

SKRIPSI

**STUDI ANALISIS EFEK P-DELTA PADA GEDUNG
BETON BERTULANG DELAPAN LANTAI DENGAN
*SOFT STORY***



**MARIO RINALDI
NPM : 2014410017**

PEMBIMBING: Lidya Fransisca Tjong, Ir., M.T.

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 227/SK/BAN-PT/Ak-XVI/S/XI/2013)
BANDUNG
JANUARI 2018**

SKRIPSI

**STUDI ANALISIS EFEK P-DELTA PADA GEDUNG
BETON BERTULANG DELAPAN LANTAI DENGAN
*SOFT STORY***



**MARIO RINALDI
NPM : 2014410017**

PEMBIMBING: Lidya Fransisca Tjong, Ir., M.T.

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 227/SK/BAN-PT/Ak-XVI/S/XI/2013)
BANDUNG
JANUARI 2018**

SKRIPSI

**STUDI ANALISIS EFEK P-DELTA PADA GEDUNG
BETON BERTULANG DELAPAN LANTAI DENGAN
*SOFT STORY***



**MARIO RINALDI
NPM : 2014410017**

**BANDUNG, 3 JANUARI 2018
PEMBIMBING:**



Lidya Fransisca Tjong, Ir., M.T.

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 227/SK/BAN-PT/Ak-XVI/S/XI/2013)
BANDUNG
JANUARI 2018**

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Mario Rinaldi

NPM : 2014410017

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul : *Studi Analisis Efek P-Delta Pada Gedung Beton Bertulang Delapan Lantai Dengan Soft Story* 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, 3 Januari 2018



Mario Rinaldi

2014410017

STUDI ANALISIS EFEK P-DELTA PADA GEDUNG BETON BERTULANG DELAPAN LANTAI DENGAN *SOFT STORY*

Mario Rinaldi
NPM: 2014410017

Pembimbing: Lidya Fransisca Tjong, Ir., M.T.

UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 227/SK/BAN-PT/Ak-XVI/S/XI/2013)
BANDUNG
JANUARI 2018

ABSTRAK

Perencanaan bangunan perlu memperhatikan aspek-aspek tertentu. Ketika bangunan dikenai beban aksial maka akan menghasilkan simpangan tertentu sejarak Δ . Pengaruh P- Δ memberikan penambahan persentase terhadap hasil *bending moment*, simpangan dan simpangan antar lantai maupun periode getar. Analisis P- Δ terdiri dari Analisis Nonlinear Statik "*exact*" dan metode pendekatan yang terdiri dari *Iterative* dan *Based on mass*. Digunakan 3 model yaitu model 1 dengan analisis nonlinear statik tanpa ketidakberaturan, model 2 terdiri dari model 2a (nonlinear statik), 2b (*iterative*), 2c (*based on mass*) dengan terdapat ketidakberaturan vertikal (*soft story*). Model 3 dianalisis dengan nonlinear statik (3a), *iterative* (3b) dan *based on mass* (3c) juga terdapat *soft story* dan ketidakberaturan torsi. Didapatkan simpangan lantai yang mendekati analisis nonlinear statik "*exact*" menggunakan metode *iterative* dengan beda persentase 17,743 % pada model 2 dan 5,45 % pada model 3. Simpangan lantai akibat pengaruh ketidakberaturan vertikal (*soft story*) 64,511 % (model 2), akibat *soft story* dan ketidakberaturan torsi (model 3) sebesar 69,378 %. Penambahan *bending moment* terbesar terjadi pada kolom eksterior dengan metode *iterative* mendekati nilai "*exact*" berkisar 4,012 - 7,99 % untuk model 2. Model 3 didapatkan *bending moment* lebih besar daripada nonlinear statik sebesar 11,94 %. *Soft story* menambah *bending moment* dengan persentase 55,025 % sedangkan *soft story* dan ketidakberaturan torsi menambah 58,54 %. Simpangan antar lantai terbesar pada metode *iterative* terutama lantai 1-3 (model 3) sebesar 31,078 %. Pengaruh ketidakberaturan baik horisontal maupun vertikal terjadi beda persentase simpangan antar lantai berkisar 64,5 %. Pengaruh adanya P- Δ pada analisis *iterative* dan *based on mass* menambah persentase periode getar 4,628 % dan 3,067 % terhadap nonlinear statik. Pengaruh ketidakberaturan vertikal menambah periode getar 11,73 %, ketidakberaturan vertikal dan horisontal sebesar 16,918 %. Dengan pengaruh ketidakberaturan vertikal pada model 2, maka diperlukan perbesaran penampang kolom sebesar 7,692 %, didapatkan nilai PMM ratio 0,947. Untuk Model 3 dengan penampang yang sama seperti model 2, dibutuhkan perbesaran jumlah dan diameter tulangan sebesar 54,85 % dengan PMM ratio 1,004.

Kata Kunci: *P-Delta (P- Δ)*, *soft story*, *iterative*, *based on mass*, *torsion*

ANALYSIS OF P-DELTA EFFECT OF REINFORCED CONCRETE EIGHT FLOORS BUILDING WITH SOFT STORY

Mario Rinaldi
NPM: 2014410017

Advisor: Lidya Fransisca Tjong, Ir., M.T.

PARAHYANGAN CATHOLIC UNIVERSITY
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
(Accredited Based On SK BAN-PT Nomor: 227/SK/BAN-PT/Ak-XVI/S/XI/2013)
BANDUNG
JANUARY 2018

ABSTRACT

To plan a building needs to pay attention to certain aspects. When the building is subjected to an axial load it will produce a certain deviation in the range Δ . The effect of P- Δ gives the addition of percentage to bending moment, displacement and story drift and vibration period. The P- Δ Analysis consists of a "exact" Static Nonlinear Analysis and an approach method consisting of Iterative and Based on mass. Used 3 models are Model 1 with nonlinear static analysis without irregularity, model 2 consists of model 2a (nonlinear static), 2b (iterative), 2c (Based on mass) with there is vertical irregularity (soft story). Model 3 was analyzed with Static Nonlinear (3a), iterative (3b) and Based on mass (3c) as well as soft stories and torque irregularities. Obtained that the displacement of static nonlinear analysis "exact" using iterative method with different percentage 17,743 % in model 2 and 5,45% in model 3. The displacement due to influence of vertical irregularity (soft story) 64,511% (model 2), due soft story and torque irregularity (model 3) of 69.378%. The biggest bending moment addition occurred on the exterior column with iterative approaching approximate value of 4,012 - 7,99 % for model 2. Model 3 got bending moment bigger than nonlinear static equal to 11,94%. Soft story adds bending moment with percentage of 55,025 % while soft story and torque irregularity add 58,54 %. The largest story drift on the iterative method, especially on 1-3 floors (model 3) were 31.078 %. The influence of irregularities in both horizontal and vertical differences in the percentage of story drift ranges from 64.5%. The effect of P- Δ on iterative and based on mass analysis increased the percentage of vibration period 4,628% and 3,067% against static nonlinear. The effect of vertical irregularity adds an 11.73% vibration period, horizontal and vertical irregularities of 16.918%. With the effect of vertical irregularity in model 2, it is necessary magnification of column section of 7.692%, obtained the value of PMM ratio 0.947. For Model 3 with the same section as model 2, magnification of the number and diameter of reinforcement is 54.85% with PMM ratio of 1.004.

Keywords: *P-Delta (P- Δ), soft story, iterative, based on mass, torsion*

PRAKATA

Puji syukur penulis ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat, rahmat, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul *Studi Analisis Efek P-Delta Pada Gedung Beton Bertulang Delapan Lantai Dengan Soft Story*. Skripsi ini merupakan syarat kelulusan studi dalam tingkat Sarjana Strata 1 (S-1) di Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil, Universitas Katolik Parahyangan.

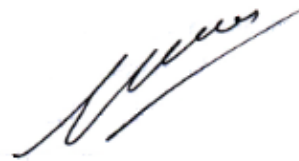
Dalam proses penulisan skripsi ini, banyak hambatan yang dihadapi penulis. Berkat saran, kritik, dan dorongan dari berbagai pihak, penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini. Untuk itu penulis ingin menyampaikan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Lidya Fransisca Tjong, Ir., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah membimbing, memberi saran dan wawasan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini;
2. Nenny Samudra, Ir., M.T. dan Altho Sagara, S.T., M.T. selaku dosen penguji yang telah memberi masukan dan wawasan kepada penulis;
3. Seluruh dosen di Program Studi Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan yang telah membantu penulis semasa menjalani perkuliahan;
4. Orang tua saya yaitu Mama, Papa yang penulis sangat sayangi, dimana orang tua sangat memberikan dukungan, memberikan semangat, motivasi dan doa yang begitu besar sehingga penulis selalu memiliki motivasi untuk menyelesaikan skripsi ini sampai selesai;
5. Ketiga kakak penulis yaitu Stefi, Maya, Maxi dan keluarga penulis yang telah memberi doa, semangat dan dukungan selama penulisan skripsi;
6. Kak Christian Pramudana, yang selalu memberikan dukungan dan doa hingga penulis dapat menyelesaikan skripsi sampai selesai;
7. Teman-teman yang telah membantu saya dalam proses penyelesaian skripsi ini yaitu Michael Steven, Sonatha, yang telah memberikan saran dan masukan dalam penyusunan skripsi ini;
8. Teman-teman yang juga menjalankan skripsi, yaitu Michael Steven, Julius Setiawan, Oryza, Steven atas kebersamaannya dalam menghadapi hambatan dalam skripsi;

9. Seluruh mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan angkatan 2014 yang telah menemani penulis dan membantu penulis dari awal masa perkuliahan hingga saat ini;
10. Semua pihak-pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu yang telah memberikan dukungan secara langsung maupun tidak langsung.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih banyak kekurangan dan masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan masukan, saran dan kritik yang membangun dari pembaca. Penulis berharap skripsi ini tidak hanya bermanfaat bagi penulis saja, tetapi dapat bermanfaat bagi pihak-pihak yang membaca.

Bandung, 3 Januari 2018



Mario Rinaldi
2014410017

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
ABSTRACT.....	ii
PRAKATA.....	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR NOTASI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xviii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1-1
1.1 Latar Belakang.....	1-1
1.2 Inti Permasalahan.....	1-1
1.3 Tujuan Penulisan.....	1-2
1.4 Pembatasan Masalah.....	1-2
1.5 Metode Penulisan.....	1-6
BAB 2 STUDI PUSTAKA.....	2-1
2.1 Analisis Non Linear dalam Desain Seismik.....	2-1
2.2 Analisis Statik (<i>Static Analysis</i>).....	2-1
2.3 Analisis Dinamik (<i>Dynamic of Structures</i>).....	2-2
2.3.1 Analisis ragam spektrum.....	2-2
2.3.2 Analisis Riwayat Waktu.....	2-2
2.4 <i>Second Order Analysis</i>	2-2
2.4.1 Analisis Perkiraan P-Delta.....	2-3
2.5 Analisis P-Delta Awal (<i>Initial P-Delta</i>).....	2-6
2.6 Analisis Non Linear Statik (<i>Exact Analysis</i>).....	2-7

2.7	Prosedur Perhitungan P-Delta pada Program ETABS.....	2-7
2.7.1	<i>Non Iteratived Based on mass</i>	2-8
2.7.2	<i>Iteratived Based on Loads (Iterative Solution)</i>	2-9
2.8	Beban Gempa Rencana (SNI 1726:2012).....	2-10
2.9	Parameter-Parameter yang Diperlukan dalam Analisis Struktur Gedung (SNI 1726:2012)	2-10
2.9.1	Kategori Risiko Bangunan Gedung.....	2-10
2.9.2	Faktor Keutamaan Gempa (I_e).....	2-11
2.10	Parameter Respons Spektral Percepatan.....	2-11
2.10.1	Parameter Percepatan Terpetakan	2-12
2.10.2	Parameter Percepatan Spektral Desain	2-14
2.10.3	Spektrum Respons Desain	2-14
2.10.4	Jenis Tanah	2-15
2.10.5	Kategori Desain Seismik	2-16
2.10.6	Sistem Struktur Penahan Beban Gempa.....	2-17
2.11	Pembebanan pada Struktur Gedung (SNI-1727-2013 dan Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung, 1987)	2-19
2.11.1	Jenis-Jenis Beban pada Struktur Gedung	2-19
2.11.2	Beban Hidup pada Lantai Gedung.....	2-19
2.11.3	Bahan Bangunan, Beban Mati dan Beban Mati Tambahan.....	2-20
2.11.4	Kombinasi Pembebanan	2-21
2.12	Geser Dasar Seismik	2-22
2.13	Penentuan Perioda.....	2-23
2.14	Ketidakteraturan Struktur.....	2-24
2.14.1	Ketidakteraturan Horisontal.....	2-25
2.14.2	Ketidakteraturan Vertikal	2-29
2.15	Faktor Skala dan Simpangan Antar Lantai	2-33

2.15.1	Penentuan Simpangan Antar Lantai.....	2-34
2.15.2	Batasan Simpangan antar lantai tingkat.....	2-35
2.16	Pengaruh P-Delta.....	2-36
BAB 3	PEMODELAN STRUKTUR.....	3-1
3.1	Data Bangunan	3-1
3.2	Data Struktur	3-2
3.3	Data Material.....	3-2
3.4	Pembebanan	3-3
3.4.1	Beban Vertikal	3-3
3.4.2	Beban Lateral	3-4
3.5	Hasil Pra Desain	3-6
3.6	Penggunaan Jenis Kolom dan Balok pada Model.....	3-8
BAB 4	ANALISIS DAN PEMBAHASAN	4-1
4.1	Pemeriksaan Ketidakberaturan Struktur pada Model.....	4-1
4.1.1	Ketidakteraturan Horisontal.....	4-1
4.1.2	Ketidakteraturan Vertikal.....	4-8
4.2	Pengecekan Respons Struktur dengan Analisis Tanpa P-delta.....	4-18
4.2.1	Jumlah Ragam.....	4-18
4.2.2	Simpangan Antar Lantai	4-20
4.3	Analisis P-Delta (Nonlinear Statik, <i>Iterative, Based on mass</i>).....	4-23
4.3.1	Pengecekan P-Delta (SNI 1726-2012).....	4-23
4.3.2	Simpangan Maksimum Lantai	4-26
4.3.3	<i>Bending Moment</i>	4-31
4.3.4	Simpangan Antar Lantai	4-38
4.3.5	Periode Getar	4-43
4.3.6	PMM Ratio.....	4-45

BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	5-1
5.1	Kesimpulan	5-1
5.2	Saran	5-2
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN 1	L1-1
LAMPIRAN 2	L2-1
LAMPIRAN 3	L3-1
LAMPIRAN 4	L4-1

DAFTAR NOTASI

A_g	= Luas total komponen struktur
$A_{s,max}$	= Luas tulangan longitudinal maksimum
$A_{s,min}$	= Luas tulangan longitudinal minimum
A_{st}	= Luas tulangan memanjang
A_x	= Faktor pembesaran torsi
B	= Lebar total badan dan sayap pada penampang balok-T
b_b	= Lebar balok
b_f	= Lebar komponen balok
b_k	= Panjang komponen kolom
b_w	= Lebar komponen struktur
β	= Rasio kebutuhan geser terhadap kapasitas geser antara tingkat x dan x-1
c_2	= Lebar komponen struktur penumpu
C_d	= Faktor pembesaran defleksi
C_s	= Koefisien respons seismik
C_t	= Parameter periode pendekatan untuk menentukan periode fundamental struktur
C_u	= Koefisien batas atas periode
D	= Beban mati
d	= Jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan Tarik
Dif	= Persentase beda
DL	= Beban mati
E	= Beban gempa
E	= Modulus Elastisitas
E_h	= Beban gempa horisontal
E_v	= Beban gempa vertikal
F_a	= Faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek
f'_c	= Kuat tekan beton
F_x	= <i>Base reaction</i> pada arah sumbu X

F_y	= <i>Base reaction</i> pada arah sumbu Y
F_v	= Faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran perioda 1 detik
f_y	= Kuat leleh tulangan longitudinal
H	= Tinggi antar lantai
h	= Tinggi komponen balok atau lebar komponen kolom
h_b	= Tinggi balok
h_f	= Tebal pelat
h_k	= Lebar komponen kolom
h_n	= Ketinggian struktur dari atas dasar hingga tingkat tertinggi struktur
h_{sx}	= Tinggi lantai di bawah lantai x
I	= Diizinkan
I_e	= Faktor keutamaan gempa
L	= Beban hidup
L_0	= Beban hidup terdistribusi merata minimum
l_n	= Bentang bersih untuk komponen struktur
L_r	= Beban hidup akibat hujan
L_{Br}	= Panjang <i>Bracing</i> yang ditinjau
L_t	= Luas <i>tributary area</i>
l_t	= Lebar <i>tributary area</i>
ME	= <i>Mechanical Electrical</i>
M_t	= Momen torsi bawaan
M_{ta}	= Momen torsi tidak terduga
n	= Jumlah suatu elemen
p_t	= Panjang <i>tributary area</i>
P_u	= Gaya tekan aksial terfaktor
P_x	= Beban desain vertikal total pada dan di atas tingkat x (kN)
R	= Koefisien modifikasi respons
R_R	= Respons maksimum struktur yang beraturan
R_{IR}	= Respons maksimum struktur yang tidak beraturan
S_1	= Percepatan batuan dasar pada perioda 1 detik
S_a	= Spektrum respons percepatan desain

SC	= Kelas situs tanah keras
S_{D1}	= Parameter percepatan spektral desain untuk perioda 1 detik
S_{DS}	= Parameter percepatan spektral desain untuk perioda pendek
SIDL	= <i>Super Imposed Dead Load</i>
S_{M1}	= Parameter spektrum respons percepatan pada perioda 1 detik
S_{MS}	= Parameter spektrum respons percepatan pada perioda pendek
SNI	= Standar Nasional Indonesia
SRPMK	= Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus
S_s	= Percepatan batuan dasar pada perioda pendek
SW	= <i>Self Weight</i> (beban struktur sendiri)
T_0	= Periode awal fundamental struktur
T_a	= Periode fundamental pendekatan
TB	= Tidak dibatasi
TI	= Tidak diizinkan
t_p	= Tebal pelat
T_s	= Periode getar fundamental struktur
V	= Gaya geser dasar
V_t	= Gaya geser dasar dari kombinasi ragam yang disyaratkan
VX	= Gaya geser dasar pada arah sumbu X
VY	= Gaya geser dasar pada arah sumbu Y
VCQC	= Gaya kuadratik pada kondisi statik
V_x	= Gaya geser seismik yang bekerja antar tingkat x dan x -1
W	= Beban Angin
W	= Berat seismik efektif struktur
x	= Parameter periode pendekatan
Δ	= Simpangan antar lantai
Δ_a	= Simpangan antar lantai izin
δ_{avg}	= Rata-rata perpindahan di titik-titik terjauh struktur di tingkat x (mm) yang dihitung dengan mengasumsikan $A_x = 1$ (mm)
δ_{max}	= Perpindahan maksimum di tingkat x (mm) yang dihitung dengan mengasumsikan $A_x = 1$ (mm)
δ_{xe}	= Defleksi pada lokasi yang disyaratkan

δ_n	= lendutan atau delta kecil pada lantai n (mm)
γ	= Berat jenis
Ω_0	= Faktor kuat lebih sistem
θ	= Sudut kuat gempa
ρ	= Faktor redundansi
ρ	= Rasio tulangan
Δ_{i+1}	= Simpangan orde lantai tertentu tambah lantai 1

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Denah Lantai 1-8 (Model 1-3)	1-2
Gambar 1.2 Denah Lantai 1 (Model 3).....	1-3
Gambar 1.3 Tampak Tiga Dimensi Struktur Model 1	1-3
Gambar 1.4 Tampak Tiga Dimensi Struktur Model 2 dan 3	1-4
Gambar 1.5 Potongan Melintang Model 1 Pada As 1.....	1-4
Gambar 1.6 Potongan Memanjang Model 1 Pada As A	1-5
Gambar 1.7 Potongan Melintang Model 2 dan Model 3 Pada As 1	1-5
Gambar 1.8 Potongan Memanjang Model 2 dan Model 3 Pada As A.....	1-6
Gambar 2.1 Efek P-Delta pada struktur kantilever	2-3
Gambar 2.2 <i>First Order Analysis</i>	2-5
Gambar 2.3 <i>Second Order Analysis</i>	2-5
Gambar 2.4 <i>P-Delta</i> Besar	2-6
Gambar 2.5 Momen yang dihasilkan P-delta.....	2-8
Gambar 2.6 Percepatan Batuan Dasar pada Perioda Pendek, S_s	2-12
Gambar 2.7 Percepatan Batuan Dasar Pada Perioda Satu Detik, S_1	2-13
Gambar 2.8 Spektrum Respons Desain	2-15
Gambar 2.9 Faktor Pembesaran Torsi Tak Terduga	2-26
Gambar 2.10 Ketidakberaturan Sudut Dalam	2-27
Gambar 2.11 Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma.....	2-27
Gambar 2.12 Ketidakberaturan Pergeseran Melintang terhadap Bidang.....	2-27
Gambar 2.13 Ketidakberaturan Sistem Nonparalel	2-28
Gambar 2.14 Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak (<i>Soft Story</i> dan <i>Extreme Soft Story</i>).....	2-31
Gambar 2.15 Ketidakberaturan Berat Massa	2-31
Gambar 2.16 Ketidakberaturan Geometri Vertikal.....	2-31
Gambar 2.17 Ketidakberaturan Arah Bidang Gaya dalam Elemen Penahan Gaya Vertikal	2-32
Gambar 2.18 Penentuan Simpangan Antar Lantai.....	2-35
Gambar 3.1 Potongan Memanjang di As B Model 1	3-8
Gambar 3.2 Potongan Melintang di As 2 Model 1	3-9

Gambar 3.3 Potongan Memanjang di As B Model 2 dan 3.....	3-9
Gambar 3.4 Potongan Melintang di As 2 Model 2 dan 3	3-10
Gambar 4.1 Tinjauan Pengecekan Ketidakberaturan Torsi.....	4-1
Gambar 4.2 Ketidakberaturan Torsi Sumbu X dan Y Model 3.....	4-6
Gambar 4.3 Ilustrasi Pemeriksaan Sudut dalam Model 1 dan Model 2	4-7
Gambar 4.4 Ketidakberaturan Vertikal Tingkat Lunak Model 3	4-13
Gambar 4.5 Pemeriksaan Ketidakberaturan Geometri Vertikal Elevasi A Pada Model 1.....	4-15
Gambar 4.6 Pemeriksaan Ketidakberaturan Geometri Vertikal Elevasi A Pada Model 2, 3.....	4-15
Gambar 4.7 Simpangan Antar Lantai Model 1.....	4-22
Gambar 4.8 Simpangan Antar Lantai Model 2 dan 3.....	4-23
Gambar 4.9 Simpangan Lantai dengan Analisis P- Δ pada Model 2	4-27
Gambar 4.10 Simpangan Lantai dengan Analisis P- Δ pada Model 3	4-29
Gambar 4.11 Simpangan Lantai dengan Analisis Nonlinear Statik Model 1 - 34.....	31
Gambar 4.12 Denah Kolom.....	4-32
Gambar 4.13 Simpangan Antar Lantai Nonlinear , <i>Iterative, Based on mass</i> Model 2	4-39
Gambar 4.14 Simpangan Antar Lantai pada Model 3	4-41
Gambar 4.15 Simpangan Antar Lantai Nonlinear Statik Model 1-3.....	4-42
Gambar 4.16 PMM Ratio pada As 2 (Model 1)	4-45
Gambar 4.17 PMM Ratio pada As 2 (Model 2)	4-46
Gambar 4.18 PMM Ratio pada As 4 (Model 1)	4-46
Gambar 4.19 PMM Ratio pada As 4 (Model 2)	4-47
Gambar 4.20 PMM Ratio pada As 2 (Model 3)	4-47
Gambar 4.21 PMM Ratio pada As 4 (Model 3)	4-48

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk Beban Gempa	2-11
Tabel 2.2 Faktor Keutamaan I untuk Berbagai Kategori Risiko	2-11
Tabel 2.3 Koefisien Situs, F_a	2-13
Tabel 2.4 Koefisien Situs, F_v	2-13
Tabel 2.5 Jenis-Jenis Klasifikasi Tanah.....	2-15
Tabel 2.6 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Perioda Pendek.....	2-16
Tabel 2.7 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Perioda 1 Detik.....	2-17
Tabel 2.8 Faktor R, Cd, dan Ω_0 Untuk Sistem Penahan Gaya Gempa Rangka Beton Bertulang.....	2-18
Tabel 2.9 Beban Hidup Terdistribusi merata minimum, L_o dan beban hidup terpusat minimum (SNI-1727-2013)	2-20
Tabel 2.10 Bahan Bangunan Komponen Gedung (Beban Mati Tambahan SIDL) 2-20	
Tabel 2.11 Koefisien Untuk Batas Atas Pada Perioda Yang Dihitung, C_u	2-24
Tabel 2.12 Nilai Parameter Perioda Pendekatan C_t dan x	2-24
Tabel 2.13 Ketidakberaturan Horisontal Pada Struktur.....	2-25
Tabel 2.14 Ketidakberaturan Vertikal Pada Struktur.....	2-29
Tabel 2.15 Simpangan Antar Lantai Ijin, $\Delta_a^{a,b}$	2-35
Tabel 3.1 Beban Mati Tambahan.....	3-3
Tabel 3.2 Beban Hidup	3-4
Tabel 3.3 Sudut Kuat dan Faktor Skala Gempa.....	3-5
Tabel 3.4 Ukuran Penampang Balok dan Kolom Pemodelan Awal Pada Model 13-6	
Tabel 3.5 Ukuran Penampang Balok dan Kolom Pemodelan Awal Pada Model 2 dan 3.....	3-7
Tabel 3.6 Dimensi dan Tulangan Kolom Pada Model 1	3-7
Tabel 3.7 Dimensi dan Tulangan Kolom Pada Model 2 dan 3.....	3-7

Tabel 3.8 Ukuran Penampang Balok Model 1, Model 2, dan Model 3.....	3-8
Tabel 4.1 Rasio $\Delta_{Max}/\Delta_{Avg}$ pada Ujung Struktur As A1-A5 Arah X (Model 1 Cek Ketidakberaturan Horisontal Tipe 1A)	4-2
Tabel 4.2 Rasio $\Delta_{Max}/\Delta_{Avg}$ pada Ujung Struktur As A1-A5 Arah X (Model 1 Cek Ketidakberaturan Horisontal Tipe 1B)	4-2
Tabel 4.3 Rasio $\Delta_{Max}/\Delta_{Avg}$ pada Ujung Struktur As D1-D5 Arah X (Model 1 Cek Ketidakberaturan Horisontal Tipe 1A)	4-3
Tabel 4.4 Rasio $\Delta_{Max}/\Delta_{Avg}$ pada Ujung Struktur As D1-D5 Arah X (Model 1 Cek Ketidakberaturan Horisontal Tipe 1B)	4-3
Tabel 4.5 Rasio $\Delta_{Max}/\Delta_{Avg}$ pada Ujung Struktur As A1-D1 Arah Y (Model 2 Cek Ketidakberaturan Horisontal Tipe 1A)	4-4
Tabel 4.6 Rasio $\Delta_{Max}/\Delta_{Avg}$ pada Ujung Struktur As A1-D1 Arah Y (Model 2 Cek Ketidakberaturan Horisontal Tipe 1B)	4-4
Tabel 4.7 Rasio $\Delta_{Max}/\Delta_{Avg}$ pada Ujung Struktur As A4-D4 Arah Y (Model 2 Cek Ketidakberaturan Horisontal Tipe 1A)	4-5
Tabel 4.8 Rasio $\Delta_{Max}/\Delta_{Avg}$ pada Ujung Struktur As A4-D4 Arah Y (Model 2 Cek Ketidakberaturan Horisontal Tipe 1B)	4-5
Tabel 4.9 Hasil Pemeriksaan Ketidakberaturan Horisontal.....	4-8
Tabel 4.10 Rasio Drift Tingkat terhadap Tingkat Atasnya (Model 1)	4-9
Tabel 4.11 Rasio Drift Tingkat terhadap Tingkat Atasnya (Model 2, 3)	4-9
Tabel 4.12 Pemeriksaan Ketidakberaturan Tingkat Lunak Tipe 1a Model 2 Sumbu X	4-10
Tabel 4.13 Pemeriksaan Ketidakberaturan Tingkat Lunak Tipe 1b Model 2 Sumbu X	4-11
Tabel 4.14 Ketidakberaturan Tingkat Lunak Tipe 1a Model 2 Sumbu Y.....	4-12
Tabel 4.15 Ketidakberaturan Tingkat Lunak Tipe 1b Model 2 Sumbu Y.....	4-12
Tabel 4.16 Pemeriksaan Ketidakberaturan Massa (Model 2).....	4-14
Tabel 4.17 Rasio Kuat Lateral Tingkat terhadap Tingkat Atasnya (Model 1) ...	4-16
Tabel 4.18 Rasio Kuat Lateral Tingkat terhadap Tingkat Atasnya (Model 2) ...	4-17
Tabel 4.19 Hasil Pemeriksaan Ketidakberaturan Vertikal	4-17
Tabel 4.20 Model Massa Partisipasi Model 1	4-18
Tabel 4.21 Model Massa Partisipasi Model 2	4-19

Tabel 4.22 Model Massa Partisipasi Model 3.....	4-19
Tabel 4.23 Simpangan Antar Lantai Model 1 Sumbu X.....	4-20
Tabel 4.24 Simpangan Antar Lantai Model 1 Sumbu Y.....	4-21
Tabel 4.25 Simpangan Antar Lantai Model 2 dan 3 Sumbu X.....	4-21
Tabel 4.26 Simpangan Antar Lantai Model 2 dan 3 Sumbu Y.....	4-22
Tabel 4.27 Cek P-Delta Model 1 Sumbu X.....	4-24
Tabel 4.28 Cek P-Delta Model 1 Sumbu Y.....	4-24
Tabel 4.29 Cek P-Delta Model 2 dan 3 Sumbu X.....	4-25
Tabel 4.30 Cek P-Delta Model 2 dan 3 Sumbu Y.....	4-25
Tabel 4.31 Simpangan Lantai pada Model 2 (Nonlinear Statik, <i>Iterative</i> , dan <i>Based on mass</i>) Sumbu Y.....	4-26
Tabel 4.32 Simpangan pada Model 3 (Nonlinear Statik, <i>Iterative</i> , dan <i>Based on mass</i>) Sumbu X.....	4-28
Tabel 4.33 Perbandingan Simpangan Nonlinear Statik Model 1-3.....	4-30
Tabel 4.34 <i>Bending Moment Iterative</i> dengan Nonlinear <i>Exact</i> (Model 2) (Kolom Interior).....	4-33
Tabel 4.35 <i>Bending Moment Iterative</i> dengan Nonlinear <i>Exact</i> (Model 2) (Kolom Eksterior).....	4-34
Tabel 4.36 <i>Bending Moment Based on mass</i> dengan Nonlinear <i>Exact</i> (Model 2) (Kolom Eksterior).....	4-35
Tabel 4.37 <i>Bending Moment Iterative</i> dengan Nonlinear <i>Exact</i> (Model 3) (kolom eksterior).....	4-36
Tabel 4.38 <i>Bending Moment</i> Model 1 – 3 (Nonlinear Statik).....	4-37
Tabel 4.39 Simpangan Antar Lantai Model 2.....	4-38
Tabel 4.40 Simpangan Antar Lantai Model 3.....	4-40
Tabel 4.41 Simpangan Antar Lantai Analisis Nonlinear Statik (Model 1-3)	4-41
Tabel 4.42 Periode Getar Model 2.....	4-43
Tabel 4.43 Periode Getar Model 3.....	4-44
Tabel 4.44 Periode Getar Model 1, 2, 3 (Nonlinear Statik).....	4-44

DAFTAR LAMPIRAN

- LAMPIRAN 1 Pradesain Struktur
- LAMPIRAN 2 Perhitungan Sudut Kuat dan Faktor Skala Gempa
- LAMPIRAN 3 Faktor Perbesaran Amplifikasi (A_x)
- LAMPIRAN 4 PMM Ratio

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Negara Indonesia merupakan suatu negara kepulauan yang terletak di daerah rawan terjadinya gempa. Indonesia dilewati oleh serangkaian gunung berapi yang masih aktif hingga saat ini dan juga terletak di lempeng tektonik. Gempa bumi di Aceh merupakan contoh gempa bumi terbesar yang pernah terjadi di Indonesia, hampir sebagian besar infrastruktur dan bangunan mengalami kerusakan akibat gempa tersebut.

Gempa dikategorikan sebagai salah satu beban lateral yang sangat berpengaruh terhadap struktur bangunan. Selain beban gempa, terdapat juga beban-beban lain seperti beban gravitasi dan beban angin yang mempengaruhi suatu struktur bangunan. Oleh karena adanya beban-beban tersebut, suatu gedung yang akan didesain harus dilakukan analisis agar tidak terjadi kegagalan struktur pada saat menerima beban gempa maupun beban lainnya.

Efek dari adanya beban lateral maupun beban aksial dapat memberikan reaksi tersendiri pada tiap-tiap struktur. P-Delta memberikan efek pada gedung dengan menghasilkan simpangan atau perpindahan sejarak Delta. P-Delta ini dipengaruhi oleh beberapa hal, misalnya adanya *soft story* maupun adanya ketidakberaturan dari adanya torsi berlebihan pada lantai-lantai tertentu. *Soft story* memiliki pengaruh terhadap tingkat kekakuan lateral yang terjadi pada lantai-lantai tertentu. Sedangkan ketidakberaturan torsi akan menambah eksentrisitas dari tiap-tiap lantai yang terpengaruhi.

1.2 Inti Permasalahan

Suatu struktur yang dikenai beban lateral akan memberikan reaksi terhadap setiap *frame* yang dikenakan. Beban lateral yang dimaksud seperti misalnya beban gempa, dimana akan mengakibatkan terjadinya peralihan pada gedung tersebut. *P-delta (P- Δ) effect* merupakan hasil dari *second order analysis* dimana dipengaruhi oleh adanya *soft story* maupun ketidakberaturan torsi pada sebuah struktur bangunan.

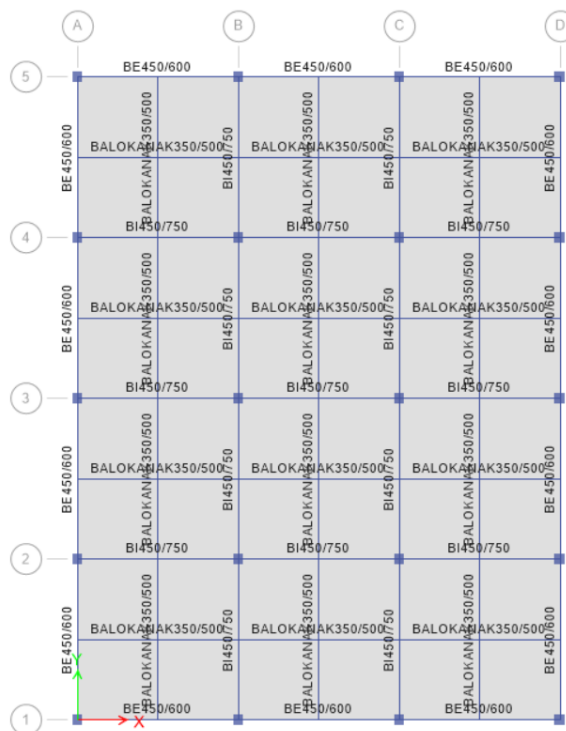
1.3 Tujuan Penulisan

Tujuan dari penulisan skripsi ini adalah untuk membandingkan perilaku struktur dengan analisis menggunakan adanya pengaruh P-Delta terhadap suatu struktur yang memiliki ketidakberaturan vertikal (*soft story*) maupun ketidakberaturan horisontal

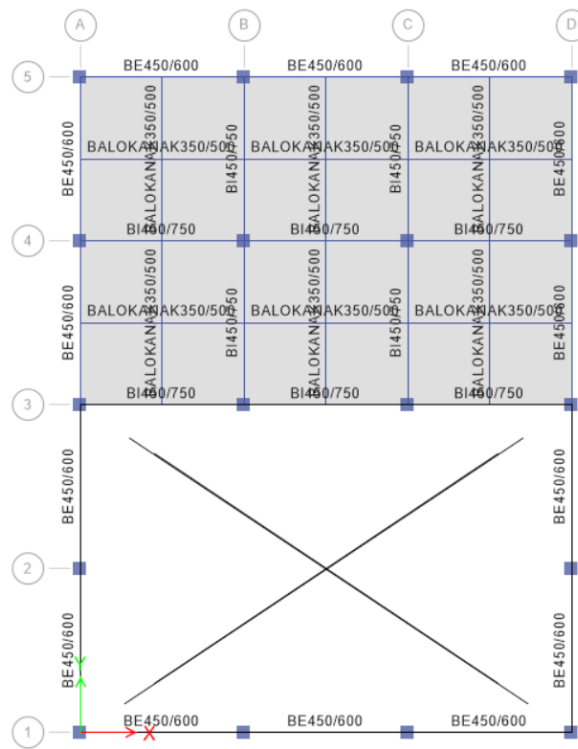
1.4 Pembatasan Masalah

Pembatasan masalah yang digunakan pada skripsi ini yaitu sebagai berikut:

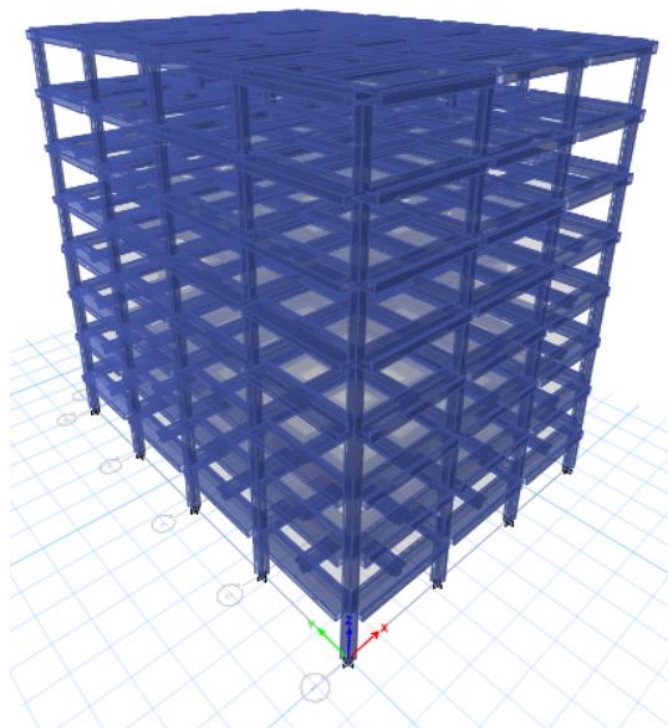
1. Bentuk denah struktur berbentuk simetris persegi panjang dengan panjang bentang antar kolom sebesar 8 m. Terdapat 3 model yaitu model 1 tanpa adanya ketidakberaturan dengan analisis nonlinear statik dengan P-Delta. Model 2 memiliki *soft story* dengan analisis P-Delta menggunakan pendekatan (*iterative* dan *based on mass*) dan model 3 memiliki *soft story* dan ketidakberaturan torsi dengan analisis P-Delta menggunakan pendekatan (*iterative* dan *based on mass*) seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 1.1**, dan pada model 3, terdapat bukaan pada lantai 1 dapat dilihat pada **Gambar 1.2** Tampak tiga dimensi ditunjukkan pada **Gambar 1.3** sampai **Gambar 1.4**;



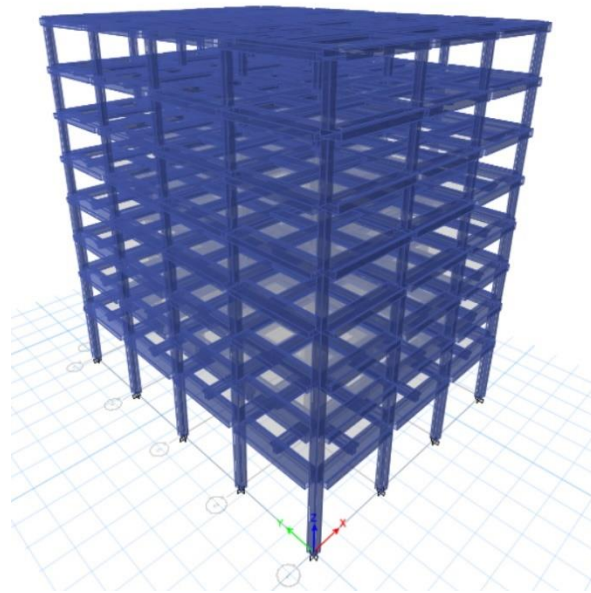
Gambar 1.1 Denah Lantai 1-8 (Model 1-3)



Gambar 1.2 Denah Lantai 1 (Model 3)

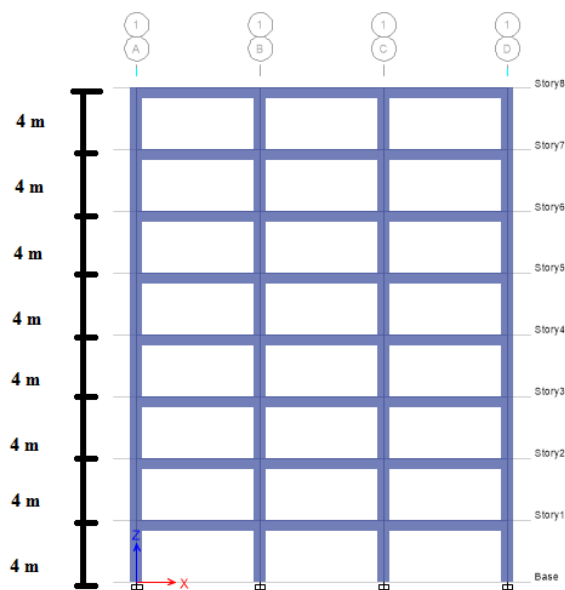


Gambar 1.3 Tampak Tiga Dimensi Struktur Model 1

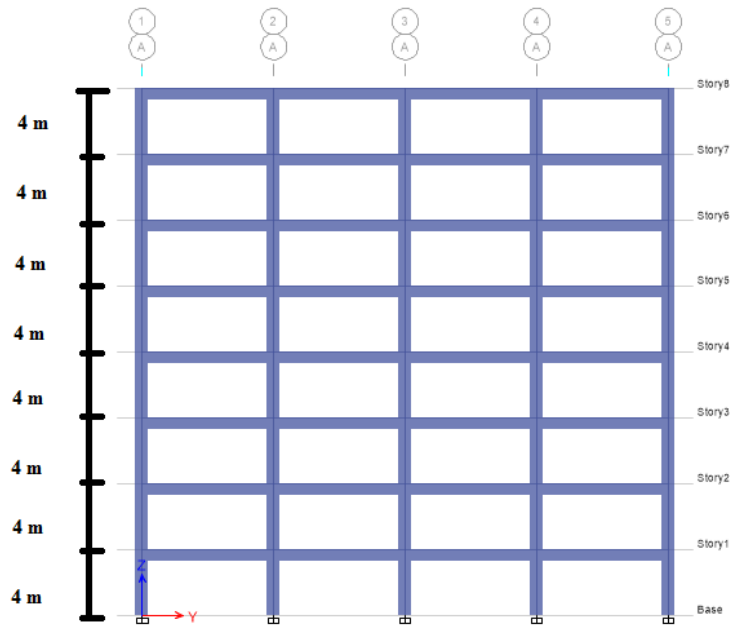


Gambar 1.4 Tampak Tiga Dimensi Struktur Model 2 dan 3

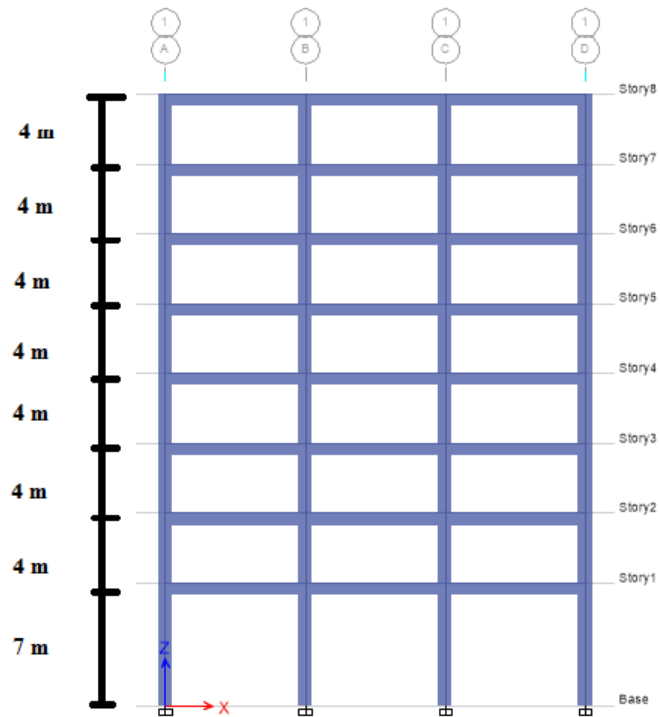
2. Jumlah lantai adalah 8 lantai dengan ketinggian untuk model 1 adalah tipikal 4 m antar lantai dan model 2 dan 3 memiliki ketinggian tipikal 4 m dari lantai 2 sampai dengan lantai 8 sedangkan ketinggian pada lantai 1 yang memiliki *soft story* adalah 7 m. Bentuk geometri untuk semua model sama. Potongan melintang dan memanjang model 1 dan model 2 dan 3 dapat dilihat pada **Gambar 1.5** hingga **Gambar 1.8**;



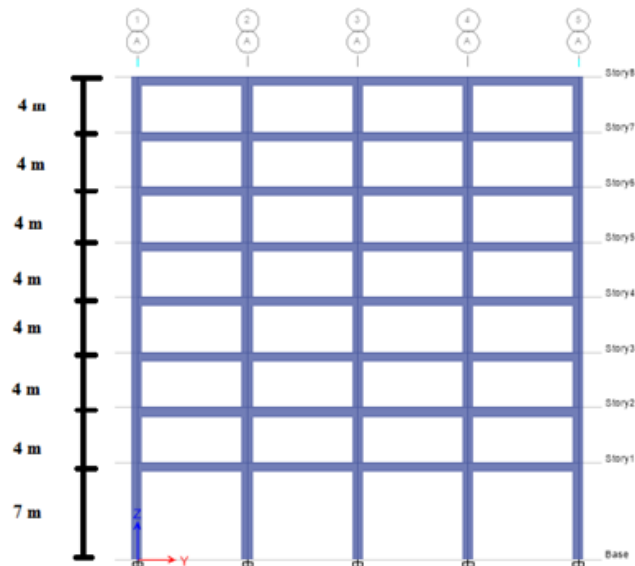
Gambar 1.5 Potongan Melintang Model 1 Pada As 1



Gambar 1.6 Potongan Memanjang Model 1 Pada As A



Gambar 1.7 Potongan Melintang Model 2 dan Model 3 Pada As 1



Gambar 1.8 Potongan Memanjang Model 2 dan Model 3 Pada As A

3. Mutu beton yang digunakan pada balok, kolom, dan pelat adalah beton dengan mutu $f_c' = 30$ MPa. Mutu tulangan baja yang digunakan yaitu $f_y = 400$ MPa;
4. Fungsi bangunan adalah kantor, terletak di kota Malang di atas tanah keras
5. Struktur dimodelkan sebagai struktur beton bertulang rangka pemikul momen khusus (SRPMK);
6. Perencanaan struktur gedung beton mengacu pada peraturan SNI 2847:2013 yaitu Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung;
7. Perencanaan struktur gedung tahan gempa mengacu pada peraturan SNI 1726:2012 yaitu Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung;
8. Pembebanan minimum mengacu pada SNI-1727-2013 yaitu Beban Minimum untuk Perancangan Gedung dan Struktur Lain.
9. Pondasi tidak didesain pada studi ini.

1.5 Metode Penulisan

Metode penulisan yang digunakan pada skripsi ini yaitu sebagai berikut:

1. Studi Pustaka

Pada skripsi ini, digunakan referensi-referensi yang didapat melalui buku-buku, *paper*, artikel, jurnal, internet, dan peraturan-peraturan yang digunakan yang

membahas mengenai bangunan beton bertulang, analisis P-delta ($P-\Delta$), *soft story* dan ketidakberaturan torsi.

2. Studi Analisis

Analisis dilakukan dengan menggunakan program ETABS untuk memodelkan struktur bangunan beton bertulang. Untuk melakukan perhitungan, digunakan program MathCAD dan Microsoft Excel.