamental Bangunan</i>
$t_w$	= tebal balok kopel
$u$	= Peralihan struktur
$\dot{u}$	= Kecepatan struktur
$\ddot{u}$	= Percepatan struktur
$V$	= Gaya Geser
$V_u$	= Gaya Geser Ultimit
$W$	= <i>Wind Load</i>
$WCEE$	= <i>World Conference of Earthquake Engineering</i>
$\alpha$	= Sudut antara batang tulangan diagonal dan sumbu longitudinal
$\Delta$	= Deformasi
$\delta_u$	= Peralihan rencana
$\varepsilon$	= Regangan
$\xi$	= Redaman
$\emptyset$	= Tulangan polos
$\theta$	= Rotasi
$\theta_y$	= Rotasi plastis
$\rho$	= Rasio tulangan tarik
$\rho'$	= Rasio tulangan tekan
$\rho_{bal}$	= Rasio tulangan dengan regangan seimbang
$\Omega_0$	= Koefisien kuat lebih

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 kinerja bangunan berdasarkan <i>Vision 2000</i> SEAOC (1995)	1
Gambar 1.2 Tampak 3 Dimensi Model Awal	4
Gambar 1.3 Denah Tipikal Model Awal	4
Gambar 1.4 Tampak Elevasi A,B,G,H	4
Gambar 1.5 Tampak Elevasi C dan F	4
Gambar 1.6 Tampak Elevasi D dan E	4
Gambar 1.7 Tampak Elevasi 1,2,5,6	4
Gambar 1.8 Tampak Elevasi 3 dan 4	4
Gambar 1.9 Diagram Alir Studi <i>Performance Based Design</i>	5
Gambar 2.1 Tipe-tipe pemodelan komponen struktur nonlinear (NIST 2010d)	13
Gambar 2.2 kurva Hubungan Gaya-Deformasi Nonlinear untuk Respons Komponen (ASCE41-13)	14
Gambar 2.3 kurva monotonk versus <i>cyclic response envelope</i> (ATC, 2010)	15
Gambar 2.4 koordinat sistem beban akselerasi (CSI Analysis Reference)	19
Gambar 2.5 Contoh Redaman Rayleigh (FEMA-750P)	20
Gambar 2.6 Mekanisme Keruntuhan Ideal Suatu Struktur Gedung dengan Sendi Plastis Terbentuk pada Ujung-Ujung Balok, Kaki Kolom (SNI 1726-2002)	26
Gambar 2.7 Dimensi Balok dan Tulangan Transversal pada Balok (ACI318-11)	35
Gambar 2.8 Persyaratan Tulangan Transversal Kolom (ACI 318-11)	37



Gambar 2.9 Tulangan Pengekang pada Elemen Batas Dinding Struktural (kiri) dan Tulangan Longitudinal Dinding Struktural (kanan) (ACI 318-11)	42
Gambar 2.10 Tulangan Pengekang Diagonal Balok Kopel (ACI 318-11)	44
Gambar 3.1 Nonlinear Direct Integration dalam program ETABS	46
Gambar 3.2 Contoh Data Akselerasi Gempa, Gempa Kobe	47
Gambar 3.3 <i>Fast Fourier Transform</i> (kiri), Hasil <i>First Period Scale</i> (kanan)	47
Gambar 3.4 <i>First-Mode-Period Matching</i> , hasil SF1 dan SF2	48
Gambar 3.5 Opsi untuk Kondisi awal pada ETABS	48
Gambar 3.6 Beban Gravitasi sebagai kondisi awal	49
Gambar 3.7 Integrasi Hilber-Hughes-Taylor dalam ETABS	50
Gambar 3.8 Menghitung <i>Proportional Damping</i> dalam ETABS	50
Gambar 3.9 <i>Elastic Hysteresis Model</i>	51
Gambar 3.10 <i>Kinematic Hysteresis Model</i>	51
Gambar 3.11 <i>Degrading Hysteresis Model</i>	52
Gambar 3.12 <i>Takeda Hysteresis Model</i>	52
Gambar 3.13 <i>Pivot Hysteresis Model</i>	53
Gambar 3.14 <i>Concrete Hysteresis Model</i>	53
Gambar 3.15 <i>BRB Hardening Steel</i>	54
Gambar 3.16 <i>Isotropic Hysteresis Model</i>	54
Gambar 3.17 pemasangan sendi plastis pada ujung-ujung kolom	55

Gambar 3.18 Sendi Plastis Default Menurut ASCE 41-13	55
Gambar 3.19 Sendi Plastis Default	56
Gambar 3.20 Sendi Plastis Geser Balok Kopel ASCE 41-13	56
Gambar 3.21 Kurva Tegangan Regangan Material <i>Confined</i>	57
Gambar 3.22 Definisi Penampang fiber	57
Gambar 3.23 Penampang Fiber	57
Gambar 4.1 Parameter Respons Spektrum MCE Target Bandung Tanah Keras	61
Gambar 4.2 Respons Spektrum Target Gempa Perioda Ulang 2%/50 Tahun	61
Gambar 4.3 Akselerasi Gempa El Centro	62
Gambar 4.4 Akselerasi Gempa Kobe	62
Gambar 4.5 Akselerasi Gempa Northridge	62
Gambar 4.6 Denah Tipikal Desain Awal	63
Gambar 4.7 Dimensi Dinding Struktural Lantai 1 s.d. 5	64
Gambar 4.8 Dimensi Dinding Struktural Lantai 5 s.d. 10	64
Gambar 4.9 Dimensi Dinding Struktural Lantai 11 s.d. 20	64
Gambar 4.10 Potongan A-A Tampak Dinding Struktural	64
Gambar 4.11 Penampang Pier Dinding Struktural dengan Boundary Zone	66
Gambar 4.12 Denah Dinding Struktural dengan Tulangan Terpasang	67
Gambar 4.13 Arah Mode dan Perioda Struktur T1 sampai dengan T6	67
Gambar 4.14 Simpangan antar tingkat sumbu X hasil desain spektrum DBE	71

Gambar 4.15 Simpangan antar tingkat sumbu Y hasil desain Spektrum DBE	71
Gambar 4.16 Posisi P1 dan P2 pada lantai 1 dan 2	74
Gambar 4.17 Tinjauan Keruntuhan Dinding Geser pada Lantai 1 dan 2	74
Gambar 4.18 Diagram Interaksi P dan M, P1 arah X Lantai 1	75
Gambar 4.19 Diagram Interaksi P dan M, P2 arah X Lantai 1	76
Gambar 4.20 Diagram Interaksi P dan M, P1 dan P2 arah Y Lantai 1	77
Gambar 4.21 Diagram Interaksi P dan M, P1 Lantai 2 arah X	78
Gambar 4.22 Diagram Interaksi P dan M, P2 Lantai 2 arah X	79
Gambar 4.23 Diagram Interaksi P dan M, P1 dan P2 Lantai 2 arah Y	80
Gambar 4.24 Denah Tipikal Struktur Desain Akhir	83
Gambar 4.25 Dimensi Kolom dan Tebal Dinding Geser yang Dipakai	83
Gambar 4.26 Dimensi Dinding Geser lantai 1 s.d. lantai 5	84
Gambar 4.27 Dimensi Dinding Geser lantai 6 s.d. lantai 10	84
Gambar 4.28 Dimensi Dinding Geser Lantai 11 s.d Lantai 20	84
Gambar 4.29 Tampak Muka Dinding Geser	84
Gambar 4.30 Penampang Dinding Geser yang Dipakai	89
Gambar 4.31 Dinding Geser dengan Boundary Zone	89
Gambar 4.32 Mode dan Perioda Hasil Desain Akhir T1 sampai dengan T6	90
Gambar 4.33 Simpangan Antar Tingkat Sumbu X Hasil Desain Akhir	94
Gambar 4.34 Simpangan Antar Tingkat Sumbu Y Hasil Desain Akhir	94

Gambar 4.35 Posisi P1 dan P2 pada lantai 1 dan 2 pada Hasil Desain Akhir	97
Gambar 4.36 Keruntuhan Dinding Geser pada hasil Desain Akhir	97
Gambar 4.37 Diagram Interaksi P dan M, P1 arah X Lantai 1	98
Gambar 4.38 Diagram Interaksi P dan M, P2 arah X Lantai 1	99
Gambar 4.39 Diagram Interaksi P dan M, P1 dan P2 arah Y Lantai 1	100
Gambar 4.40 Diagram Interaksi P dan M, P1 Lantai 2 arah X	101
Gambar 4.41 Diagram Interaksi P dan M, P2 Lantai 2 arah X	102
Gambar 4.42 Diagram Interaksi P dan M, P1 dan P2 Lantai 2 arah Y	103

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kinerja Target dan Tingkat Bahaya Gempa (FEMA-356)	9
Tabel 2.2 Tingkatan Bahaya Gempa dan Periode Ulang (FEMA-356)	9
Tabel 2.3 Kriteria Penerimaan untuk Elemen Balok Beton Bertulang Terkontrol Lentur (ASCE 41-13)	21
Tabel 2.4 Kriteria Penerimaan Elemen Kolom Beton Bertulang (ASCE 41-13)	22
Tabel 2.5 Kriteria Penerimaan untuk Komponen Balok Kopel dengan Kontrol Kegagalan Lentur (ASCE 41-13)	23
Tabel 2.6 Kriteria Penerimaan Balok Kopel dengan Kontrol Kegagalan Geser (ASCE 41-13)	24
Tabel 2.7 Kinerja Umum untuk Struktur Beton Bertulang (FEMA-356)	25
Tabel 2.8 Koefisien situs, $F_a$	30
Tabel 2.9 Koefisien situs, $F_v$	30
Tabel 2.10 Faktor $R$ , $C_d$ , dan $\Omega_o$ , untuk penahan gaya seismik	31
Tabel 2.11 Simpangan antar lantai ijin	32
Tabel 4.1 Tulangan Terpasang Balok Anak	65
Tabel 4.2 Tulangan Terpasang Balok Induk	65
Tabel 4.3 <i>Tulangan Kolom Terpasang</i>	66
Tabel 4.4 Tulangan Dinding Struktural Terpasang Pier 1 Boundary Zone	66
Tabel 4.5 Tulangan Longitudinal Terpasang pada Pier 2 s.d 4	66
Tabel 4.6 Penskalaan Gempa dengan First-Mode-Period Matching	68

Tabel 4.7 <i>Proportional Damping</i> Hasil Desain Awal	68
Tabel 4.8 Simpangan antar tingkat arah sumbu X hasil desain spektrum DBE	69
Tabel 4.9 Simpangan Antar Tingkat arah sumbu Y hasil desain spektrum DBE	70
Tabel 4.10 Simpangan atap hasil desain spektrum DBE	72
Tabel 4.11 Kinerja Frame Element Hasil Analisis Respons Spektrum	73
Tabel 4.12 Cek Sendi Plastis pada Frame	73
Tabel 4.13 Gaya Dalam pada Pier P1 Lantai 1 akibat Gempa arah X	75
Tabel 4.14 Gaya Dalam pada Pier P2 Lantai 1 akibat Gempa arah X	76
Tabel 4.15 Gaya Dalam pada Pier P1 dan P2 Lantai 1 akibat Gempa arah Y	77
Tabel 4.16 Gaya Dalam pada Pier P1 Lantai 2 akibat Gempa arah X	78
Tabel 4.17 Gaya Dalam pada Pier P2 Lantai 2 akibat Gempa arah X	79
Tabel 4.18 Gaya Dalam pada Pier P1 dan P2 Lantai 2 akibat Gempa arah Y	80
Tabel 4.19 Mekanisme Keruntuhan Dinding Geser	81
Tabel 4.20 Hasil Evaluasi Nonlinear Desain Awal	81
Tabel 4.21 Distribusi Gaya Gempa pada Frame dan Wall	85
Tabel 4.22 Input Tulangan Longitudinal Balok Induk untuk Analisis Nonlinear	87
Tabel 4.23 Input Tulangan Longitudinal Balok Anak untuk Analisis Nonlinear	88
Tabel 4.24 Input Tulangan Longitudinal Balok Kopel untuk Analisis Nonlinear	88
Tabel 4.25 Input Tulangan Pakai Kolom untuk Analisis Nonlinear	88
Tabel 4.26 Tulangan Dinding Geser dengan Boundary Zone	89

Tabel 4.27 Tulangan Dinding Tanpa Boundary Zone	89
Tabel 4.28 Penskalaan Gempa dengan First-Mode-Period Matching	91
Tabel 4.29 Proportional Damping	91
Tabel 4.30 Simpangan antar Tingkat Arah Sumbu X Hasil Desain Akhir	92
Tabel 4.31 Simpangan antar Tingkat Arah Sumbu Y Hasil Desain Akhir	93
Tabel 4.32 Simpangan Atap Hasil Desain Akhir	95
Tabel 4.33 Kinerja Elemen Hasil Desain Akhir	95
Tabel 4.34 Waktu Terjadi Sendi Plastis pada Frame Hasil Desain Akhir	96
Tabel 4.35 Gaya Dalam pada Pier P1 Lantai 1 akibat Gempa arah X	98
Tabel 4.36 Gaya Dalam pada Pier P2 Lantai 1 akibat Gempa arah X	99
Tabel 4.37 Gaya Dalam pada Pier P1 dan P2 Lantai 1 akibat Gempa arah Y	100
Tabel 4.38 Gaya Dalam pada Pier P1 Lantai 2 akibat Gempa arah X	101
Tabel 4.39 Gaya Dalam pada Pier P2 Lantai 2 akibat Gempa arah X	102
Tabel 4.40 Gaya Dalam pada Pier P1 dan P2 Lantai 2 akibat Gempa arah Y	103
Tabel 4.41 Mekanisme Keruntuhan Dinding Geser	104
Tabel 4.42 Hasil Evaluasi Nonlinear Hasil Desain Akhir	104
Tabel 5.1 Perbandingan Hasil Evaluasi Desain Awal dan Akhir	105
Tabel 5.2 Perbandingan Distribusi Gaya Gempa	106
Tabel 5.3 Selisih D/C yang dihasilkan	106

## DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 Denah Struktur Model Awal	110
LAMPIRAN 2 Element Performance Check hasil Desain Awal	124
LAMPIRAN 3 Perhitungan Distribusi Gaya Gempa dan Faktor Skala untuk Model Awal (kurva DBE)	138
LAMPIRAN 4 Perhitungan Distribusi Gaya Gempa dan Faktor Skala untuk Model Akhir (kurva DBE)	143
LAMPIRAN 5 Denah Model Hasil Desain Akhir	147
LAMPIRAN 6 Performance Check Desain Akhir terhadap Kinerja IO	161
LAMPIRAN 7 Desain dengan Analisis Respons Spektrum MCE	175



# BAB 1

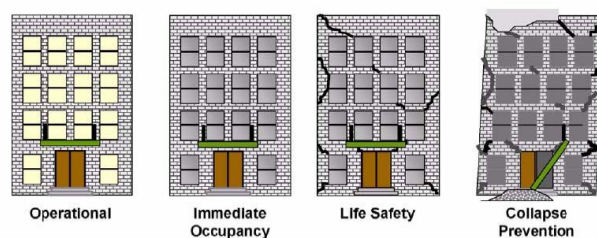
## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Salah satu metode yang disyaratkan oleh peraturan untuk analisis struktur terhadap beban gempa adalah analisis respons spektrum. Desain menggunakan respons spektrum menganalisis bangunan secara linier dengan menggunakan gempa desain. Dalam desain berdasarkan peraturan ini, bangunan diasumsikan berperilaku linear.

Namun, ketika menghadapi guncangan seismik yang besar, sebuah struktur bangunan berpotensi mencapai kelelahan. Salah satu analisis yang mampu memperhitungkan adanya kelelahan material adalah *Nonlinear Time History Analysis*. Metode ini dapat digunakan dalam konsep *Performance Based Design*, yaitu suatu konsep desain bahwa sebuah bangunan harus mampu memenuhi kriteria kinerja tertentu sesuai persyaratan sebagai berikut.

- 1) Gempa skala kecil (skala 4 s.d. 4,9) tanpa kerusakan (*Operational*)
- 2) Gempa skala menengah (skala 5 s.d. 5,9) tanpa kerusakan struktural (*Immediate Occupancy*)
- 3) Gempa skala besar (skala 6 s.d. 6,9) dengan kerusakan struktural dan kerusakan nonstruktural namun menjamin keselamatan jiwa (*Life Safety*)
- 4) Gempa skala sangat besar (skala 7 s.d. 7,9) tanpa keruntuhan. (*Collapse Prevention*)



**Gambar 1.1** kinerja bangunan berdasarkan *Vision 2000* SEAOC (1995)

Persyaratan-persyaratan tersebut, yakni *Operational (O)*, *Immediate Occupancy (IO)*, *Life Safety (LS)*, dan *Collapse Prevention (CP)*, merupakan standar-standar struktur berdasarkan perilaku inelastik struktur terhadap beban gempa. Maka dari itu, untuk memenuhi persyaratan desain berdasarkan peraturan dan persyaratan *performance based design* pertama-tama bangunan didesain sesuai dengan kurva spektrum desain. Setelah itu, perlu dilakukan evaluasi dengan menggunakan Nonlinear Time History Analysis untuk mengecek apakah desain memenuhi persyaratan setelah menerima beban gempa. Setelah evaluasi dilakukan, akan dilakukan perubahan desain sampai bangunan benar-benar dapat terevaluasi memenuhi standar yang ada.

## **1.2. Inti Permasalahan**

Sebuah sistem ganda beton bertulang harus didesain agar memenuhi persyaratan desain berdasarkan peraturan dan juga persyaratan perilaku inelastis. Maka, pertama struktur didesain dengan menggunakan spektrum desain. Kemudian dilakukan evaluasi analisis nonlinear riwayat waktu untuk memastikan bahwa persyaratan nonlinear tercapai.

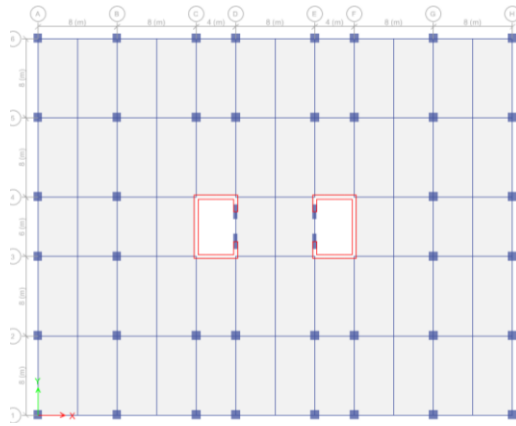
## **1.3. Tujuan Penulisan**

Tujuan dari studi ini adalah mengevaluasi secara nonlinear model hasil analisis respons spektrum dan berdasarkan hasil evaluasi tersebut menghasilkan suatu desain yang baru yang dapat menghasilkan kinerja nonlinear tertentu.

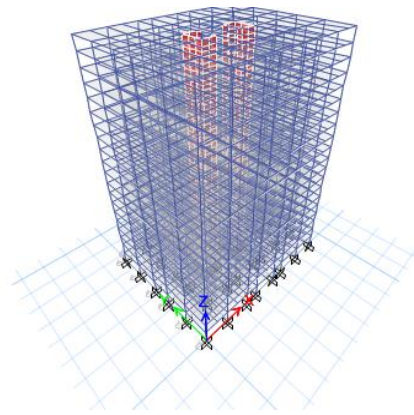
#### 1.4. Pembatasan Masalah

Pembatasan masalah dalam studi adalah sebagai berikut :

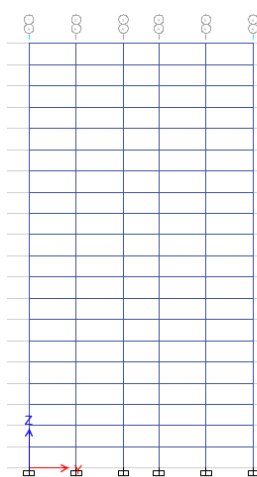
- a. Pemodelan gedung menggunakan model hasil analisis respons spektrum dari skripsi “Analisis Inelastik Nonlinear Bangunan Gedung Sistem Ganda Beton Bertulang dengan Dinding Struktural Bentuk C” (pengarang: Suwarlim, Crescentia Giovany Berina).
- b. Kinerja yang diharapkan adalah *Immediate Occupancy*
- c. Bangunan gedung 20 lantai dengan tinggi antar tingkat 3,6 m sehingga tinggi total bangunan adalah 72 m.
- d. Bangunan didirikan di atas tanah keras di Bandung.
- e. Fungsi bangunan adalah perkantoran.
- f. Perencanaan terhadap gempa menggunakan SNI 1726:2012.
- g. Lantai bangunan dimodelkan sebagai diafragma kaku.
- h. Model struktur tanpa basement sehingga struktur dimodelkan dengan model jepit pada tanah dasar.
- i. Pemodelan sendi plastis pada balok dan kolom mengikuti default ETABS.
- j. Pemodelan nonlinier pada dinding struktural menggunakan penampang fiber.
- k. Pemodelan, analisis linier dan nonlinear dilakukan dengan program ETABS.
- l. Penskalaan gempa untuk evaluasi nonlinear dilakukan dengan EQ Tools.
- m. Pemodelan gedung portal beton bertulang dengan dinding struktural dapat dilihat pada gambar 1.2 s.d 1.8



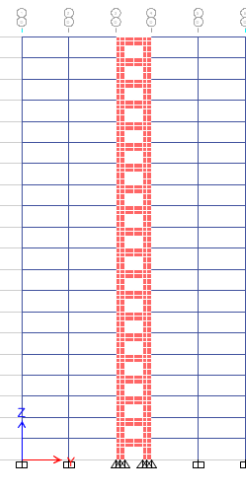
**Gambar 1.3** Denah Tipikal Model Awal



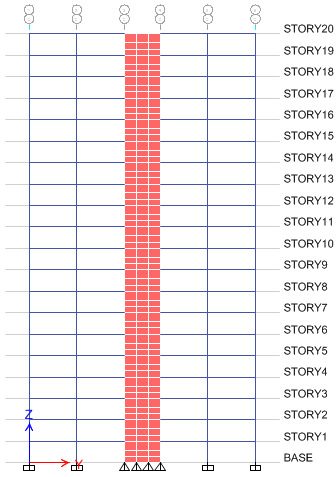
**Gambar 1.2** Tampak 3 Dimensi Model Awal



**Gambar 1.4** Tampak Elevasi A,B,G,H



**Gambar 1.5** Tampak Elevasi C dan F



**Gambar 1.6** Tampak Elevasi D dan E



**Gambar 1.7** Tampak Elevasi 1,2,5,6



**Gambar 1.8** Tampak Elevasi 3 dan 4

## 1.5. Metode Penelitian

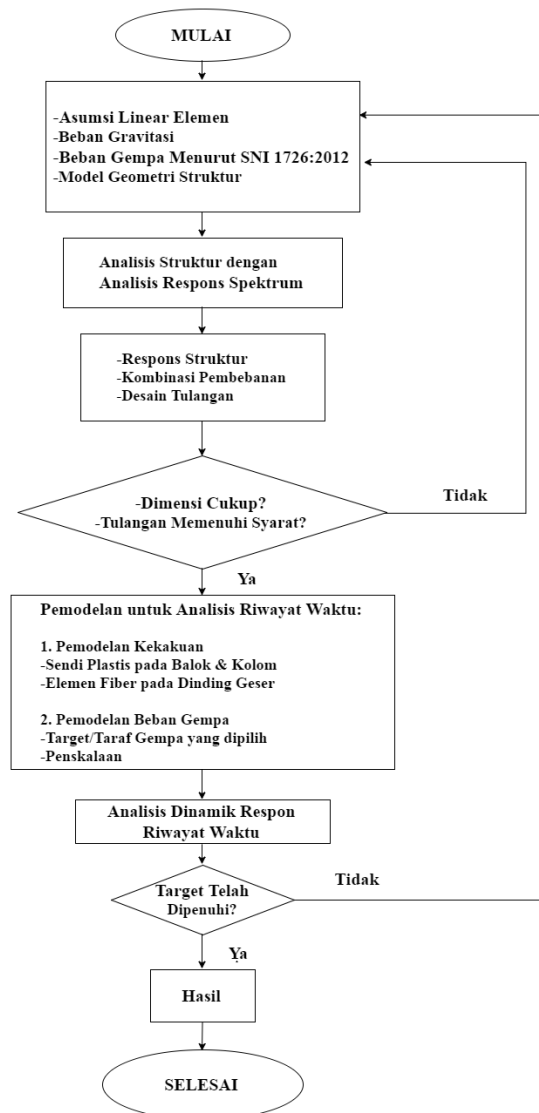
Metode penelitian yang digunakan:

### 1. Studi Pustaka

Landasan teori bersumber dari buku-buku pustaka, paper, dan peraturan.

### 2. Studi Analisis

Desain linier (analisis respons spektrum) dan nonlinier (*Nonlinear Time History Analysis*) dilakukan dengan program ETABS. Langkah-langkah pemodelan dilakukan dengan diagram alur sebagai berikut :



**Gambar 1.9** Diagram Alir Studi *Performance Based Design*

## **1.6. Sistematika Penulisan**

### **BAB 1 PENDAHULUAN**

Bab ini berisi tentang latar belakang, inti permasalahan, tujuan penelitian, pembatasan masalah, metode penelitian, dan sistematika penulisan skripsi.

### **BAB 2 STUDI PUSTAKA**

Bab ini berisi tentang studi literatur mengenai teori dasar dan peraturan yang digunakan dalam penyusunan skripsi ini.

### **BAB 3 *PERFORMANCE BASED DESIGN***

Bab ini berisi tentang pemodelan *performance based design* yang dilakukan di dalam program ETABS

### **BAB 4 STUDI KASUS DAN ANALISIS**

Bab ini berisi tentang data-data struktur yang akan diuji dan akan ditingkatkan kinerjanya dengan *Performance Based Design* serta hasil-hasil dari analisis yang dilakukan

### **BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran berdasarkan penelitian yang telah dilakukan.