

**SKRIPSI**

***PERFORMANCE BASED DESIGN* RANGKA BAJA  
MOMEN KHUSUS DENGAN KOLOM HSS**



**JEREMY BUDIONO**

**NPM : 2013410084**

**PEMBIMBING: Dr. Djoni Simanta**

**KO-PEMBIMBING: Sisi Nova Rizkiani, 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* RANGKA BAJA  
MOMEN KHUSUS DENGAN KOLOM HSS**



**JEREMY BUDIONO**

**NPM : 2013410084**

**BANDUNG, 11 JANUARI 2017**

**PEMBIMBING**

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Djoni Simanta'.

**Dr. Djoni Simanta**

**KO-PEMBIMBING**

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Sisi Nova Rizkiani'.

**Sisi Nova Rizkiani, 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 dibawah ini:

Nama Lengkap : Jeremy Budiono

NPM : 2013410084

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul “**PERFORMANCE BASED DESIGN RANGKA BAJA MOMEN KHUSUS DENGAN KOLOM HSS**” adalah karya ilmiah yang bebas plagiat. Jika dikemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Bandung, 11 Januari 2017



Jeremy Budiono

2013410084

# **PERFORMANCE BASED DESIGN RANGKA BAJA MOMEN KHUSUS DENGAN KOLOM HSS**

Jeremy Budiono  
NPM : 2013410084

Pembimbing : Dr. Djoni Simanta  
Ko-Pembimbing : Sisi Nova Rizkiani, 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**

Gempa merupakan suatu masalah yang sering dijumpai di Indonesia. Sistem rangka yang dapat dengan efektif untuk memikul beban gempa adalah sistem rangka pemikul momen (SRPM), yang dapat juga diaplikasikan pada struktur baja dengan menggunakan sambungan rigid kolom HSS dengan balok IWF. Sistem struktur semacam ini perlu ditinjau kembali terhadap ketahanan gempanya dalam kondisi inelastis, dengan menggunakan analisis inelastik dinamik riwayat waktu. Peninjauan dilakukan dengan melakukan *performance based design* untuk meningkatkan kinerja dari hasil desain dengan analisis linier ke tingkat kinerja yang lebih tinggi, yaitu *Immediate Occupancy*. Dalam analisis riwayat waktu ini digunakan rekaman gempa El Centro, Kobe, dan Northridge pada periode ulang 2475 tahun, dengan melakukan penskalaan dan *spectral matching* untuk kedua arah ortogonal yang sesuai. Analisis riwayat waktu yang dilakukan menggunakan bantuan program ETABS. Hasil analisis pada struktur hasil desain analisis linier menunjukkan tingkat kinerja *Collapse Prevention* pada *global performance*-nya, sedangkan untuk *component performance*, tingkat kinerja yang dihasilkan adalah *Life Safety*. *Performance based design* untuk kinerja *Immediate Occupancy* dapat dicapai setelah meningkatkan penampang balok induk dan kolom hingga di luar tabel yang ada pada pasaran di Indonesia. Peningkatan berat total struktur hasil desain analisis linier terhadap struktur hasil *performance based design* adalah sebesar 18.645%.

Kata Kunci: *Performance Based Design*, SRPMK, Struktur Baja, Riwayat Waktu

# **PERFORMANCE BASED DESIGN OF STEEL SPECIAL MOMENT FRAMES WITH HSS COLUMN**

Jeremy Budiono  
NPM : 2013410084

Advisor : Dr. Djoni Simanta  
Co-Advisor : Sisi Nova Rizkiani, 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**

Earthquake is a common problem in Indonesia. Structural framing system that can effectively resist earthquake load is moment resisting frame system (MRF), that also can be applied for steel structure with rigid connection of HSS column and IWF beam. This kind of structure system needs to be reassessed against the resistance from earthquake load at inelastic state, using inelastic dynamic time history analysis. This review is carried out using performance based design method by improving the performance level of the design with linear analysis to a higher performance level, Immediate Occupancy. This time history analysis use seismic record of El Centro, Kobe, and Northridge earthquake at 2475 return period, by doing an appropriate scaling and spectral matching for both orthogonal direction. This time history analysis is assisted by ETABS program. Analysis result from linear analysis design shows that its global performance is Collapse Prevention, whereas for the component performance, the level of performance produced is Life Safety. Performance based design for Immediate Occupancy can be achieved after boosting cross-section of beams and columns to the outside tables that exist in the market in Indonesia. The increase in the total weight of the structure from the linear analysis design result to the performance based design result is 18.645%.

Keywords: Performance Based Design, SMRF, Steel Structure, Time History

## **PRAKATA**

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yesus Kristus atas kasih setia dan penyertaan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul *Performance Based Design Struktur Baja dengan Sambungan Rigid*. Skripsi ini dibuat dalam rangka untuk memenuhi salah satu syarat akademik untuk menyelesaikan studi di tingkat S-1 di Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Katolik Parahyangan.

Banyak hambatan dan kesulitan yang penulis rasakan dalam penulisan skripsi ini. Namun berkat dukungan, saran, serta kritik yang membangun dari berbagai pihak, maka skripsi ini dapat penulis selesaikan. Maka dari itu penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Djoni Simanta selaku dosen pembimbing yang telah membimbing penulis hingga dapat diselesaikannya skripsi ini.
2. Ibu Sisi Nova Rizkiani, S.T., M.T. selaku dosen ko-pembimbing yang telah membantu penulis dalam penyusunan skripsi ini.
3. Bapak Dr. Johannes Adhijoso Tjondro selaku dosen penguji yang atas segala masukan dan saran dalam penyelesaian skripsi ini.
4. Ibu Lidya Fransiska Tjong, Ir., M.T. selaku dosen penguji yang atas segala masukan dan saran dalam penyelesaian skripsi ini.
5. Seluruh dosen di Jurusan Teknik Sipil Unpar yang telah memberikan banyak ilmu dan dukungan selama masa perkuliahan.
6. Kedua orang tua dan kedua kakak penulis yang telah memberikan banyak doa, motivasi, dukungan, dan saran bagi penulis selama penulisan skripsi.

7. Jovanca, atas kasih sayang dan cinta yang selalu diberikan, serta tiap hari menemani dan membantu penulis dengan memberikan banyak doa, motivasi, dukungan, dan semangat bagi penulis selama penulisan skripsi.
8. Andreas dan Sonatha, sebagai teman seperjuangan dan sependeritaan selama penulisan skripsi.
9. Teman-teman Unit Kegiatan Mahasiswa Tennis yang telah selama masa perkuliahan telah memberikan banyak kenangan yang berharga.
10. Teman-teman angkatan teknik sipil 2013 yang telah senantiasa bersama-sama melewati masa perkuliahan.
11. Berbagai pihak lainnya yang tidak dapat disebutkan satu per satu, yang telah membantu penulis dalam penyusunan skripsi ini baik secara langsung ataupun tidak langsung.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna, maka dari itu, penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Bandung, 11 Januari 2017



Jeremy Budiono

2013410084

# DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
PRAKATA	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	viii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xx
DAFTAR LAMPIRAN	xxii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Inti Permasalahan	6
1.3 Tujuan Penulisan	6
1.4 Pembatasan Masalah	7
1.5 Metode Penelitian	10
1.6 Sistematika Penulisan	10
BAB 2 STUDI PUSTAKA	12
2.1 Struktur Baja Tahan Gempa	12
2.2 Ketentuan Khusus Seismik Struktur Baja Menurut SNI 7860:2015 (SRPMK)	16
2.3 Sejarah dan Pendekatan <i>Performance Based Design</i> Struktur Baja	29
2.4 Material Nonlinier	31



2.5	Analisis Respons Riwayat Waktu Nonlinier	33
2.6	<i>Backbone Curve</i>	34
2.7	Taraf Kinerja	36
2.8	Kriteria Taraf Kinerja	39
2.9	Sendi Plastis	41
2.10	Target Taraf Kinerja	48
2.11	Strategi Rehabilitasi Kinerja	51
2.12	Persyaratan Analisis Respons Riwayat Waktu Nonlinier Menurut SNI 1726:2012	55
2.13	Pendekatan Penskalaan Gempa	58
 <b>BAB 3 <i>PERFORMANCE BASED DESIGN</i></b>		61
3.1	Analisis Respons Riwayat Waktu Nonlinier pada Program ETABS	61
3.2	Pemodelan dan Parameter yang Diperlukan untuk Analisis Nonlinier Riwayat Waktu pada Program ETABS	68
 <b>BAB 4 STUDI KASUS DAN PEMBAHASAN</b>		94
4.1	Pemodelan Struktur	94
4.2	Hasil Desain Analisis Linier	97
4.3	Pengecekan Penampang dan Penskalaan Gempa untuk Struktur Hasil Analisis Linier SNI 1726:2012	107
4.4	Hasil Analisis Riwayat Waktu Nonlinier Berdasarkan Hasil Desain Analisis Linier	126
4.5	Proses <i>Performance Based Design</i> untuk Taraf Kinerja <i>Immediate Occupancy</i>	139
4.6	Pengecekan Penampang dan Penskalaan Gempa untuk Struktur Hasil <i>Performance Based Design</i>	143

4.7 Hasil <i>Performance Based Design</i> untuk Taraf Kinerja <i>Immediate Occupancy</i>	164
<b>BAB 5 PENUTUP</b>	<b>175</b>
5.1 Simpulan	175
5.2 Saran	176
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>177</b>

## DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

$A_g$	= luas penampang gross kolom
$b_f$	= lebar sayap balok
$C$	= Matriks redaman
$C_d$	= Faktor amplifikasi defleksi
$C_{pr}$	= 1.1 untuk balok yang tidak direduksi (non-RBS)
$C_s$	= Koefisien respons seismik
$C_u$	= Koefisien untuk batasan atas pada perioda yang dihitung
$d$	= tinggi penampang balok
$d_c$	= kedalaman penampang kolom;
$E$	= Beban Gempa
$ET$	= Beban gempa dengan torsi dari eksentrisitas 0.05
$E_s$	= modulus elastisitas
$f_i(t)$	= fungsi waktu
$F_a$	= faktor amplifikasi tanah untuk percepatan pada getaran periode pendek
$F_v$	= faktor amplifikasi tanah untuk percepatan pada getaran periode 1 detik
$F_y$	= tegangan leleh minimum penampang
$F_{yb}$	= tegangan leleh minimum balok
$F_{yc}$	= tegangan leleh minimum kolom

$F_u$	= tegangan minimum tarik (putus) penampang
$h_{col}$	= lebar kolom
$h_n$	= ketinggian struktur (m), dari dasar hingga tingkat tertinggi struktur
$I$	= momen inersia
$I_e$	= Faktor keutamaan gempa
$K$	= Matriks kekakuan
$l_b$	= panjang balok
$l_c$	= panjang kolom
$L_b$	= jarak maksimum antar pengaku lateral
$L_h$	= Jarak antara lokasi sendi plastis
$M$	= Matriks massa diagonal
$M_{av}$	= momen tambahan akibat geser pada lokasi sendi plastis ke as kolom sesuai dengan kombinasi beban ASD (N-mm)
$M_b$	= momen pada muka kolom
$M_{CE}$	= kekuatan momen lentur yang diekspetasikan;
$M_{CLx}$	= tahanan lentur elemen arah x
$M_{Cly}$	= tahanan lentur elemen arah y
$M_p$	= tahanan lentur nominal plastis
$M_{pr}$	= momen pada sendi plastis sesuai persamaan 2.27
$M_{Ufx}$	= momen lentur arah x

$M_{Ufy}$	= momen lentur arah y
$M_{uv}$	= momen tambahan akibat geser pada lokasi sendi plastis ke as kolom sesuai dengan kombinasi beban LRFD (N-mm)
$NX$	= Beban <i>notional</i> arah X dari 0.002 DL
$NY$	= Beban <i>notional</i> arah Y dari 0.002 DL
$P$	= gaya aksial elemen saat perhitungan untuk analisis dinamik nonlinier atau saat peralihan target untuk analisis statik
$P_{ac}$	= beban tekan ultimit dari kombinasi beban ASD termasuk beban gempa
$P_{uc}$	= beban tekan ultimit dari kombinasi beban LRFD termasuk beban gempa
$P_{UF}$	= beban aksial pada kolom
$P_{ye}$	= gaya aksial leleh elemen = $A_g F_{ye}$ ;
$p_i$	= vektor beban ruang
$S_{A1}$	= <i>fundamental period scale</i> gempa A
$S_{B1}$	= <i>fundamental period scale</i> gempa B
$S_{C1}$	= <i>fundamental period scale</i> gempa C
$S_2$	= <i>suite scale factor</i> gempa terskala yang dirata-ratakan
$R$	= faktor modifikasi respons
$R_y$	= rasio dari tegangan leleh efektif terhadap tegangan leleh minimum
$RS_{ATS}$	= Akselerasi dari respons spektra target pada frekuensi yang dipakai

- $RS_{ARTM}$  = Akselerasi dari respons spektra dari data riwayat waktu pada frekuensi yang dipakai
- $r$  = Beban yang diberikan termasuk akselerasi permukaan
- $r_y$  = radius girasi penampang terhadap sumbu  $y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$
- $S_a$  = nilai spektrum respons percepatan desain.
- $S_{D1}$  = parameter respons spektral percepatan desain pada perioda 1 detik
- $S_{DS}$  = parameter respons spektral percepatan desain pada perioda pendek
- $S_h$  = jarak muka kolom ke lokasi sendi plastis
- $S_{MS}$  = parameter respons spektral percepatan gempa  $MCE_R$  terpetakan pada perioda pendek, dengan amplifikasi
- $S_{M1}$  = parameter respons spektral percepatan gempa  $MCE_R$  terpetakan pada perioda 1 detik, dengan amplifikasi
- $S_1$  = Parameter percepatan spektrum respons  $MCE_R$  perioda 1 detik
- $t_{col}$  = tebal sayap atau badan kolom
- $t_f$  = tebal sayap balok
- $t_w$  = tebal badan balok
- $T$  = Perioda fundamental struktur (detik)
- $T_a$  = Perioda fundamental pendekatan ( $T_a$ ).
- $u$  = Peralihan struktur
- $\dot{u}$  = Kecepatan struktur

- $\ddot{u}$  = Percepatan struktur
- $V_{CE}$  = kekuatan geser yang diekspetasikan;
- $V_{col}$  = gaya geser pada ujung kolom
- $V_{gravity}$  = gaya dalam lintang akibat kombinasi pembebanan gravitasi (1.2 D + 0.5 L)
- $Z$  = modulus plastis penampang
- $Z_b$  = modulus plastis balok ( $mm^3$ )
- $Z_c$  = modulus plastis kolom ( $mm^3$ )
- $Z_e$  = modulus plastis efektif penampang pada lokasi sendi plastis
- $\Delta_i$  = *interstory drift*
- $\delta$  = koefisien skala redaman matriks kekakuan
- $\delta_{xe}$  = Defleksi pada lokasi yang disyaratkan
- $\eta$  = koefisien skala redaman matriks massa
- $\theta_y$  = rotasi leleh;
- $\xi_i$  dan  $\xi_j$  = rasio redaman kritis
- $\rho$  = faktor redundansi
- $\sum M_{pc}^*$  = Jumlah momen kapasitas pada kolom atas dan bawah dengan reduksi gaya aksial pada kolom
- $\sum M_{pb}^*$  = Jumlah momen kapasitas pada balok-balok pada lokasi terjadinya sendi plastis

$\omega_i$  dan  $\omega_j$  = frekuensi natural ( $\omega_n = 2\pi f_n$ )

ASCE = *American Society of Civil Engineering*

ATC = *Applied Technology Council*

BSE-1 = *Basic Safety Earthquake-1*

BSE-2 = *Basic Safety Earthquake-2*

BSSC = *Building Seismic Safety Council*

BSO = *Basic Safety Objective*

CP = *Collapse Prevention*

DBE = *Design Basis Earthquake*

DL = *Beban mati sendiri (Dead Load)*

D/C = *Demand / Capacity*

FEMA = *Federal Emergency Management Agency*

FFT = *Fast Fourier Transform*

HSS = *Hollow Structural Section*

IO = *Immediate Occupancy*

LL = *Beban hidup lantai (Live Load)*

Lr = *Beban hidup atap (Live Load Roof)*

LS = *Life Safety*

MCE = *Maximum Considered Earthquake*

NEHRP = *National Earthquake Hazards Reduction Program*



O	= <i>Operational</i>
OVE	= <i>Overestimated Earthquake</i>
PEER	= <i>Pacific Earthquake Engineering Research Center</i>
PBD	= <i>Performance Based Design</i>
SDL	= <i>Beban mati tambahan (Super Imposed Dead Load)</i>
SEAOC	= <i>Structural Engineers Association of California</i>
SHS	= <i>Square Hollow Section</i>
SNI	= <i>Standar Nasional Indonesia</i>
SRPMB	= <i>Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa</i>
SRPMK	= <i>Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus</i>
SRPMM	= <i>Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah</i>
SLE-43	= <i>Service Level Earthquake 43 Years</i>
SLE-25	= <i>Service Level Earthquake 25 Years</i>
TBI	= <i>Tall Buildings Initiative</i>
WCEE	= <i>World Conferences on Earthquake Engineering</i>
WF	= <i>Wide Flange</i>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.1</b>	Lempeng Tektonik di Indonesia	1
<b>Gambar 1.2</b>	Salah Satu Tipe Sambungan Rigid Baja	2
<b>Gambar 1.3</b>	<i>Performance Levels</i> akibat gempa	3
<b>Gambar 1.4</b>	Diagram Alir <i>Performance Based Design</i>	5
<b>Gambar 1.5</b>	Denah Tipikal Model Struktur Rangka Baja	8
<b>Gambar 1.6</b>	Potongan Tipikal Model Struktur Rangka Baja	8
<b>Gambar 1.7</b>	Model 3 Dimensi Struktur Rangka Baja	9
<b>Gambar 1.8</b>	Konfigurasi <i>Moment Release</i> pada Pembalokan	9
<b>Gambar 2.1</b>	Penentuan Simpangan Antar Lantai	15
<b>Gambar 2.2</b>	Perhitungan Momen Kapasitas Kolom	28
<b>Gambar 2.3</b>	Perhitungan Momen Kapasitas Balok	28
<b>Gambar 2.4</b>	Kurva Tegangan-Regangan Material Baja	31
<b>Gambar 2.5</b>	Skema Kurva Aksi-Deformasi	33
<b>Gambar 2.6</b>	Kurva Aksi-Deformasi	35
<b>Gambar 2.7</b>	Kurva Aksi-Deformasi yang Disederhanakan	36
<b>Gambar 2.8</b>	Pendefinisian Taraf Kinerja pada Kurva Aksi-Deformasi	37
<b>Gambar 2.9</b>	Mekanisme dari Distribusi Sendi Plastis	42
<b>Gambar 2.10</b>	Kurva Aksi-Deformasi dengan Parameter Rotasi Plastis	43
<b>Gambar 2.11</b>	Tipe Pemodelan Komponen Struktur Nonlinier	47
<b>Gambar 2.12</b>	Tingkatan Gempa Terhadap Spektrum Gempa	48
<b>Gambar 2.13</b>	Contoh Penggunaan <i>Cover Plating</i>	52
<b>Gambar 2.14</b>	Proses <i>Fundamental Period Scaling</i>	59
<b>Gambar 2.15</b>	Proses <i>Suite Scaling</i>	60

<b>Gambar 3.1</b>	Beberapa Metode untuk Analisis <i>Time History</i>	62
<b>Gambar 3.2</b>	Nilai Parameter yang Dapat Dipilih untuk Tiap Metode	65
<b>Gambar 3.3</b>	Parameter yang Diinput Sesuai dengan Rekomendasi <i>CSI Knowledge Base</i>	67
<b>Gambar 3.4</b>	Pemodelan Sendi Plastis dengan <i>Automatic Hinge Properties</i>	70
<b>Gambar 3.5</b>	Model Histeresis <i>Kinematic</i> Akibat Beban Siklik	71
<b>Gambar 3.6</b>	Model Histeresis <i>Isotropic</i> Akibat Beban Siklik	71
<b>Gambar 3.7</b>	Data Kurva Momen Rotasi pada Salah Satu Kolom	72
<b>Gambar 3.8</b>	Data Kurva Momen-Rotasi pada Salah Satu Balok	72
<b>Gambar 3.9</b>	Efek P-Delta Terhadap Kurva Aksi-Deformasi	74
<b>Gambar 3.10</b>	Ketidaklinieran Geometri	74
<b>Gambar 3.11</b>	Sistem Koordinat Lokal dan Global	76
<b>Gambar 3.12</b>	Fungsi <i>Time History</i> yang Dapat Dimodelkan	77
<b>Gambar 3.13</b>	<i>Format Input Data Time History From File</i>	78
<b>Gambar 3.14</b>	Tipe Metode <i>Spectral Matching Time History</i> pada Program ETABS	79
<b>Gambar 3.15</b>	Tipe Kondisi Awal pada Program ETABS	82
<b>Gambar 3.16</b>	Data Pembebanan Awal (Gravitasi)	83
<b>Gambar 3.17</b>	Parameter untuk <i>Input Analisis Direct Integration Time History</i>	84
<b>Gambar 3.18</b>	<i>Mass and Stiffness Proportional Damping</i>	87
<b>Gambar 3.19</b>	Parameter Nonlinier yang Dapat Diganti	88
<b>Gambar 3.20</b>	Parameter yang Diperlukan Dalam <i>Performance Check Data</i>	92
<b>Gambar 4.1</b>	Penampang Melintang <i>Metal Deck</i>	96
<b>Gambar 4.2</b>	Model 3 Dimensi Struktur	98
<b>Gambar 4.3</b>	Potongan Tipikal Bangunan	99
<b>Gambar 4.4</b>	Denah Balok Baja Lantai 1	99

<b>Gambar 4.5</b>	Denah Balok Baja Lantai 2-5	100
<b>Gambar 4.6</b>	Denah Balok Anak Komposit Seluruh Lantai	100
<b>Gambar 4.7</b>	Rasio Tegangan Interaktif Rangka Baja	103
<b>Gambar 4.8</b>	Lokasi Rasio Tegangan Maksimum	103
<b>Gambar 4.9</b>	Rasio Tegangan Interaktif Balok Baja Komposit	104
<b>Gambar 4.10</b>	Story Drift Ratio U1 Akibat E1	106
<b>Gambar 4.11</b>	Story Drift Ratio U2 Akibat E2	106
<b>Gambar 4.12</b>	Bagian Tinjauan untuk Pengecekan	107
<b>Gambar 4.13</b>	Kurva Seluruh Respons Spektrum Tinjauan	117
<b>Gambar 4.14</b>	Kurva Spektrum Gempa El Centro vs Spektra Target	117
<b>Gambar 4.15</b>	Kurva Spektrum Gempa Kobe vs Spektra Target	118
<b>Gambar 4.16</b>	Kurva Spektrum Gempa Northridge vs Spektra Target	118
<b>Gambar 4.17</b>	Gempa El Centro dengan Skala Pertama vs Spektra Target	121
<b>Gambar 4.18</b>	Gempa Kobe dengan Skala Pertama vs Spektra Target	121
<b>Gambar 4.19</b>	Gempa Northridge dengan Skala Pertama vs Spektra Target	122
<b>Gambar 4.20</b>	Kurva Spektrum dari Rata-Rata Gempa vs Spektra Target	122
<b>Gambar 4.21</b>	Kurva Spektrum Rata-Rata Gempa yang Telah Diskalakan vs Spektra Target	125
<b>Gambar 4.22</b>	Pembentukan Sendi Plastis Pertama Gempa El Centro	126
<b>Gambar 4.23</b>	Pembentukan Sendi Plastis Saat Detik ke-10 Gempa El Centro	127
<b>Gambar 4.24</b>	Pembentukan Sendi Plastis Pertama Gempa Kobe	128
<b>Gambar 4.25</b>	Pembentukan Sendi Plastis Saat Detik ke-10 Gempa Kobe	128
<b>Gambar 4.26</b>	Pembentukan Sendi Plastis Pertama Gempa Northridge	129
<b>Gambar 4.27</b>	Pembentukan Sendi Plastis Saat Detik ke-10 Gempa Northridge	129
<b>Gambar 4.28</b>	Interstory Drift Arah X	133

<b>Gambar 4.29</b> Interstory Drift Arah Y	134
<b>Gambar 4.30</b> Roof Drift Arah X	134
<b>Gambar 4.31</b> Roof Drift Arah Y	135
<b>Gambar 4.32</b> Demand/Capacity Ratio Immediate Occupancy	136
<b>Gambar 4.33</b> Demand/Capacity Ratio Life Safety	137
<b>Gambar 4.34</b> Demand/Capacity Ratio Immediate Occupancy Seluruh Gempa	137
<b>Gambar 4.35</b> Potongan Tipikal Seluruh As Desain Baru	141
<b>Gambar 4.36</b> Denah Lantai Satu Desain Baru	141
<b>Gambar 4.37</b> Denah Lantai 2-5 Desain Baru	142
<b>Gambar 4.38</b> Model 3 Dimensi Desain Baru	142
<b>Gambar 4.39</b> Bagian Tinjauan untuk Pengecekan (Desain Baru)	143
<b>Gambar 4.40</b> Spektra Gempa El Centro Sebelum Diskalakan (Desain Baru)	156
<b>Gambar 4.41</b> Spektra Gempa Kobe Sebelum Diskalakan (Desain Baru)	157
<b>Gambar 4.42</b> Spektra Gempa Northridge Sebelum Diskalakan (Desain Baru)	157
<b>Gambar 4.43</b> Gempa El Centro dengan Skala Pertama vs Spektra Target (Desain Baru)	160
<b>Gambar 4.44</b> Gempa Kobe dengan Skala Pertama vs Spektra Target (Desain Baru)	160
<b>Gambar 4.45</b> Gempa Northridge dengan Skala Pertama vs Spektra Target (Desain Baru)	161
<b>Gambar 4.46</b> Kurva Spektrum dari Rata-Rata Gempa vs Spektra Target (Desain Baru)	162
<b>Gambar 4.47</b> Kurva Spektrum Rata-Rata Gempa yang Telah Diskalakan vs Spektra Target (Desain Baru)	164
<b>Gambar 4.48</b> Pembentukan Sendi Plastis Saat Detik ke-10 Gempa El Centro (Desain Baru)	165

<b>Gambar 4.49</b> Pembentukan Sendi Plastis Saat Detik ke-10 Gempa Kobe (Desain Baru)	166
<b>Gambar 4.50</b> <i>Interstory Drift</i> Arah X (Desain Baru)	170
<b>Gambar 4.51</b> <i>Interstory Drift</i> Arah Y (Desain Baru)	170
<b>Gambar 4.52</b> <i>Roof Drift</i> Arah X (Desain Baru)	171
<b>Gambar 4.53</b> <i>Roof Drift</i> Arah X (Desain Baru)	171
<b>Gambar 4.54</b> Demand/Capacity Ratio Immediate Occupancy (Desain Baru)	172
<b>Gambar 4.55</b> Demand/Capacity Ratio Immediate Occupancy Seluruh Gempa (Desain Baru)	173

## **DAFTAR TABEL**

<b>Tabel</b>		<b>Halaman</b>
<b>Tabel 2.1</b>	Faktor $R$ , $C_d$ , dan $\Omega_0$ untuk Sistem Rangka Baja Pemikul Momen	13
<b>Tabel 2.2</b>	Simpangan antar Lantai Ijin, $\Delta_a$	16
<b>Tabel 2.3</b>	Nilai $R_y$ dan $R_t$ untuk Berbagai Material Baja dan Tulangan Baja21	
<b>Tabel 2.4</b>	Standar Material Baja	22
<b>Tabel 2.5</b>	Kinerja Struktur dan Tingkat Kerusakannya	40
<b>Tabel 2.6</b>	Parameter dan Kriteria Penerimaan untuk Analisis Nonlinier pada Struktur Baja	44
<b>Tabel 2.7</b>	Tingkatan Gempa dan Periode Ulang	48
<b>Tabel 2.8</b>	Penentuan Target Taraf Kinerja	49
<b>Tabel 4.1</b>	Hasil Perhitungan Balok dan Kolom Baja Rasio Tegangan Program ETABS	104
<b>Tabel 4.2</b>	Hasil Perhitungan Balok Komposit Rasio Tegangan Program ETABS	105
<b>Tabel 4.3</b>	Story Drift Arah U1 Akibat E1	105
<b>Tabel 4.4</b>	Story Drift Arah U2 Akibat E2	105
<b>Tabel 4.5</b>	Perhitungan Skala Gempa (Lanjutan pada Lampiran 4)	119
<b>Tabel 4.6</b>	Perhitungan Skala Gempa Kedua (Lanjutan pada Lampiran 4)	123
<b>Tabel 4.7</b>	Kesimpulan Penskalaan Gempa Tiap Gempa	125
<b>Tabel 4.8</b>	Sendi Plastis Pertama Gempa El Centro	126
<b>Tabel 4.9</b>	Sendi Plastis Pertama Gempa Kobe	127
<b>Tabel 4.10</b>	Sendi Plastis Pertama Gempa Northridge	129
<b>Tabel 4.11</b>	Interstory Drift dan Roof Drift Seluruh Gempa	130

<b>Tabel 4.12</b>	Interstory Drift dan Roof Drift Limit	132
<b>Tabel 4.13</b>	Perubahan Profil untuk Taraf Kinerja <i>Immediate Occupancy</i>	140
<b>Tabel 4.14</b>	Kesimpulan Penskalaan Gempa Tiap Gempa (Desain Baru)	163
<b>Tabel 4.15</b>	Sendi Plastis Pertama Gempa El Centro (Desain Baru)	165
<b>Tabel 4.16</b>	Sendi Plastis Pertama Gempa Kobe (Desain Baru)	165
<b>Tabel 4.17</b>	Sendi Plastis Pertama Gempa Northridge (Desain Baru)	166
<b>Tabel 4.18</b>	<i>Interstory Drift</i> dan <i>Roof Drift</i> Seluruh Gempa (Desain Baru)	167
<b>Tabel 4.19</b>	Interstory Drift dan Roof Drift Limit	169
<b>Tabel 5.1</b>	Modifikasi Penampang untuk Mencapai Taraf Kinerja <i>Immediate Occupancy</i>	175



## DAFTAR LAMPIRAN

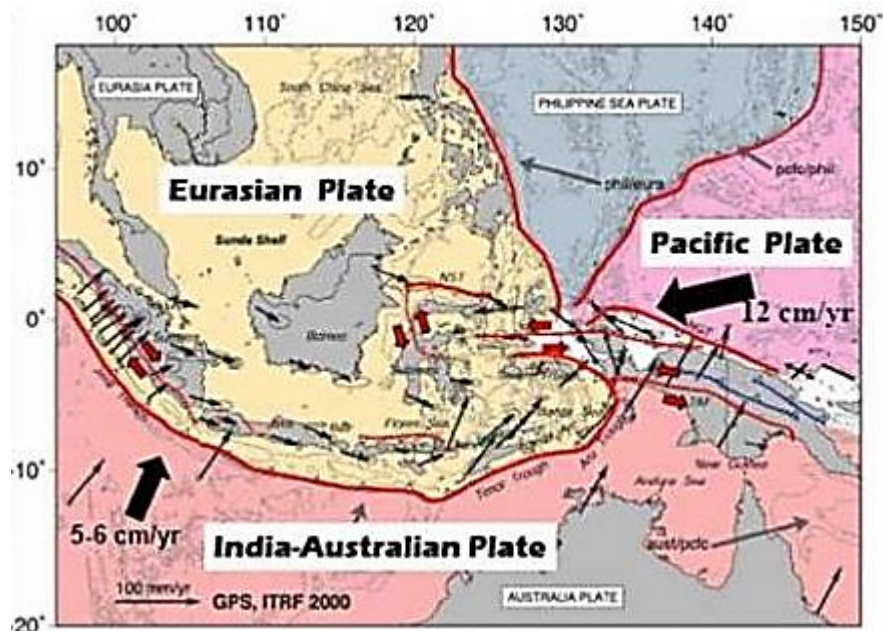
<b>Lampiran</b>		<b>Halaman</b>
<b>Lampiran 1</b>	Pengecekan Tekuk Lokal Pada Profil	179
<b>Lampiran 2</b>	Memasukkan Data Gempa pada Program ETABS	184
<b>Lampiran 3</b>	Mengkonversi Data Gempa Menjadi Data Spektra dengan Program Seismo	194
<b>Lampiran 4</b>	Tabel Perhitungan Penskalaan Gempa Riwayat Waktu	199
<b>Lampiran 5</b>	Perhitungan Faktor Skala Gempa Dinamik Berdasarkan SNI 1726:2012	213
<b>Lampiran 6</b>	Pengecekan Kriteria Penerimaan Komponen Untuk Taraf Kinerja Menurut Ketentuan ASCE 41-13	216
<b>Lampiran 7</b>	Desain Bresing Lateral	220
<b>Lampiran 8</b>	Nilai <i>Demand/Capacity Ratio</i> pada Denah Struktur	225

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Gempa merupakan suatu masalah yang sering dijumpai dalam perencanaan struktur di Indonesia. Risiko akan gempa diakibatkan oleh letak geografis Indonesia yang terletak di jalur pertemuan tiga lempeng tektonik, yaitu lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia, dan lempeng Pasifik seperti terlihat pada gambar 1.1. Lempeng Indo-Australia bergerak relatif ke arah utara bersubduksi dengan lempeng Eurasia, sementara itu lempeng Pasifik bergerak relatif ke arah barat. Pergerakan lempeng yang terus menerus ini akan menyimpan energi, dan pelepasan energi secara tiba-tiba ini akan dipancarkan ke segala arah berupa gelombang seismik. (BMKG).

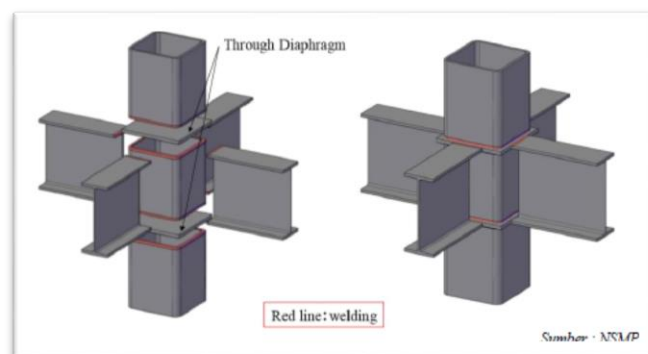


(Sumber: BMKG)

Gambar 1.1 Lempeng Tektonik di Indonesia

Daya rusak gelombang seismik ini perlu ditanggulangi dengan sistem struktur yang dapat menahan beban lateral dan momen yang ditimbulkan. Maka dari itu, sistem struktur yang umum digunakan di Indonesia untuk menahan gempa adalah Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM). Pada sistem struktur ini, struktur akan didesain untuk dapat mentransfer beban lateral ke balok dan kolom dengan mekanisme lentur, sehingga komponen struktur mempunyai perilaku yang elastis (Gerry, 2016).

Pada rangka baja pemikul momen, penggunaan kolom dengan profil baja IWF memiliki masalah pada sumbu lemah untuk menahan beban lateral, sehingga sering digunakan pemasangan bresing-bresing lateral. Untuk meminimalisir penggunaan bresing antar kolom-kolom struktur baja, maka dapat digunakan alternatif lain, yakni sambungan rigid dengan menggunakan kolom HSS dengan balok IWF, sehingga momen dan beban lateral dapat dipikul pada dua arah tanpa perlu menggunakan bresing. Hal ini menyebabkan rangka baja dapat memikul momen pada kedua arah, seperti pada struktur beton pada umumnya. Salah satu sambungan tipe ini dapat dilihat pada gambar 1.2 berikut ini.



(Sumber: NSMP)

**Gambar 1.2** Salah Satu Tipe Sambungan Rigid Baja

Aplikasi sambungan rigid kolom HSS dengan balok IWF pada sistem rangka momen ini perlu ditinjau ketahanan terhadap gempanya. Ketahanan dalam menghadapi gempa besar pada suatu bangunan terkait pada kemampuan sistem rangka itu sendiri untuk mendisipasikan energi histeretik selama terjadinya deformasi inelastik yang besar tanpa mengalami kehilangan kekuatan yang signifikan (Andre Puja 2009). Perilaku inelastik ini pada akhirnya tidak dapat dihindarkan sehingga perlu metode untuk menganalisis struktur secara inelastik.

Salah satu metode yang dapat menganalisis struktur secara inelastik terhadap gempa adalah dengan analisis inelastik dinamik riwayat waktu (*inelastic dynamic time history analysis*). Metode ini dapat mengestimasi respons struktur dengan memperhitungkan perilaku inelastik elemen-elemen strukturnya. Metode ini dapat digunakan dalam konsep *performance based design*, yaitu konsep desain bahwa suatu bangunan perlu memenuhi suatu kriteria untuk memenuhi tingkatan kinerja (*performance level*) bangunan tertentu pada perbedaan tingkatan daya rusak yang berbeda, seperti pada gambar 1.3.



(Sumber: Internet, dimodifikasi)

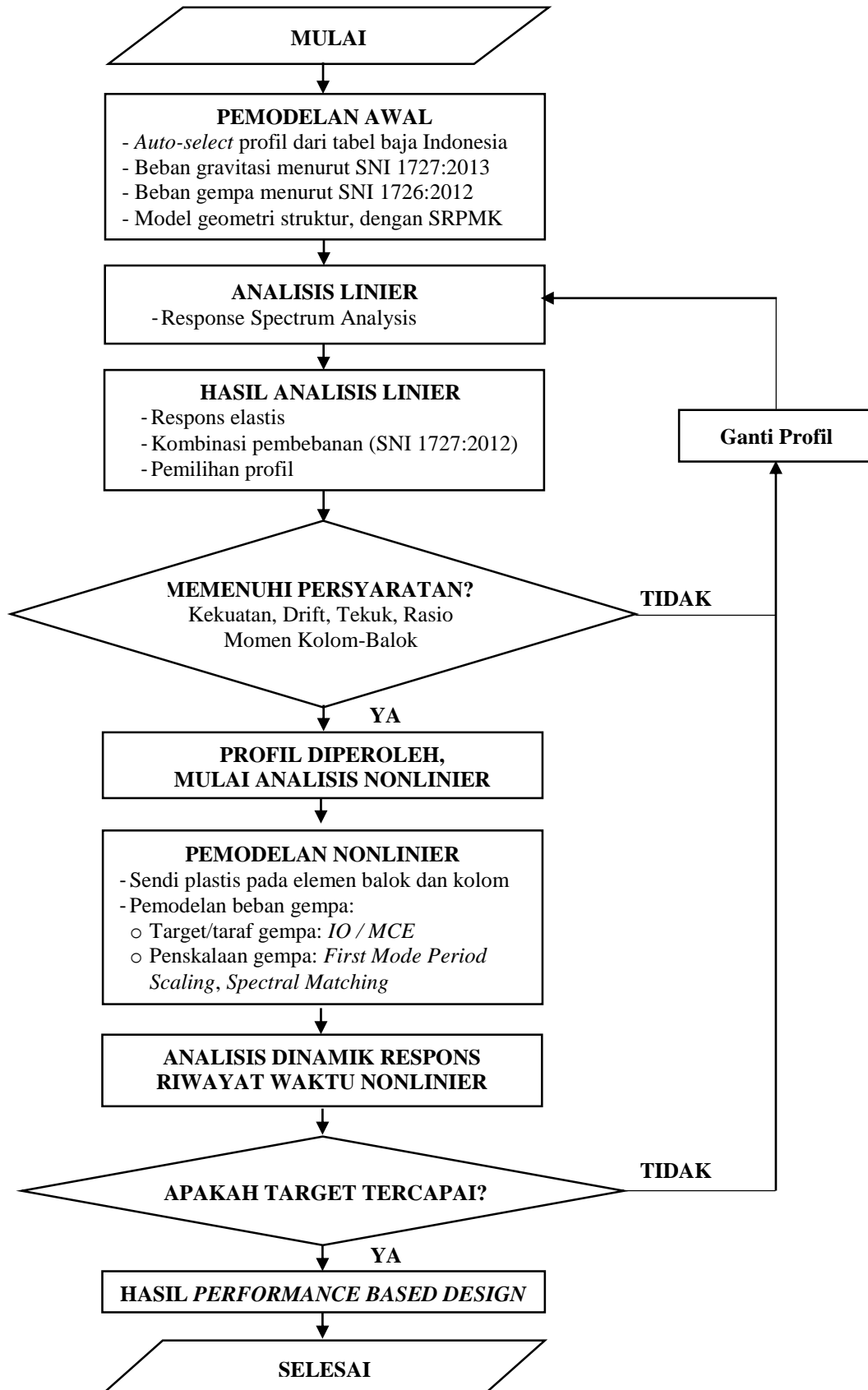
**Gambar 1.3** Performance Levels akibat gempa

Pada gambar tersebut, dapat dilihat bahwa terdapat kriteria-kriteria kinerja yang diharapkan dari suatu gempa dapat terjadi. Tingkatan kinerja struktur harus minimal dapat memenuhi kriteria sebagai berikut ini (SEAOC, 1995):

1. **Level gempa kecil** (Skala 4-4,9) dapat ditanggulangi tanpa kerusakan;
2. **Level gempa sedang** (Skala 5-5,9) dapat ditanggulangi tanpa kerusakan struktural;
3. **Level gempa besar** (Skala 6-6,9) dapat ditanggulangi dengan kerusakan struktural dan nonstruktural, namun tetap harus melindungi keselamatan hidup pengguna;
4. **Level gempa parah** (Skala 7-7,9) diantisipasi tanpa keruntuhan.

Kriteria-kriteria inilah yang menjadi dasar pada *performance based design*. Sebagai acuan awal, maka desain menggunakan spektra desain (*design basis earthquake*) ditargetkan setidaknya dapat mencapai kinerja *life safety*, sedangkan desain menggunakan spektra maksimum (*maximum considered earthquake*) ditargetkan setidaknya dapat mencapai kinerja *collapse prevention*.

Dengan digunakannya metode ini, struktur desain linier dapat dievaluasi tingkatan kinerja strukturnya menggunakan analisis nonlinier riwayat waktu. Dari evaluasi ini, pada akhirnya akan dilakukan perubahan desain sesuai dengan tingkatan kinerja struktur yang diinginkan dan harus memenuhi ketentuan yang disyaratkan. Acuan dari seluruh langkah ini dapat direpresentasikan menggunakan diagram alir pada gambar 1.4 berikut.



Gambar 1.4 Diagram Alir Performance Based Design

## 1.2 Inti Permasalahan

Suatu struktur tahan gempa perlu didesain untuk memenuhi persyaratan desain dan juga dapat memenuhi *performance level* yang diinginkan. Desain ini harus dapat memperhitungkan sifat inelastik yang diakibatkan gempa, sehingga dapat dilakukan analisis nonlinier riwayat waktu. Analisis nonlinier riwayat waktu ini digunakan untuk melakukan evaluasi kinerja struktur akibat spektra desain. Setelah itu, struktur akan ditingkatkan *performance level*-nya sesuai dengan konsep *performance based design*. Langkah-langkah pengerjaan dapat dilihat pada diagram alir gambar 1.4.

## 1.3 Tujuan Penulisan

Tujuan dari penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut:

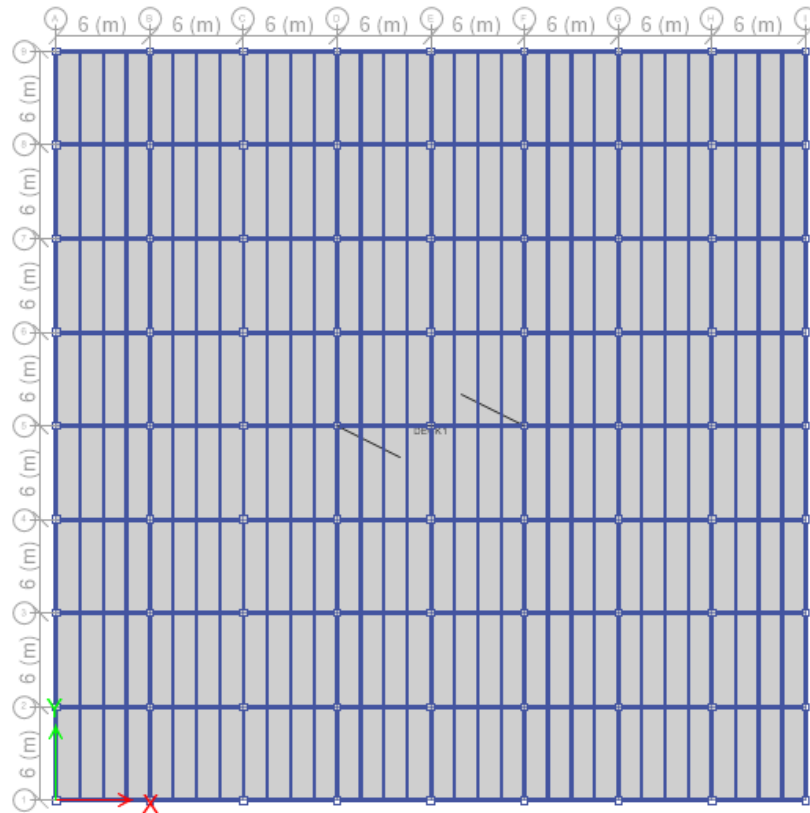
1. Menganalisis nonlinier struktur dengan *time history analysis* serta mengevaluasi kinerja struktur dengan kriteria *performance based design* pada struktur rangka baja momen khusus yang menggunakan sambungan rigid kolom HSS dengan balok IWF pada program ETABS.
2. Melakukan modifikasi desain untuk meningkatkan *performance level* struktur hingga taraf kinerja *Immediate Occupancy*.

#### 1.4 Pembatasan Masalah

Pembatasan masalah pada analisis yang dilakukan pada penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut:

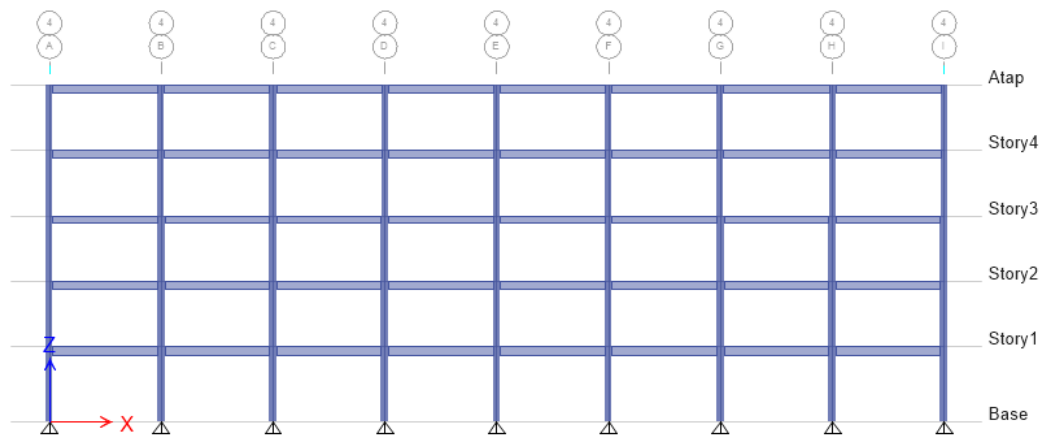
1. Pemodelan struktur dilakukan dengan rangka baja 3 dimensi dengan perletakan sendi pada dasar kolom.
2. Bangunan terdiri dari 5 lantai tipikal termasuk atap, dengan bentang bangunan 48 m x 48 m, seperti pada gambar 1.5, 1.6, dan 1.7.
3. Bangunan direncanakan sesuai dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) pada kedua sumbu.
4. Lokasi proyek di Padang dengan kondisi tanah lunak (SE), dengan fungsi sebagai gedung perkantoran.
5. Profil kolom adalah HSS, sedangkan profil balok adalah IWF.
6. Hubungan balok dan kolom utama adalah jepit, sedangkan untuk balok-balok anaknya dimodelkan sendi seperti pada gambar 1.8.
7. Desain sambungan tidak dilakukan.
8. Pemodelan sendi plastis pada balok dan kolom mengikuti *automatic plastic hinge* dengan *default* ETABS
9. Pemodelan dan analisis dilakukan dengan menggunakan program ETABS.





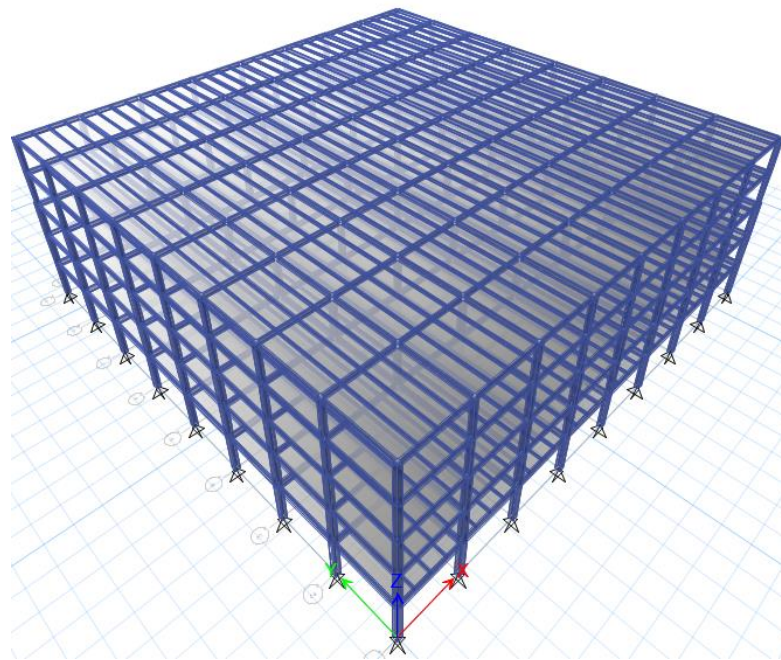
(Sumber: Penulis, program ETABS)

**Gambar 1.5** Denah Tipikal Model Struktur Rangka Baja



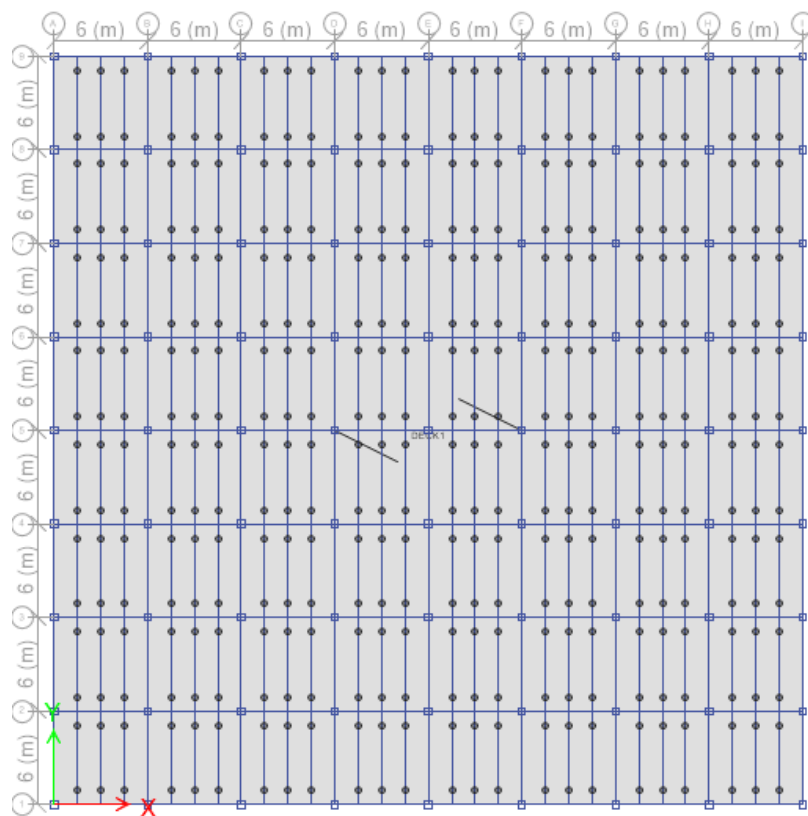
(Sumber: Penulis, program ETABS)

**Gambar 1.6** Potongan Tipikal Model Struktur Rangka Baja



(Sumber: Penulis, program ETABS)

**Gambar 1.7** Model 3 Dimensi Struktur Rangka Baja



(Sumber: Penulis, program ETABS)

**Gambar 1.8** Konfigurasi *Moment Release* pada Pembalokan

## 1.5 Metode Penelitian

Metode penelitian dalam penulisan skripsi ini dilakukan dengan:

### 1. Studi Literatur

Pustaka yang digunakan adalah catatan kuliah, buku teks, *paper*, dan peraturan-peraturan desain struktur.

### 2. Studi Analitis

*Performance based design* yang dilakukan dengan cara mengevaluasi dan meningkatkan kinerja struktural dari pemodelan struktur menggunakan program ETABS dengan melakukan *time history analysis*.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi ini disusun menjadi 5 bab sebagai berikut:

### 1. BAB 1 Pendahuluan

Bab ini membahas tentang latar belakang, diagram alir, inti permasalahan, tujuan penulisan, pembatasan masalah, metode penulisan, dan sistematika penulisan pada skripsi ini.

### 2. BAB 2 Studi Pustaka

Bab ini membahas tentang dasar teori, tinjauan pustaka, serta persyaratan yang digunakan sebagai acuan dalam penulisan skripsi ini.

### **3. BAB 3 *Performance Based Design***

Bab ini berisikan tentang metode dan analisis nonlinier riwayat waktu yang dilakukan pada program ETABS untuk melakukan proses *performance based design*.

### **4. BAB 4 Studi Kasus dan Pembahasan**

Bab ini berisikan data-data struktur dan hasil analisis dari seluruh pemodelan yang dilakukan beserta dengan pembahasannya.

### **5. BAB 5 Penutup**

Bab ini berisikan simpulan dan saran dari penulisan skripsi ini.