

**ANALISIS PERBANDINGAN SISTEM STRUKTUR  
TERHADAP KETIDAKBERATURAN HORIZONTAL AKIBAT  
KETIDAKSESUAIAN LOKASI PUSAT MASSA DAN PUSAT  
KEKAKUAN**

***COMPARATIVE ANALYSIS OF STRUCTURAL SYSTEMS  
UNDER HORIZONTAL IRREGULARITY DUE TO  
MISALIGNMENT OF CENTER OF MASS AND CENTER OF  
RIGIDITY***

**DAVY TJIASARI / 21 34 007**



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS ATMA JAYA  
MAKASSAR  
2025**

**ANALISIS PERBANDINGAN SISTEM STRUKTUR  
TERHADAP KETIDAKBERATURAN HORIZONTAL AKIBAT  
KETIDAKSESUAIAN LOKASI PUSAT MASSA DAN PUSAT  
KEKAKUAN**

***COMPARATIVE ANALYSIS OF STRUCTURAL SYSTEMS  
UNDER HORIZONTAL IRREGULARITY DUE TO  
MISALIGNMENT OF CENTER OF MASS AND CENTER OF  
RIGIDITY***

Tugas Akhir

Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Sipil

Konsentrasi

Teknik Struktur

Disusun dan diajukan Oleh:

**DAVY TJIASARI / 21 34 007**

Kepada

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS ATMA JAYA  
MAKASSAR  
2025**

**SKRIPSI**

**ANALISIS PERBANDINGAN SISTEM STRUKTUR  
TERHADAP KETIDAKBERATURAN HORIZONTAL AKIBAT  
KETIDAKSESUAIAN LOKASI PUSAT MASSA DAN PUSAT  
KEKAKUAN**

**Disusun dan diajukan oleh:**

**DAVY TJIASARI / 21 34 007**

telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Skripsi  
pada tanggal 28 Oktober 2025  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

**Menyetujui,**

**Pembimbing I,**



**Dr. Richard Frans, S.T., M.T.**  
NIDN: 09.01.07.92.01

**Pembimbing II,**



**Ir. Hendry Tanoto Kalangi, S.T., M.T.**  
NIDN: 00.27.04.73.02

**Dekan  
Fakultas Teknik,**



**Jeri T Siang, S.T., M.T., Ph.D.**  
NIDN: 09.22.01.71.01

**Ketua Program Studi  
Teknik Sipil,**



**Dr. Indriaty Wulansari, S.T., M.T.**  
NIDN: 09.14.10.80.05



**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS ATMA JAYA MAKASSAR**

Jl. Tanjung Alang No. 23 Makassar 90244, Sulawesi Selatan  
Telp: (0411) 871038-871733, Fax: (0411) 870294  
Homepage: www.teknik.uajm.ac.id, Email: teknik@ft.uajm.ac.id



**DAFTAR HADIR UJIAN SKRIPSI**

Hari Selasa, 28 Oktober 2025

Nama : Davy Tjiasari  
NIM : 2134007  
Program Studi : Program Studi Teknik Sipil  
Tempat : Ruang Rapat Fakultas Teknik UAJM  
Judul Skripsi : Analisis Perbandingan Sistem Struktur Terhadap Ketidakberaturan Horizontal Akibat Ketidakesesuaian Lokasi Pusat Massa dan Pusat Kekakuan

No	Uraian	Tanda Tangan
I	Panitia Ujian Skripsi Ketua : Dekan Fakultas Teknik UAJM  Sekretaris : Wakil Dekan Fakultas Teknik UAJM  Anggota : Ketua Program Studi Program Studi Teknik Sipil	
II	Tim Penguji Ketua : Dr. Ir. Mursalim, M.T.  Sekretaris : Dr. Indriaty Wulansari, S.T., M.T.  Anggota : 1. Vinsensia Paola Prattyni, S.T., M.Eng. 2. Franita Leonard, S.T., M.Si.	   
III	Pembimbing / Konsultan 1. Dr. Ir. Richard Frans, S.T., M.T. 2. Ir. Hendry Tanoto Kalangi, S.T., M.T.	 

Dekan,  
  
Jeri T. Siang, S.T., M.T., Ph.D.

## PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Davy Tjiasari

NIM : 2134007

Judul Tugas Akhir : Analisis Perbandingan Sistem Struktur Terhadap Ketidakberaturan Horizontal Akibat Ketidaksesuaian Lokasi Pusat Massa dan Pusat Kekakuan

Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Laporan tugas akhir ini adalah karya tulis sendiri, murni gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan dari pihak lain, kecuali arahan Tim Pembimbing, dan belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar akademik sarjana, baik di Universitas Atma Jaya Makassar maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Dalam laporan tugas akhir ini tidak terdapat karya atau pendapat dari orang lain yang telah ditulis atau dipublikasikan (termasuk dari buku, artikel jurnal, catatan kuliah, tugas mahasiswa lain, dan lainnya), kecuali secara tertulis telah direferensikan dalam naskah baik dan benar menurut kaidah akademik yang baku dan berlaku dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
3. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan secara sadar, apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya tulis ini, serta sanksi lainnya seperti yang tercantum dalam Peraturan Akademik dan Kemahasiswaan yang berlaku di perguruan tinggi.

Makassar, 30 Oktober 2025  
Yang memberi pernyataan,



Davy Tjiasari

## PERSETUJUAN PUBLIKASI

Saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Davy Tjiasari

NIM : 2134007

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Atma Jaya Makassar Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif atas karya ilmiah saya yang berjudul:

### **Analisis Perbandingan Sistem Struktur Terhadap Ketidakberaturan Horizontal Akibat Ketidakesesuaian Lokasi Pusat Massa dan Pusat Kekakuan**

, beserta segala kelengkapan yang diperlukan. Adanya Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini, Universitas Atma Jaya Makassar berhak menyimpan, mengalih-media/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data, mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya pada media daring, atau media lain untuk kepentingan akademisi tanpa perlu meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta.

Saya bersedia menanggung secara pribadi, tanpa melibatkan pihak Universitas Atma Jaya Makassar, segala tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah saya ini.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Makassar, Sulawesi Selatan

Pada Tanggal : 30 Oktober 2025

Yang memberi pernyataan,



Davy Tjiasari

## **PRAKATA**

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala berkat dan rahmat-Nya dalam memberikan kesehatan dan kemampuan dalam menyelesaikan penyusunan Laporan Tugas Akhir ini.

Laporan Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat yang harus dipenuhi untuk menyelesaikan studi pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Atma Jaya Makassar.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan dan bimbingan kepada penulis sehingga laporan Tugas Akhir ini dapat terselesaikan. Pada kesempatan ini, Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Jeri Tangalajuk Siang, S.T., M.T., Ph.D., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Atma Jaya Makassar.
2. Bapak Ir. Hendry Tanoto Kalangi, S.T., M.T., selaku Wakil Dekan Fakultas Teknik Universitas Atma Jaya Makassar dan selaku Dosen Pembimbing II yang telah meluangkan waktu untuk membimbing dan memberikan arahan dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini.
3. Ibu Dr. Indriaty Wulansari, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Makassar.
4. Bapak Dr. Ir. Richard Frans, S.T., M.T., IPM., selaku Dosen Pembimbing I yang telah meluangkan waktu untuk membimbing dan memberikan arahan dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini.

5. Ibu Vinsensia Paola Prattyani, S.T., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing Akademik penulis.
6. Segenap dosen serta karyawan Universitas Atma Jaya Makassar yang sangat berjasa selama proses perkuliahan.
7. Kakanda Ir. Resky Wagiri, S.T., atas segala bimbingan, arahan, dan dukungan yang telah membantu penulis selama proses penyusunan tugas akhir ini.
8. Orang tua dan keluarga yang turut mendukung secara moral maupun materil dalam penyusunan laporan ini.
9. Serta, semua pihak yang tidak dapat dicantumkan namanya satu-persatu, yang telah banyak membantu dalam penyusunan laporan ini.

Segala saran, kritik, serta masukan yang sifatnya membangun sangat diharapkan demi penyempurnaan laporan Tugas Akhir ini. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membacanya.

Makassar, 15 Oktober 2025



Davy Tjiasari

## ABSTRAK

DAVY TJIASARI. Analisis Perbandingan Sistem Struktur Terhadap Ketidakberaturan Horizontal Akibat Ketidakesesuaian Lokasi Pusat Massa Dan Pusat Kekakuan (dibimbing oleh Richard Frans dan Hendry Tanoto Kalangi).

Penelitian ini mengkaji pengaruh pemilihan sistem struktur terhadap distribusi kekakuan lateral dan posisi pusat kekakuan pada gedung bertingkat dengan denah asimetris serta mengevaluasi pengaruh penempatan dinding geser terhadap keseimbangan pusat massa dan pusat kekakuan. Permasalahan difokuskan pada ketidakberaturan horizontal (torsi) akibat tidak sesuainya lokasi pusat massa dan pusat kekakuan yang dapat memperbesar deformasi gempa.

Metode penelitian meliputi pemodelan dua alternatif sistem struktur yaitu sistem rangka pemikul momen khusus dan sistem ganda menggunakan perangkat lunak ETABS dan analisis respons spektrum sesuai SNI 1726:2019. Hasil perhitungan pusat massa dan pusat kekakuan dihitung per tingkat untuk membandingkan eksentrisitas (selisih posisi pusat massa dan pusat kekakuan) sebelum dan sesudah penambahan dinding geser.

Hasil analisis menunjukkan adanya perubahan pada eksentrisitas antara pusat massa dan pusat kekakuan. Pada model sistem rangka, nilai rata-rata eksentrisitas tiap lantai adalah 0,1695 m pada arah X dan 0,3432 m pada arah Y. Perbesaran penampang pada model sistem rangka hanya memberikan perubahan signifikan pada arah X (menurun menjadi 0,0916 m), sedangkan arah Y relatif tetap (0,3218 m). Penerapan Sistem Ganda dengan dinding geser lebih lanjut menurunkan eksentrisitas rata-rata menjadi 0,1091 m pada arah X dan 0,0631 m pada arah Y, yakni pengurangan sebesar 35,6% pada arah X dan 81,6% pada arah Y dibandingkan kondisi sistem rangka awal, yang menunjukkan bahwa dinding geser efektif menggeser pusat kekakuan mendekati pusat massa serta mengurangi potensi torsi pada struktur.

**Kata kunci:** ketidakberaturan horizontal, pusat massa, pusat kekakuan, sistem ganda, sistem rangka pemikul momen khusus

## ABSTRACT

DAVY TJIASARI. *Comparative Analysis Of Structural Systems Under Horizontal Irregularity Due To Misalignment Of Center Of Mass And Center Of Rigidity (supervised by Richard Frans and Hendry Tanoto Kalangi).*

*This study investigates the effect of structural system selection on the distribution of lateral stiffness and the position of the center of rigidity in an asymmetric multi-storey building, as well as the influence of shear wall placement on the balance between the center of mass (CM) and the center of rigidity (CR). The research focuses on horizontal irregularity (torsion) caused by the misalignment between CM and CR, which may increase seismic deformation.*

*Two structural systems were analyzed using ETABS software and response spectrum analysis in accordance with SNI 1726:2019, namely the special moment resisting frame system and the dual system incorporating shear walls. The CM and CR coordinates were calculated for each storey to determine the eccentricity between them before and after the inclusion of shear walls.*

*The results show that structural system modification significantly affects the CM–CR eccentricity. In the frame-only model, the average eccentricities per floor were 0.1695m in the X direction and 0.3432m in the Y direction. Enlarging member sections reduced the X direction eccentricity to 0.0916m, while the Y direction remained relatively constant at 0.3218m. Applying the dual system with shear walls further decreased the average eccentricity to 0.1091m (X) and 0.0631m (Y), corresponding to reductions of 35.6% and 81.6%, respectively, compared to the initial frame-only model. These results indicate that the addition of shear walls effectively shifts the center of rigidity closer to the center of mass and mitigates torsional response in asymmetric structures.*

**Keywords:** *horizontal irregularity, center of mass, center of rigidity, dual system, special moment resisting frame*

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
HALAMAN JUDUL .....	i
LEMBAR PENGAJUAN .....	ii
LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
DAFTAR HADIR UJIAN SKRIPSI .....	iv
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI .....	v
PERSETUJUAN PUBLIKASI .....	vi
PRAKATA.....	vii
ABSTRAK .....	ix
ABSTRACT .....	x
DAFTAR ISI .....	xi
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR GAMBAR .....	xx
DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN.....	xxiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang .....	1
B. Rumusan Masalah.....	3
C. Tujuan Penelitian.....	3
D. Manfaat Penelitian.....	4
E. Batasan Masalah.....	4
F. Kerangka Pikir .....	5

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI .....	5
A. Tinjauan Pustaka.....	6
B. Landasan Teori.....	10
1. Sistem Struktur Penahan Gaya Lateral .....	10
2. Parameter Perencanaan Gempa Berdasarkan SNI 1726:2019 .....	12
3. Pusat Massa ( <i>Center of Mass</i> ) .....	27
4. Pusat Kekakuan ( <i>Center of Rigidity</i> ).....	27
5. Ketidakberaturan Horizontal .....	28
6. Ketidakberaturan Vertikal .....	31
7. Simpangan Antar Tingkat .....	34
8. Pengaruh P-Delta .....	35
9. Diafragma.....	36
10. Elemen Kord.....	37
11. Elemen Kolektor .....	39
BAB III ANALISIS PERMASALAHAN DAN METODE PENELITIAN .....	40
A. Analisis Permasalahan.....	40
B. Metode Penelitian.....	41
1. Jenis Penelitian .....	41
2. Data Bangunan.....	41
3. Langkah-langkah Penelitian .....	42
C. Alur Penelitian .....	49
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	50
A. Pembebanan Struktur.....	50

1. Beban Mati ( <i>Dead Load</i> ) .....	50
2. Beban Mati Tambahan ( <i>Super Imposed Dead Load</i> ) .....	50
3. Beban Hidup ( <i>Live Load</i> ).....	51
<i>B. Preliminary Design</i> .....	51
1. <i>Preliminary Design</i> Balok .....	52
2. <i>Preliminary Design</i> Pelat .....	54
3. <i>Preliminary Design</i> Kolom .....	62
4. <i>Preliminary Design</i> Dinding Geser.....	65
5. Data Elemen Struktur .....	66
<i>C. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)</i> .....	67
1. Analisis Statik Ekuivalen.....	67
2. Analisis Ketidakberaturan Horizontal.....	70
3. Analisis Ketidakberaturan Vertikal .....	76
4. Analisis Respon Spektrum .....	82
5. Simpangan Antar Tingkat.....	88
6. Penyesuaian Penampang dan Pemeriksaan Kembali Parameter Struktur .....	90
7. Simpangan Antar Tingkat (Penyesuaian) .....	98
8. Pengaruh P-Delta.....	99
9. Pembesaran Momen Torsi .....	101
10. Gaya Desain Diafragma .....	104
<i>D. Sistem Ganda (Dual System)</i> .....	117
1. Pusat Massa dan Pusat Kekakuan.....	117
2. Analisis Statik Ekuivalen.....	119

3. Analisis Ketidakberaturan Horizontal.....	121
4. Analisis Ketidakberaturan Vertikal.....	128
5. Analisis Respon Spektrum .....	133
6. Simpangan Antar Tingkat.....	139
7. Pengaruh P-Delta.....	141
8. Syarat Sistem Ganda .....	143
E. Penulangan Elemen Struktur.....	145
1. Penulangan Pelat .....	145
2. Penulangan Balok .....	148
3. Penulangan Kolom .....	159
4. Penulangan Dinding Geser .....	165
5. Gambar Penulangan pada Kedua Sistem Struktur.....	170
BAB V SIMPULAN DAN SARAN .....	173
A. Simpulan .....	173
B. Saran.....	174
DAFTAR PUSTAKA .....	175
<i>CURRICULUM VITAE</i> .....	177

## DAFTAR TABEL

nomor		halaman
1.	Penelitian Terdahulu .....	6
2.	Kategori Risiko Bangunan .....	12
3.	Faktor Keutamaan Gempa .....	14
4.	Klasifikasi Kelas Situs.....	15
5.	Koefisien Situs $F_a$ .....	17
6.	Koefisien Situs $F_v$ .....	17
7.	Kategori Desain Seismik Berdasarkan $S_{DS}$ .....	20
8.	Kategori Desain Seismik Berdasarkan $S_{D1}$ .....	20
9.	Faktor $R$ , $\Omega_0$ , dan $C_d$ untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik .....	21
10.	Koefisien untuk Batas Atas pada Periode yang Dihitung.....	25
11.	Nilai Parameter Periode Pendekatan $C_t$ dan $x$ .....	25
12.	Simpangan Antar Tingkat Izin ( $\Delta_a$ ).....	35
13.	Tinggi Minimum Balok Nonprategang.....	52
14.	Ketebalan Minimum Pelat Dua Arah Nonprategang dengan Balok Diantara Tumpuan pada Semua Sisinya .....	54
15.	Tebal Minimum Dinding, $h$ .....	65
16.	Tipe dan Dimensi Balok.....	66
17.	Tipe dan Dimensi Pelat.....	66
18.	Tipe dan Dimensi Kolom.....	67
19.	Tipe dan Dimensi Dinding Geser .....	67

20.	Berat Bangunan – <i>Frame</i> .....	67
21.	Distribusi Gaya Seismik – <i>Frame</i> .....	69
22.	Ketidakberaturan Torsi ( $EQ_x + 0,3EQ_y$ ) – <i>Frame</i> .....	72
23.	Ketidakberaturan Torsi ( $EQ_x - 0,3EQ_y$ ) – <i>Frame</i> .....	72
24.	Ketidakberaturan Torsi ( $-EQ_x + 0,3EQ_y$ ) – <i>Frame</i> .....	72
25.	Ketidakberaturan Torsi ( $-EQ_x - 0,3EQ_y$ ) – <i>Frame</i> .....	73
26.	Ketidakberaturan Torsi ( $EQ_y + 0,3EQ_x$ ) – <i>Frame</i> .....	73
27.	Ketidakberaturan Torsi ( $EQ_y - 0,3EQ_x$ ) – <i>Frame</i> .....	73
28.	Ketidakberaturan Torsi ( $-EQ_y + 0,3EQ_x$ ) – <i>Frame</i> .....	74
29.	Ketidakberaturan Torsi ( $-EQ_y - 0,3EQ_x$ ) – <i>Frame</i> .....	74
30.	Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Arah X – <i>Frame</i> .....	77
31.	Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Arah Y – <i>Frame</i> .....	78
32.	Ketidakberaturan Berat (Massa) – <i>Frame</i> .....	79
33.	Ketidakberaturan Geometri Vertikal Arah X – <i>Frame</i> .....	79
34.	Ketidakberaturan Geometri Vertikal Arah Y – <i>Frame</i> .....	80
35.	Ketidakberaturan Tingkat Lemah – <i>Frame</i> .....	81
36.	Data Tanah <i>Standard Penetration Test</i> (SPT) – <i>Frame</i> .....	82
37.	Partisipasi Massa – <i>Frame</i> .....	86
38.	Gaya Geser Respons Spektrum Setelah Skala Ulang – <i>Frame</i> .	87
39.	Simpangan Antar Tingkat Arah X dan Y – <i>Frame</i> .....	89
40.	Perubahan Dimensi Balok dan Kolom .....	90
41.	Berat Bangunan – <i>Frame</i> (Penyesuaian) .....	91
42.	Distribusi Gaya Seismik Sistem – <i>Frame</i> (penyesuaian).....	92

43.	Ketidakberaturan Torsi ( $EQ_x+0,3EQ_y$ ) – <i>Frame</i> (Penyesuaian) .	92
44.	Ketidakberaturan Torsi ( $EQ_x-0,3EQ_y$ ) – <i>Frame</i> (Penyesuaian) ..	93
45.	Ketidakberaturan Torsi ( $-EQ_x+0,3EQ_y$ ) – <i>Frame</i> (Penyesuaian)	93
46.	Ketidakberaturan Torsi ( $-EQ_x - 0,3EQ_y$ ) – <i>Frame</i> (Penyesuaian)	93
47.	Ketidakberaturan Torsi ( $EQ_y+0,3EQ_x$ ) – <i>Frame</i> (Penyesuaian) .	94
48.	Ketidakberaturan Torsi ( $EQ_y-0,3EQ_x$ ) – <i>Frame</i> (Penyesuaian) ..	94
49.	Ketidakberaturan Torsi ( $-EQ_y+0,3EQ_x$ ) – <i>Frame</i> (Penyesuaian)	94
50.	Ketidakberaturan Torsi ( $-EQ_y+0,3EQ_x$ ) – <i>Frame</i> (Penyesuaian)	95
51.	Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Arah X – <i>Frame</i> (Penyesuaian) .....	95
52.	Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Arah Y – <i>Frame</i> (Penyesuaian) .....	96
53.	Ketidakberaturan Berat (Massa) – <i>Frame</i> (Penyesuaian) .....	96
54.	Ketidakberaturan Tingkat Lemah – <i>Frame</i> (Penyesuaian) .....	96
55.	Gaya Geser Respons Spektrum Setelah Skala Ulang - <i>Frame</i> (Penyesuaian) .....	97
56.	Simpangan Antar Tingkat Arah X dan Y – <i>Frame</i> (Penyesuaian)	98
57.	Koefisien Stabilitas Arah X .....	100
58.	Koefisien Stabilitas Arah Y.....	100
59.	Pembesaran Momen Torsi ( $EQ_x+0,3EQ_y$ & $-EQ_x-0,3EQ_y$ ).....	102
60.	Pembesaran Momen Torsi ( $EQ_x-0,3EQ_y$ & $-EQ_x+0,3EQ_y$ ).....	103
61.	Pembesaran Momen Torsi ( $EQ_y+0,3EQ_x$ & $-EQ_y-0,3EQ_x$ ).....	103
62.	Pembesaran Momen Torsi ( $EQ_y-0,3EQ_x$ & $-EQ_y+0,3EQ_x$ ).....	103
63.	Pembesaran Momen Torsi pada Arah Gempa Y .....	104
64.	Gaya Desain Diafragma Arah X.....	105

65.	Gaya Desain Diafragma Arah Y.....	105
66.	Gaya Desain Kord .....	106
67.	Hasil Gaya <i>Section Cut</i> Arah X.....	108
68.	Hasil Gaya <i>Section Cut</i> Arah Y.....	108
69.	Penulangan Kord Arah X.....	110
70.	Penulangan Kord Arah Y .....	111
71.	Kemungkinan Gaya Gempa Desain Kolektor .....	111
72.	Gaya Desain Kolektor.....	112
73.	Pengecekan Elemen Kolektor .....	113
74.	Penulangan Kolektor .....	116
75.	Pusat Massa dan Pusat Kekakuan Sebelum Penambahan Dinding Geser.....	118
76.	Pusat Massa dan Pusat Kekakuan Sesudah Perbesaran Dimensi pada Sistem <i>Frame</i> .....	118
77.	Pusat Massa dan Pusat Kekakuan Sesudah Penambahan Dinding Geser.....	118
78.	Berat Bangunan – <i>Dual System</i> .....	119
79.	Distribusi Gaya Seismik – <i>Dual System</i> .....	121
80.	Ketidakteraturan Torsi ( $EQ_x + 0,3EQ_y$ ) – <i>Dual System</i> .....	123
81.	Ketidakteraturan Torsi ( $EQ_x - 0,3EQ_y$ ) – <i>Dual System</i> .....	124
82.	Ketidakteraturan Torsi ( $-EQ_x + 0,3EQ_y$ ) – <i>Dual System</i> .....	124
83.	Ketidakteraturan Torsi ( $-EQ_x - 0,3EQ_y$ ) – <i>Dual System</i> .....	124
84.	Ketidakteraturan Torsi ( $EQ_y + 0,3EQ_x$ ) – <i>Dual System</i> .....	125
85.	Ketidakteraturan Torsi ( $EQ_y - 0,3EQ_x$ ) – <i>Dual System</i> .....	125
86.	Ketidakteraturan Torsi ( $-EQ_y + 0,3EQ_x$ ) – <i>Dual System</i> .....	125

87.	Ketidakberaturan Torsi ( $-EQ_y - 0,3EQ_x$ ) – <i>Dual System</i> .....	126
88.	Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Arah X – <i>Dual System</i> .....	129
89.	Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Arah Y – <i>Dual System</i> .....	129
90.	Ketidakberaturan Berat (Massa) – <i>Dual System</i> .....	130
91.	Ketidakberaturan Geometri Vertikal Arah X – <i>Dual System</i> .....	131
92.	Ketidakberaturan Geometri Vertikal Arah Y – <i>Dual System</i> .....	131
93.	Ketidakberaturan Tingkat Lemah – <i>Dual System</i> .....	133
94.	Data tanah <i>Standard Penetration Test</i> (SPT) – <i>Dual System</i> ...	133
95.	Partisipasi Massa – <i>Dual System</i> .....	138
96.	Gaya Geser Respons Spektrum Setelah Skala Ulang – <i>Dual System</i> .....	139
97.	Simpangan Antar Tingkat Arah X dan Y – <i>Dual System</i> .....	140
98.	Koefisien Stabilitas Arah X .....	142
99.	Koefisien Stabilitas Arah Y.....	142
100.	Gaya Geser Respons Spektrum untuk Pemenuhan Syarat Sistem Ganda – <i>Dual System</i> .....	144
101.	<i>Output</i> Gaya Aksial dan Lentur Kolom.....	160
102.	<i>Output</i> Gaya Geser Kolom .....	160
103.	Hasil Analisis Interaksi P-M <i>SPColum</i> n Kolom 70/70 .....	161
104.	Hasil Analisis Interaksi P-M <i>SPColum</i> n $1,25f_y$ Kolom 70/70 .....	163
105.	<i>Output</i> Gaya Aksial dan Lentur Dinding Geser .....	166
106.	<i>Output</i> Gaya Geser Dinding Geser.....	166
107.	Hasil Analisis Interaksi P-M <i>SPColum</i> n Dinding Geser .....	167

## DAFTAR GAMBAR

nomor		halaman
1.	Kerangka Pikir Penelitian .....	5
2.	Sistem Rangka Pemikul Momen.....	11
3.	Sistem Ganda ( <i>Dual System</i> ) .....	12
4.	Peta parameter gerak tanah $S_S$ untuk gempa maksimum yang dipertimbangkan ( $MCE_R$ ) di wilayah Indonesia dengan periode spektrum respons 0,2 detik .....	16
5.	Peta parameter gerak tanah $S_1$ untuk gempa maksimum yang dipertimbangkan ( $MCE_R$ ) di wilayah Indonesia dengan periode spektrum respons 1,0 detik .....	16
6.	Peta Transisi Periode Panjang, $T_L$ .....	19
7.	Spektrum Respons Desain .....	20
8.	Ilustrasi Ketidakberaturan Torsi .....	28
9.	Ilustrasi Ketidakberaturan Sudut Dalam .....	29
10.	Ilustrasi Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma .....	29
11.	Ilustrasi Ketidakberaturan Akibat Pergeseran Tegak Lurus Terhadap Bidang.....	30
12.	Ilustrasi Ketidakberaturan Sistem Nonparalel.....	30
13.	Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak .....	31
14.	Ketidakberaturan Berat (Massa).....	32
15.	Ketidakberaturan Geometri Vertikal.....	32
16.	Ketidakberaturan Akibat Diskontinuitas Bidang pada Elemen Vertikal Pemikul Gaya Lateral .....	33

17.	Ketidakteraturan Tingkat Lemah Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat.....	34
18.	Penentuan Simpangan Antar Tingkat .....	35
19.	Ilustrasi Gaya Gempa untuk Gaya Desain Diafragma .....	37
20.	Ilustrasi Distribusi Tulangan Kord pada Diafragma.....	39
21.	Gaya Pada Elemen Kolektor .....	39
22.	Tampilan Awal ETABS .....	42
23.	<i>Grid</i> dan <i>Story</i> Dimensions ETABS .....	43
24.	Material yang Digunakan.....	43
25.	Elemen Struktur yang Digunakan .....	44
26.	Pola Pembebanan yang Digunakan .....	44
27.	Parameter Seismik Beban Gempa .....	45
28.	Sumber Massa pada Program ETABS .....	45
29.	<i>Load Case</i> Respons Spektrum.....	46
30.	<i>Function</i> Respons Spektrum .....	46
31.	Kombinasi Beban yang Digunakan dalam ETABS .....	47
32.	Model Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus .....	47
33.	Model Sistem Ganda .....	48
34.	Skema Alur Penelitian .....	49
35.	Denah Perencanaan Pelat .....	55
36.	Penampang Balok Induk 40/70cm Pelat Lantai .....	55
37.	Penampang Balok Induk 35/60cm Pelat Lantai .....	56
38.	Penampang Balok Anak 30/50cm Pelat Lantai.....	57
39.	Penampang Balok Induk 40/70cm Pelat Atap .....	59

40.	Penampang Balok Induk 35/60cm Pelat Atap .....	60
41.	Penampang Balok Anak 30/50cm Pelat Atap .....	60
42.	<i>Tributary Area</i> Kolom .....	63
43.	Titik Acuan Ketidakberaturan Torsi Arah X – <i>Frame</i> .....	70
44.	Titik Acuan Ketidakberaturan Torsi Arah Y – <i>Frame</i> .....	70
45.	Denah Pengecekan Ketidakberaturan Sudut Dalam – <i>Frame</i> ....	75
46.	Denah Pengecekan Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma – <i>Frame</i> .....	75
47.	Grafik Spektrum Respons Desain Kota Makassar – <i>Frame</i> .....	85
48.	Grafik Simpangan Antar Tingkat Terhadap Simpangan Antar Tingkat Ijin Arah X dan Arah Y – <i>Frame</i> .....	89
49.	Grafik Simpangan Antar Tingkat Terhadap Simpangan Antar Tingkat Ijin Arah X dan Arah Y – <i>Frame</i> (Penyesuaian).....	99
50.	Grafik Hubungan Antara Koefisien Stabilitas ( $\theta$ ) Arah X dan Arah Y – <i>Frame</i> (Penyesuaian) .....	101
51.	Daerah <i>Section Cut</i> Arah Y.....	107
52.	Daerah <i>Section Cut</i> Arah X .....	107
53.	Hasil Gaya <i>Section Cut</i> .....	108
54.	Balok yang Kemungkinan Menjadi Elemen Kolektor .....	113
55.	Denah Penulangan Kord Dan Kolektor.....	117
56.	Denah Bangunan dengan Penempatan Dinding Geser.....	119
57.	Titik Acuan Ketidakberaturan Torsi Arah Y – <i>Dual System</i> .....	122
58.	Titik Acuan Ketidakberaturan Torsi Arah X – <i>Dual System</i> .....	122
59.	Denah Pengecekan Ketidakberaturan Sudut Dalam – <i>Dual System</i> .....	126
60.	Denah Pengecekan Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma – <i>Dual System</i> .....	127

61.	Grafik Spektrum Respons Desain Kota Makassar – <i>Dual System</i> .....	136
62.	Grafik Simpangan Antar Tingkat Terhadap Simpangan Antar Tingkat Ijin Arah X dan Arah Y – <i>Dual System</i> .....	140
63.	Grafik Hubungan Antara Koefisien Stabilitas ( $\theta$ ) Arah X dan Arah Y – <i>Dual System</i> .....	143
64.	Momen Ultimit pada Tumpuan Balok.....	150
65.	Gaya Geser Ultimit pada Tumpuan Balok .....	152
66.	Gaya Torsi Ultimit pada Balok.....	156
67.	Desain Tulangan Longitudinal Kolom 70/70 .....	160
68.	Diagram Interaksi P-M <i>SPColumn</i> Kolom 70/70.....	161
69.	Diagram Interaksi P-M <i>SPColumn</i> $1,25f_y$ Kolom 70/70.....	163
70.	Diagram Interaksi P-M <i>SPColumn</i> Dinding Geser .....	166
71.	Desain Tulangan Longitudinal Dinding Geser .....	167
72.	Penulangan Balok .....	170
73.	Penulangan Kolom .....	170
74.	Penulangan Pelat .....	171
75.	Penulangan Dinding Geser .....	171
76.	Denah Potongan Kord dan Kolektor .....	172
77.	Penulangan Kord dan Kolektor.....	172

## DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

Lambang/singkatan	Arti dan keterangan
$I_e$	Faktor keutamaan gempa
$\bar{V}_s$	Kecepatan rata-rata gelombang geser
$\bar{N}_{ch}$	Tahanan penetrasi standar rata-rata
$\bar{S}_u$	Kuat geser niralir rata-rata
$S_{MS}$	Parameter respons spektral percepatan pada periode 0,2 detik
$S_{M1}$	Parameter respons spektral percepatan pada periode 1 detik
$F_a$	Koefisien situs percepatan untuk periode pendek
$F_V$	Koefisien situs percepatan untuk periode 1 detik
$S_S$	Percepatan spektral gempa pada periode pendek
$S_1$	Percepatan spektral gempa pada periode 1 detik
$S_{DS}$	Parameter respons spektral percepatan desain periode pendek
$S_{D1}$	Parameter respons spektral percepatan desain periode 1 detik
$T$	Periode getar fundamental struktur
$T_0$	Periode transisi awal
$T_S$	Periode transisi akhir
$T_L$	Periode panjang
$R$	Koefisien modifikasi repons
$\Omega_0$	Faktor kuat lebih sistem

$C_d$	Faktor pembesaran defleksi
$D$	Pengaruh dari beban mati
$L$	Pengaruh dari beban hidup
$L_r$	Pengaruh dari beban hidup atap
$E_h$	Pengaruh beban seismik horizontal
$E_v$	Pengaruh beban seismik vertikal
$\rho$	Faktor redundansi
$E_x$	Pengaruh beban gempa arah X
$E_y$	Pengaruh beban gempa arah Y
$T_a$	Periode fundamental pendekatan
$C_t$	Koefisien parameter periode pendekatan
$x$	Koefisien parameter periode pendekatan
$h_n$	Tinggi bangunan
$V$	Gaya geser dasar seismik
$C_s$	Koefisien seismik
$W$	Berat seismik efektif
$A_x$	Faktor pembesaran momen torsi
$\delta_{max}$	perpindahan maksimum
$\delta_{avg}$	Rata-rata perpindahan struktur
$M_{ta}$	Momen torsi tak terduga
$\delta_{xe}$	Simpangan di tingkat-x
$\Delta_a$	Simpangan Antar Tingkat Izin
$P$	Beban aksial vertikal

$\theta$	koefisien stabilitas
$F_{px}$	Gaya desain diafragma di tingkat-x
$F_i$	Gaya desain yang diterapkan di tingkat-i
$W_i$	Tributari berat sampai tingkat-i
$W_{px}$	Tributari berat sampai diafragma di tingkat-x
$C_u$	Gaya tekan pada elemen kord
$T_u$	Gaya tarik pada elemen kord
$M_u$	Momen terfaktor pada penampang
$d$	Jarak antara kord tarik dan kord tekan
$A_s$	Luas tulangan perlu
$\phi$	Faktor reduksi kekuatan
$V_u$	Geser terfaktor pada penampang
$V_n$	Kuat geser nominal
$V_{n,max}$	Kuat geser nominal maksimum
$A_{cv}$	Luas beton efektif terhadap gaya geser
$A_g$	Luas bruto penampang beton
$f'_c$	Mutu beton