

SKRIPSI

**STUDI RESPONS INELASTIS STRUKTUR RANGKA
BETON BERTULANG DENGAN
KETIDAKBERATURAN GEOMETRI VERTIKAL**



**BOBBY CHRISTIAN
NPM : 2013410024**

PEMBIMBING : Dr. Johannes Adhijoso Tjondro

**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

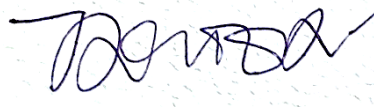
**STUDI RESPONS INELASTIS STRUKTUR RANGKA
BETON BERTULANG DENGAN
KETIDAKBERATURAN GEOMETRI VERTIKAL**



**BOBBY CHRISTIAN
NPM : 2013410024**

BANDUNG, 10 JANUARI 2017

PEMBIMBING



Dr. Johannes Adhijoso Tjondro

**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**

STUDI RESPONS INELASTIS STRUKTUR RANGKA BETON BERTULANG DENGAN KETIDAKBERATURAN GEOMETRI VERTIKAL

Bobby Christian
NPM : 2013410024

Pembimbing : Dr. Johannes Adhijoso Tjondro

**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

Fenomena gempa bumi mendorong adanya perhatian khusus terhadap perencanaan struktur gedung tahan gempa di Indonesia. Perilaku gedung saat menerima beban gempa tidak hanya bersifat elastis, tetapi juga bersifat inelastis. Oleh karena itu, dilakukan analisis inelastis nonlinear dengan metode analisis riwayat waktu untuk mengevaluasi respons inelastis dari suatu struktur. Studi ini meneliti struktur rangka beton bertulang dengan sistem SRPMK berjumlah 12 lantai. Terdapat 3 jenis model yang digunakan, yaitu satu model bangunan utuh dengan tiga bentang dan dua model dengan bentang yang memiliki perbedaan dimensi horisontal atau biasa disebut *setback*. Rekaman percepatan gempa yang digunakan adalah El Centro N-S 1940, Flores 1992, dan Denpasar 1979 dengan bantuan perangkat lunak ETABS 16.0.2. Dari hasil analisis riwayat waktu diketahui bahwa simpangan antar lantai untuk ketiga model akibat semua percepatan gempa tidak melebihi batasan yang disyaratkan dalam peraturan SNI 1726:2012. Besarnya rotasi sendi plastis pada balok dan kolom termasuk dalam taraf kinerja *Life Safety*. Sendi plastis pada kolom terjadi pada lantai di mana terjadi perubahan dimensi horisontal (*setback*) tetapi masih berada di batas aman (*Life Safety*). Faktor kuat lebih sistem struktur yang didapatkan lebih kecil dari nilai faktor kuat lebih pada SNI 1726:2012, yaitu lebih kecil dari 3,0.

Kata kunci: Analisis riwayat waktu, respons inelastis, ketidakberaturan geometri vertikal, sendi plastis.

INELASTIC RESPONSE STUDY OF REINFORCED CONCRETE FRAME WITH VERTICAL GEOMETRIC IRREGULARITY

Bobby Christian
NPM : 2013410024

Advisor : Dr. Johannes Adhijoso Tjondro

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

Earthquakes push a special attention in the design process of earthquake resistant structures in Indonesia. Building behavior under seismic load is not only elastic, but also inelastic. Therefore, inelastic nonlinear analysis is performed to evaluate inelastic response of structures. This study observes reinforced concrete SMRF of 12 floors building. There are three models will be observed, one regular building with three span and two buildings with difference of horizontal dimension or called setback. Earthquake accelerograms used are El Centro N-S 1940, Flores 1992, and Denpasar 1979 using ETABS 16.0.2. Time history analysis result show that interstory drift of three models caused by all earthquake accelerograms do not exceed the limit which is specified in the regulation SNI 1726:2012. The value of plastic hinge rotation at beams and columns is included in the Life Safety performance level. Plastic hinges at columns occurred on the floor where there is a setback on horizontal dimension, but still in the Life Safety performance level. Overstrength factor of this structure is less than 3, which is specified in SNI 1726:2012.

Keywords: Time history analysis, inelastic response, vertical geometric irregularity, plastic hinge.

PRAKATA

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas kasih karunia, berkat dan anugerahNya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul *Studi Respons Inelastis Struktur Rangka Beton Bertulang Dengan Ketidakberaturan Geometri Vertikal*. Skripsi ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi program sarjana di Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan.

Dalam penyusunan skripsi ini penulis mendapatkan saran, kritik, serta dorongan semangat dari berbagai pihak sehingga skripsi ini dapat diselesaikan. Untuk itu penulis ingin menyampaikan terima kasih sedalam-dalamnya kepada:

1. Dr. Johannes Adhijoso Tjondro, selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan menyediakan waktu demi terwujudnya skripsi ini.
2. Dr. Paulus Karta Wijaya selaku dosen penguji yang telah memberikan banyak masukan.
3. Dr. Djoni Simanta selaku dosen penguji yang telah memberikan banyak masukan.
4. Seluruh civitas akademika Program Studi Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan yang telah mendukung penulis dalam proses pembelajaran.
5. Kedua orang tua dan adik yang memberikan dukungan dalam doa dan kasih sayang kepada penulis.
6. Teman-teman satu bimbingan skripsi, Ardi Susanto dan Alvianti atas kebersamaannya dalam penyusunan skripsi.
7. Seluruh mahasiswa angkatan 2013 Program Studi Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan yang telah melewati proses perkuliahan bersama-sama.
8. Semua pihak yang telah memberikan dukungan secara langsung maupun tidak langsung

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna dikarenakan keterbatasan waktu dan kemampuan penulis. Oleh karena itu penulis menerima

dengan senang hati bila ada saran dan kritik yang membangun. Penulis juga berharap skripsi ini dapat berguna bagi setiap pihak yang membacanya, khususnya di bidang Teknik Sipil.

Bandung, 10 Januari 2017

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Bobby Christian', is centered on the page. The signature is fluid and cursive, with a large initial 'B'.

Bobby Christian
NPM : 2013410024

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama lengkap : Bobby Christian

NPM : 2013410024

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul *Studi Respons Inelastis Struktur Rangka Beton Bertulang Dengan Ketidakberaturan Geometri Vertikal* adalah karya ilmiah yang bebas plagiat. Jika dikemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Bandung, 10 Januari 2017



Bobby Christian

NPM : 2013410024

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
PRAKATA	iii
PERNYATAAN	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
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 Penulisan	5
1.6 Sistematika Penulisan	6
BAB 2 STUDI PUSTAKA	7
2.1 Peraturan Ketahanan Gempa berdasarkan SNI 1726:2012	7
2.1.1. Gempa Rencana	7
2.1.2. Faktor Keutamaan dan Kategori Risiko Struktur Bangunan	7
2.1.3. Klasifikasi Situs	8
2.1.4. Wilayah Gempa dan Spektrum Respons	11
2.1.5. Parameter Percepatan Spektral Desain	12

2.1.6.	Spektrum Respons Desain	12
2.1.7.	Kategori Desain Seismik	14
2.1.8.	Pemilihan Sistem Struktur	14
2.1.9.	Redundansi	15
2.1.10.	Kombinasi Pembebanan	16
2.1.11.	Pengaruh Beban Gempa, E	16
2.2	Struktur Bangunan Gedung Beraturan dan Tidak Beraturan	17
2.2.1.	Ketidakteraturan Horisontal	18
2.2.2.	Ketidakteraturan Vertikal	18
2.2.3.	Arah Pembebanan	19
2.2.4.	Prosedur analisis	20
2.2.5.	Pemodelan Struktur	21
2.3	Analisis Gaya Lateral Ekuivalen	21
2.3.1.	Geser Dasar Seismik	21
2.3.2.	Berat Seismik Efektif	21
2.3.3.	Perhitungan Koefisien Respons Seismik	22
2.3.4.	Penentuan Perioda	23
2.4	Analisis Spektrum Respons Ragam	24
2.4.1.	Jumlah Ragam	24
2.4.2.	Parameter Respons Ragam	24
2.4.3.	Parameter Respons Terkombinasi	24
2.4.4.	Skala Nilai Desain Untuk Respons Terkombinasi	25
2.4.5.	Batasan Simpangan Antar Lantai Tingkat	25
2.5	Analisis Respons Riwayat Waktu Nonlinier	27
2.5.1.	Pemodelan	27
2.5.2.	Gerak Tanah dan Pembebanan	28

2.5.3.	Parameter Respons	30
2.6	Perencanaan SRPMK berdasarkan SNI 2847:2013	30
2.6.1.	Persyaratan Komponen Struktur Lentur SRPMK	31
2.6.2.	Persyaratan Komponen Struktur Lentur dan Aksial SRPMK	33
2.7	Peraturan Pembebanan Berdasarkan SNI 1727:2013	35
2.7.1.	Beban Mati	35
2.7.2.	Beban Hidup	35
2.7.3.	Beban Gempa	36
2.8	Perilaku Nonlinear Struktur	36
2.9	Analisis Nonlinear Integrasi Langsung	38
2.9.1.	Integrasi Waktu Newmark	38
2.9.2.	Redaman Rayleigh	40
2.10	Desain Struktur Berbasis Kinerja	41
2.11	Tingkat Kinerja Struktur	43
2.12	Metode Analisis terhadap Beban gempa	44
2.13	Sendi Plastis	46
BAB 3 PERENCANAAN STRUKTUR		48
3.1	Data Bangunan	48
3.2	Data Material	49
3.3	Data Pembebanan	49
3.3.1.	Beban Mati	50
3.3.2.	Beban Hidup	50
3.3.3.	Kombinasi Pembebanan	50
3.4	Dimensi Penampang	51
3.5	Pemeriksaan Ketidakberaturan Geometri Vertikal	51
3.6	Pemeriksaan Ketidakberaturan Horisontal	53

3.7	Hasil desain	55
3.7.1.	Desain Balok dan Kolom Model A	56
3.7.2.	Desain Balok dan Kolom Model B	67
3.7.3.	Desain Balok dan Kolom Model C	78
BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN		89
4.1	Analisis Dinamik Riwayat Waktu	89
4.1.1.	Percepatan Gempa	89
4.2	Hasil Analisis Dinamik Riwayat Waktu	91
4.2.1.	Peralihan Lantai Maksimum	91
4.2.2.	Simpangan Antar Lantai	95
4.2.3.	Rotasi Sendi Plastis	101
4.2.4.	Penyebaran Sendi Plastis	105
4.2.5.	Gaya Geser Dasar	114
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		116
5.1	Kesimpulan	116
5.2	Saran	117
DAFTAR PUSTAKA		118
LAMPIRAN		119

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

A_g	= Luas bruto penampang beton
A_{sh}	= Luas penampang total tulangan transversal
A_{smin}	= Luas tulangan minimum
A_{st}	= Luas tulangan longitudinal
b_w	= Lebar balok
C	= Matriks redaman
C_d	= Faktor pembesaran defleksi
C_t	= Parameter untuk menentukan periode fundamental struktur
d	= Jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tarik
d_i	= Tebal lapisan antara kedalaman 0 sampai 30 meter
E	= Modulus elastisitas
E_X	= Beban gempa dalam arah X
E_Y	= Beban gempa dalam arah Y
F	= Beban yang diberikan
F_a	= Fakor amplifikasi getaran terkait percepatan untuk periode pendek
f_c'	= Kuat tekan beton
F_v	= Fakor amplifikasi getaran terkait percepatan untuk periode panjang
f_y	= Kuat leleh tulangan longitudinal
f_{ys}	= Kuat leleh tulangan transversal
g	= Percepatan gravitasi
h_{sx}	= Tinggi tingkat di bawah tingkat x
h_x	= Spasi horisontal kaki-kaki sengkang tertutup atau sengkang
I_e	= Faktor keutamaan gedung
K	= Matriks kekakuan
l_n	= Bentang bersih untuk komponen struktur
M	= Matriks massa
M_{nb}	= Kuat lentur nominal balok
M_{nc}	= Kuat lentur nominal kolom
M_2	= Momen arah sumbu global 2
M_3	= Momen arah sumbu global 3

\bar{N}	= Tahanan penetrasi standar lapangan rata-rata
\bar{N}_{ch}	= Tahanan penetrasi standar rata-rata untuk lapisan tanah non-kohefif
P_u	= Gaya tekan aksial terfaktor pada komponen struktur
Q_E	= Gaya gempa
R	= Faktor modifikasi respons
s	= Spasi tulangan transversal komponen struktur
S_1	= Percepatan batuan dasar pada periode 1 detik
S_a	= Parameter percepatan respons spektral spesifik pada periode tertentu
S_{D1}	= Parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik
S_{DS}	= Parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek
S_{M1}	= Parameter percepatan respons spektral MCE pada periode 1 detik yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs
S_{MS}	= Parameter percepatan respons spektral MCE pada periode pendek yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs
S_s	= Percepatan batuan dasar pada perioda pendek
\bar{s}_u	= Kuat geser niralir rata-rata
s_{ui}	= Kuat geser niralir (kPa) dengan nilai tidak lebih dari 250 kPa
s_x	= Spasi longitudinal tulangan transversal dalam rentang panjang l_o
T	= periode getar fundamental struktur
T_a	= Periode fundamental pendekatan
u	= Peralihan
\dot{u}_t	= Kecepatan
\ddot{u}_t	= Percepatan
V	= Gaya geser dasar
v_s	= Kecepatan gelombang geser
\bar{v}_s	= Kecepatan rata-rata gelombang geser
α	= Koefisien massa
β	= Koefisien kekakuan
γ_c	= Berat isi beton
Δ	= Simpangan antar lantai tingkat desain
Δ_a	= Simpangan antar lantai tingkat izin
Ψ_h	= Deformasi inelastik elemen
δ_{n+1}	= Peralihan pada lantai n+1

δ_n = Peralihan pada lantai n
 ξ = Rasio Redaman
 ρ = Rasio tulangan memanjang
 ϕ = Koefisien reduksi
 ω = Frekuensi alami struktur
 Ω_0 = Faktor kuat lebih sistem
ASCE = *American Society of Civil Engineers*
CP = *Collapse Prevention*
CQC = *Complete Quadratic Combination*
DL = *Dead Load*
FEMA = *Federal Emergency Management Agency*
FO = *Fully Operational*
IO = *Immediate Occupancy*
kN = kilo Newton
LDP = *Linear Dynamic Procedure*
LL = *Live Load*
LS = *Life Safety*
LSP = *Linear Static Procedure*
MCE = *Maximum Considered Earthquake* (Gempa tertimbang maksimum)
MPa = Mega Pascal
m = meter
mm = milimeter
NDP = *Nonlinear Dynamic Procedure*
NEHRP = *National Earthquake Hazards Reduction Program*
NSP = *Nonlinear Static Procedure*
PI = Indeks plastisitas tanah lempung
SDL = *Super imposed Dead Load*
SNI = Standar Nasional Indonesia
SRMPB = Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa
SRPMK = Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus
SRPMM = Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah
SRSS = *Square Root of Sum Square*

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1.1 Tampak Muka Model Struktur	3
Gambar 1.2 Diagram Alir Penulisan	5
Gambar 2.1 Spektrum Respons Desain (SNI 1726:2012)	13
Gambar 2.2 Arah Pembebanan Ortogonal	19
Gambar 2.3 Penentuan Simpangan Antar Lantai (SNI 1726:2012)	26
Gambar 2.4 Akselerogram Gempa El Centro NS 1940	29
Gambar 2.5 Akselerogram Gempa Flores 1992	29
Gambar 2.6 Akselerogram Gempa Denpasar 1979	29
Gambar 2.7 Contoh Tulangan Transversal Pada Kolom (SNI 2847:2013)	34
Gambar 2.8 Model Histeresis Takeda saat Mengalami Peningkatan Beban	37
Gambar 2.9 Model Histeresis Isotropic saat Mengalami Peningkatan Beban	37
Gambar 2.10 Ilustrasi Redaman Rayleigh	41
Gambar 2.11 Alur Proses <i>Performance Based Design</i>	42
Gambar 2.12 Kurva <i>Force-Displacement</i>	46
Gambar 2.13 a) <i>Story mechanism</i> , b) <i>Beam mechanism</i>	47
Gambar 3.1 Tampak 3D Model Struktur	48
Gambar 3.2 Ketidaberaturan Geometri Vertikal	52
Gambar 3.3 Dimensi Horisontal Model B dan C	52
Gambar 3.4 Denah Model A Lantai 1	59
Gambar 3.5 Denah Model A Lantai 2	59
Gambar 3.6 Denah Model A Lantai 3	60
Gambar 3.7 Denah Model A Lantai 4	60
Gambar 3.8 Denah Model A Lantai 5	61
Gambar 3.9 Denah Model A Lantai 6	61
Gambar 3.10 Denah Model A Lantai 7	62
Gambar 3.11 Denah Model A Lantai 8	62
Gambar 3.12 Denah Model A Lantai 9	63
Gambar 3.13 Denah Model A Lantai 10	63

Gambar 3.14 Denah Model A Lantai 11	64
Gambar 3.15 Denah Model A Lantai 12	64
Gambar 3.16 Potongan Model A As-1 dan As-4	65
Gambar 3.17 Potongan Model A As-2 dan As-3	66
Gambar 3.18 Denah Model B Lantai 1	70
Gambar 3.19 Denah Model B Lantai 2	70
Gambar 3.20 Denah Model B Lantai 3	71
Gambar 3.21 Denah Model B Lantai 4	71
Gambar 3.22 Denah Model B Lantai 5	72
Gambar 3.23 Denah Model B Lantai 6	72
Gambar 3.24 Denah Model B Lantai 7	73
Gambar 3.25 Denah Model B Lantai 8	73
Gambar 3.26 Denah Model B Lantai 9	74
Gambar 3.27 Denah Model B Lantai 10	74
Gambar 3.28 Denah Model B Lantai 11	75
Gambar 3.29 Denah Model B Lantai 12	75
Gambar 3.30 Potongan Model B As-1 dan As-4	76
Gambar 3.31 Potongan Model B As-2 dan As-3	77
Gambar 3.32 Denah Model C Lantai 1	80
Gambar 3.33 Denah Model C Lantai 2	81
Gambar 3.34 Denah Model C Lantai 3	81
Gambar 3.35 Denah Model C Lantai 4	82
Gambar 3.36 Denah Model C Lantai 5	82
Gambar 3.37 Denah Model C Lantai 6	83
Gambar 3.38 Denah Model C Lantai 7	83
Gambar 3.39 Denah Model C Lantai 8	84
Gambar 3.40 Denah Model C Lantai 9	84
Gambar 3.41 Denah Model C Lantai 10	85
Gambar 3.42 Denah Model C Lantai 11	85
Gambar 3.43 Denah Model C Lantai 12	86
Gambar 3.44 Potongan Model C As-1 dan As-4	87
Gambar 3.45 Potongan Model C As-2 dan As-3	88

Gambar 4.1 Akselerogram Gempa El Centro NS 1940 Terskala	90
Gambar 4.2 Akselerogram Gempa Flores 1992 Terskala	90
Gambar 4.3 Akselerogram Gempa Denpasar 1979 Terskala	90
Gambar 4.4 Peralihan Maksimum Model A	93
Gambar 4.5 Peralihan Maksimum Model B	93
Gambar 4.6 Peralihan Maksimum Model C	93
Gambar 4.7 Peralihan Maksimum Akibat Gempa El Centro	94
Gambar 4.8 Peralihan Maksimum Akibat Gempa Flores	94
Gambar 4.9 Peralihan Maksimum Akibat Gempa Denpasar	94
Gambar 4.10 Simpangan Antar Lantai Analisis Elastis	96
Gambar 4.11 Simpangan Antar Lantai Model A Arah X	98
Gambar 4.12 Simpangan Antar Lantai Model B Arah X	98
Gambar 4.13 Simpangan Antar Lantai Model C Arah X	98
Gambar 4.14 Simpangan Antar Lantai Model B Arah Y	100
Gambar 4.15 Simpangan Antar Lantai Model C Arah Y	100
Gambar 4.16 Pembentukan Sendi Plastis Awal dan Akhir Model A-El Centro	105
Gambar 4.17 Pembentukan Sendi Plastis Awal dan Akhir Model A-Flores	106
Gambar 4.18 Pembentukan Sendi Plastis Awal dan Akhir Model A-Denpasar	107
Gambar 4.19 Pembentukan Sendi Plastis Awal dan Akhir Model B-El Centro	108
Gambar 4.20 Pembentukan Sendi Plastis Awal dan Akhir Model B-Flores	109
Gambar 4.21 Pembentukan Sendi Plastis Awal dan Akhir Model B-Denpasar	110
Gambar 4.22 Pembentukan Sendi Plastis Awal dan Akhir Model C-El Centro	111
Gambar 4.23 Pembentukan Sendi Plastis Awal dan Akhir Model C-Flores	112
Gambar 4.24 Pembentukan Sendi Plastis Awal dan Akhir Model C-Denpasar	113

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Kategori Risiko Bangunan Gedung (Tabel 1 SNI 1726:2012)	7
Tabel 2.2 Faktor Keutamaan Gempa (Tabel 2 SNI 1726:2012)	8
Tabel 2.3 Klasifikasi Situs (Tabel 3 SNI 1726:2012)	9
Tabel 2.4 Koefisien Situs, F_a (Tabel 4 SNI 1726:2012)	12
Tabel 2.5 Koefisien Situs, F_v (Tabel 5 SNI 1726:2012)	12
Tabel 2.6 Kategori Desain Seismik Berdasarkan S_{DS} (Tabel 6 SNI 1726:2012)	14
Tabel 2.7 Kategori Desain Seismik Berdasarkan S_{D1} (Tabel 7 SNI 1726:2012)	14
Tabel 2.8 Faktor R , C_d , dan Ω_o (Tabel 9 SNI 1726:2012)	15
Tabel 2.9 Ketidakberaturan Horisontal Struktur (Tabel 10 SNI 1726:2012)	18
Tabel 2.10 Ketidakberaturan Vertikal Struktur (Tabel 11 SNI 1726:2012)	18
Tabel 2.11 Prosedur Analisis yang Boleh Digunakan (Tabel 13 SNI 1726:2012)	20
Tabel 2.12 Koefisien untuk Batas Atas Periode (Tabel 14 SNI 1726:2012)	23
Tabel 2.13 Parameter Periode Pendekatan C_i dan x (Tabel 15 SNI 1726:2012)	23
Tabel 2.14 Simpangan Antar Lantai Ijin, Δ_a (Tabel 16 SNI 1726:2012)	26
Tabel 2.15 Beban Hidup Merata Minimum (Tabel 4 SNI 1727:2013)	36
Tabel 2.16 Persyaratan <i>Roof Drift Ratio</i> (FEMA 356)	44
Tabel 2.17 <i>Acceptance Criteria</i> pada Kinerja Elemen Struktur (ASCE 41-06)	46
Tabel 3.1 Simpangan Antar Lantai Maksimum dan Rata-rata (mm)	53
Tabel 3.2 Cek Amplifikasi Torsi Model B	54
Tabel 3.3 Cek Amplifikasi Torsi Model C	55
Tabel 3.4 Tulangan Terpasang Pada Balok Induk Eksterior Model A	56
Tabel 3.5 Tulangan Terpasang Pada Balok Induk Interior Model A	57
Tabel 3.6 Tulangan Terpasang Pada Balok Anak Model A	58
Tabel 3.7 Tulangan Terpasang Pada Kolom Model A	58
Tabel 3.8 Tulangan Terpasang Pada Balok Induk Eksterior Model B	67
Tabel 3.9 Tulangan Terpasang Pada Balok Induk Interior Model B	68
Tabel 3.10 Tulangan Terpasang Pada Balok Anak Model B	69
Tabel 3.11 Tulangan Terpasang Pada Kolom Model B	69

Tabel 3.12 Tulangan Terpasang Pada Balok Induk Eksterior Model C	78
Tabel 3.13 Tulangan Terpasang Pada Balok Induk Interior Model C	79
Tabel 3.14 Tulangan Terpasang Pada Balok Anak Model C	79
Tabel 3.15 Tulangan Terpasang Pada Kolom Model C	80
Tabel 4.1 Peralihan Lantai Maksimum Model A	91
Tabel 4.2 Peralihan Lantai Maksimum Model B	91
Tabel 4.3 Peralihan Lantai Maksimum Model C	92
Tabel 4.4 Simpangan Antar Lantai Analisis Elastis	95
Tabel 4.5 Simpangan Antar Lantai Analisis Elastis setelah dikalikan Cd	95
Tabel 4.6 Simpangan Antar Lantai Model A Arah X	96
Tabel 4.7 Simpangan Antar Lantai Model B Arah X	97
Tabel 4.8 Simpangan Antar Lantai Model C Arah X	97
Tabel 4.9 Simpangan Antar Lantai Model B Arah Y	99
Tabel 4.10 Simpangan Antar Lantai Model C Arah Y	99
Tabel 4.11 Rotasi Sendi Plastis pada Balok Model A	101
Tabel 4.12 Rotasi Sendi Plastis pada Balok Model B	101
Tabel 4.13 Rotasi Sendi Plastis pada Balok Model C	102
Tabel 4.14 Rotasi Sendi Plastis pada Kolom Model A	102
Tabel 4.15 Rotasi Sendi Plastis pada Kolom Model B	103
Tabel 4.16 Rotasi Sendi Plastis pada Kolom Model C	103
Tabel 4.17 Gaya Geser Dasar Arah X	114
Tabel 4.18 Gaya Geser Dasar Arah Y	114

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
LAMPIRAN 1 Penentuan Ukuran Elemen Pradesain	120
LAMPIRAN 2 Perhitungan Faktor Skala Analisis Respons Spektrum	124
LAMPIRAN 3 Pemeriksaan <i>Demand Per Capacity Ratio</i>	133

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gempa bumi merupakan salah satu bencana alam yang dapat memiliki kemampuan destruktif yang besar. Gempa bumi dapat dibedakan berdasarkan penyebab terjadinya gempa, yaitu gempa bumi tektonik, gempa bumi vulkanik, dan gempa bumi runtuhan. Di antara ketiga jenis gempa bumi tersebut, gempa tektonik memiliki kekuatan terbesar, di mana gempa bumi diakibatkan oleh pergerakan pelat tektonik bumi.

Indonesia merupakan salah satu daerah pusat gempa di dunia karena berada di antara tiga pelat berukuran besar, yaitu pelat Eurasia, pelat Indo-Australia, dan pelat Asia Pasifik. Ketiga pelat tersebut terus bergerak baik secara divergen maupun konvergen sehingga menimbulkan adanya akumulasi regangan pada pelat-pelat tersebut. Ketika pelat tersebut tidak dapat menahan energi yang terkumpul, maka energi tersebut akan keluar dalam bentuk getaran. Hal inilah yang menyebabkan gempa bumi terjadi.

Gempa bumi di Indonesia seringkali mengakibatkan kerusakan seperti runtuhnya prasarana infrastruktur, fasilitas umum, dan hunian pribadi. Oleh karena itu, diperlukan perhatian khusus terhadap proses desain bangunan tahan gempa. Dewasa ini, banyak sekali ditemukan bangunan tinggi di negara berkembang seperti Indonesia. Seiring dengan kemajuan teknologi dan ilmu pengetahuan, jumlah bangunan tinggi di Indonesia semakin meningkat sebagai upaya pemanfaatan lahan yang optimal mengingat kondisi ketersediaan lahan yang semakin terbatas.

Jika diamati secara faktual, bangunan seringkali didesain dengan bentuk yang tidak teratur dan bangunan yang memiliki bentuk teratur sempurna jarang terjadi di dalam praktek desain. Ketidakteraturan tersebut dapat berupa ketidakteraturan horisontal dan ketidakteraturan vertikal.

Ketidakteraturan secara vertikal dapat dikenali dengan adanya ketidakteraturan geometri, kekakuan, ataupun massa. Di dalam penulisan skripsi ini, tipe ketidakteraturan vertikal pada struktur yang akan dievaluasi adalah ketidakteraturan vertikal secara geometri. Ketidakteraturan geometri vertikal tersebut terjadi apabila dimensi horisontal sistem penahan gaya gempa di semua tingkat lebih dari 130 persen dimensi horisontal sistem penahan gaya gempa tingkat di dekatnya. Ketidakteraturan ini memberikan perilaku yang berbeda pada struktur. Oleh karena itu, adanya ketidakteraturan geometri vertikal ini perlu dievaluasi untuk mengetahui dampak yang terjadi pada struktur akibat gempa yang terjadi.

1.2 Inti Permasalahan

Sebagian besar bentuk bangunan yang ada saat ini memiliki struktur yang tidak teratur. Dalam upaya memenuhi nilai estetika dan kebutuhan arsitektural, ketidakteraturan baik secara horisontal maupun vertikal sangat umum terjadi, termasuk ketidakteraturan geometri vertikal. Ketidakteraturan vertikal secara geometri tersebut menghasilkan respons yang berbeda saat menerima beban-beban yang terjadi, khususnya beban gempa. Maka, jenis ketidakteraturan ini dapat menjadi penyebab terjadinya keruntuhan saat terjadinya gempa.

Dengan demikian, perlu dilakukan penelitian terhadap perilaku struktur yang memiliki ketidakteraturan geometri secara vertikal. Penelitian ini merupakan upaya mendapatkan hasil yang lebih akurat mengenai perilaku struktur dengan menguji respons inelastis struktur.

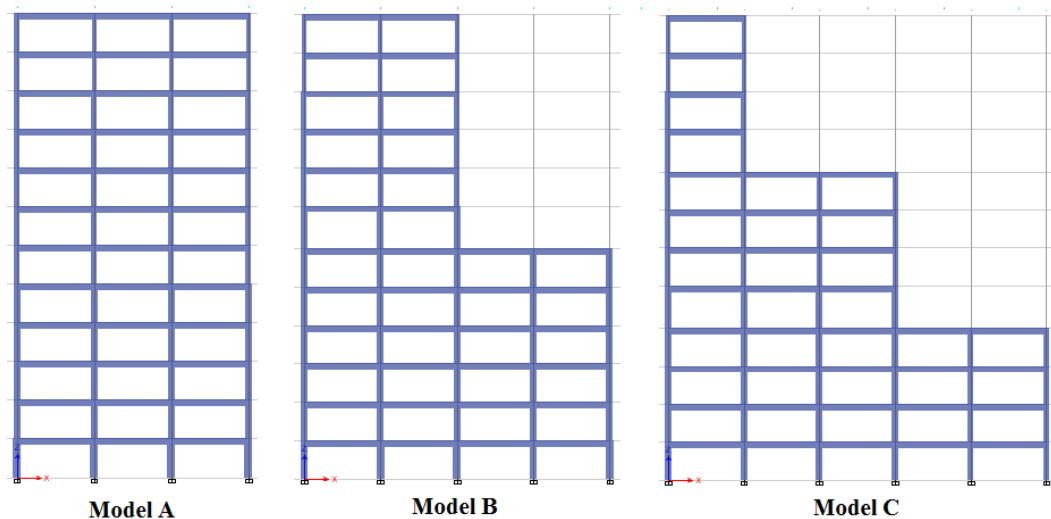
1.3 Tujuan Penulisan

Tujuan penulisan skripsi ini adalah untuk mengevaluasi respons inelastis struktur rangka beton bertulang yang memiliki ketidakteraturan geometri vertikal dengan menggunakan analisis riwayat waktu.

1.4 Pembatasan Masalah

Pembatasan masalah pada skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Sistem struktur penahan gempa yang digunakan adalah sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK).
2. Struktur rangka beton bertulang dengan mutu beton $f'_c = 35$ MPa dan mutu baja tulangan $f_y = 400$ MPa.
3. Jumlah tingkat bangunan berjumlah 12 lantai. Tinggi tiap lantai adalah 4 meter, kecuali pada lantai di mana terjadi setback yaitu sebesar 4,5 meter.
4. Panjang tiap bentang adalah 8 meter. Luas total bangunan untuk ketiga model adalah 6912 m^2 .
5. Terdapat 3 jenis model yang digunakan, yaitu satu model bangunan utuh dengan tiga bentang dan dua model dengan bentang yang memiliki perbedaan dimensi horisontal atau biasa disebut *setback*.

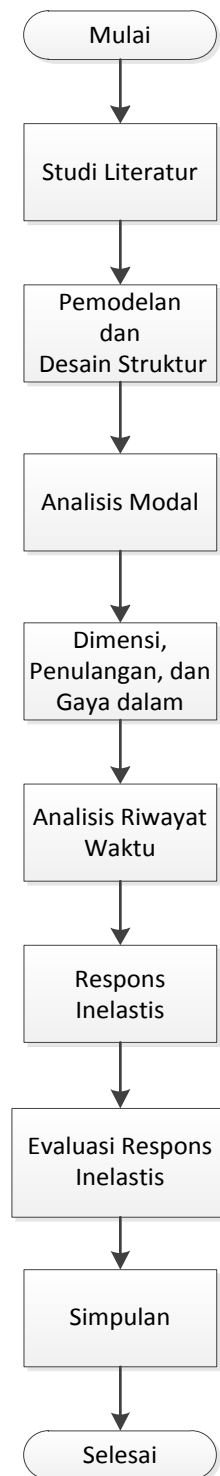


Gambar 1.1 Tampak Muka Model Struktur

6. Fungsi bangunan adalah perkantoran dengan asumsi jenis tanah dasar adalah Tanah Sedang di wilayah Bandung.
7. Peraturan yang dijadikan acuan adalah Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa SNI 03-1726-2012, Persyaratan Beton Struktural SNI 03-2847-2013, dan Peraturan Beban Minimum SNI 03-1727-2013.

8. Beban yang bekerja pada bangunan adalah beban gravitasi dan beban gempa.
9. Perencanaan dan analisis riwayat waktu dilakukan dengan bantuan perangkat lunak ETABS 16.0.2 menggunakan rekaman percepatan gempa El-Centro 1940 N-S, Denpasar 1979, dan Flores 1992.
10. Hasil analisis yang dihasilkan adalah kinerja struktur secara global, meliputi simpangan antar lantai maksimum, peralihan lantai maksimum, rotasi sendi plastis dan gaya geser dasar.

1.5 Metode Penulisan



Gambar 1.2 Diagram Alir Penulisan

1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk memperoleh pemahaman secara menyeluruh mengenai prinsip-prinsip struktur bangunan yang memiliki ketahanan gempa dan respons inelastis struktur. Pemahaman ini dijadikan dasar dan pedoman dalam melakukan analisis terhadap struktur yang ditinjau.

2. Studi Analisis

Studi analisis dilakukan untuk mengevaluasi respons struktur dengan menggunakan bantuan perangkat lunak ETABS 16.0.2.

1.6 Sistematika Penulisan

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang latar belakang, inti permasalahan, tujuan penelitian, pembatasan masalah, metode penulisan, 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 PERENCANAAN STRUKTUR

Bab ini berisi tentang perencanaan dan pemodelan struktur rangka beton bertulang menggunakan bantuan perangkat lunak ETABS 16.0.2 dan pemeriksaan syarat struktur bangunan tahan gempa.

BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang hasil respons inelastis struktur dan analisis riwayat waktu menggunakan bantuan perangkat lunak ETABS 16.0.2.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi tentang kesimpulan dari hasil pembahasan yang telah dilakukan dan juga saran-saran dari hasil pembahasan.