

ANALISIS PERBANDINGAN KINERJA SISTEM RANGKA
PEMIKUL MOMEN KHUSUS DAN SISTEM GANDA PADA
STRUKTUR BANGUNAN BETON BERTULANG TAHAN
GEMPA BERDASARKAN SNI 1726:2019
(STUDI KASUS GEMPA DI KOTA PADANG)

SKRIPSI

Oleh

CARLOS FILIPUS
1853050002



PROGRAM STUDI SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA
JAKARTA
2022

**ANALISIS PERBANDINGAN KINERJA SISTEM RANGKA
PEMIKUL MOMEN KHUSUS DAN SISTEM GANDA PADA
STRUKTUR BANGUNAN BETON BERTULANG TAHAN
GEMPA BERDASARKAN SNI 1726:2019
(STUDI KASUS GEMPA DI KOTA PADANG)**

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan akademik guna memperoleh gelar Sarjana
Teknik (S.T.) pada Program Studi Sipil Fakultas Teknik Universitas Kristen
Indonesia

Oleh

CARLOS FILIPUS
1853050002



**PROGRAM STUDI SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA
JAKARTA
2022**



PERNYATAAN KEASLIAN KARYA TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Carlos Filipus
NIM : 1853050002
Program Studi : Sipil
Fakultas : Teknik

Dengan ini menyatakan bahwa karya tulis tugas akhir yang berjudul “ANALISIS PERBANDINGAN KINERJA SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN KHUSUS DAN SISTEM GANDA PADA STRUKTUR BANGUNAN BETON BERTULANG TAHAN GEMPA BERDASARKAN SNI 1726:2019 (STUDI KASUS GEMPA DI KOTA PADANG)” adalah:

1. Dibuat dan diselesaikan sendiri dengan menggunakan hasil kuliah, tinjauan lapangan, buku-buku, dan jurnal acuan yang tertera di dalam referensi pada karya tugas akhir saya.
2. Bukan merupakan duplikasi karya tulis yang sudah dipublikasikan atau yang pernah dipakai untuk mendapatkan gelar sarjana di Universitas lain, kecuali pada bagian-bagian sumber informasi yang dicantumkan dengan cara referensi yang semestinya.
3. Bukan merupakan karya terjemahan dari kumpulan buku atau jurnal acuan yang tertera di dalam referensi pada tugas akhir ini.

Kalau terbukti saya tidak memenuhi apa yang dinyatakan di atas, maka karya tugas akhir ini dianggap batal.

Jakarta, 5 Agustus 2022



Carlos Filipus



**UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK**

PERSETUJUAN DOSEN PEMBIMBING TUGAS AKHIR

**ANALISIS PERBANDINGAN KINERJA SISTEM RANGKA PEMIKUL
MOMEN KHUSUS DAN SISTEM GANDA PADA STRUKTUR BANGUNAN
BETON BERTULANG TAHAN GEMPA BERDASARKAN SNI 1726:2019
(STUDI KASUS GEMPA DI KOTA PADANG)**

Oleh:

Nama : Carlos Filipus

NIM : 1853050002

Program Studi : Sipil

Telah diperiksa dan disetujui untuk diajukan dan dipertahankan dalam Sidang Tugas Akhir guna mencapai gelar Sarjana Strata Satu pada Program Studi Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Indonesia.

Jakarta, 5 Agustus 2022

Menyetujui:

Pembimbing I

DR. Ir. Pinondang Simanjuntak, M.T.
NIDN. 0310116003

Pembimbing II

Sudarno Tampubolon, S.T., M.Sc.
NIDN. 0311048904

Ketua Program Studi Sipil

Ir. Risma M. Simanjuntak, M.Eng.
NIDN. 0312125805

Dekan Fakultas Teknik

Ir. Galuh Widati, M.Sc.
NIDN. 0326126103






UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA FAKULTAS TEKNIK

PERSETUJUAN TIM PENGUJI TUGAS AKHIR

Pada hari ini, 5 Agustus 2022 telah diselenggarakan Sidang Tugas Akhir untuk memenuhi sebagian persyaratan akademik guna memperoleh gelar Sarjana Strata Satu pada Program Studi Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Indonesia, atas nama:

Nama : Carlos Filipus
NIM : 1853050002
Program Studi : Sipil
Fakultas : Teknik

Termasuk ujian Tugas Akhir yang berjudul “ANALISIS PERBANDINGAN KINERJA SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN KHUSUS DAN SISTEM GANDA PADA STRUKTUR BANGUNAN BETON BERTULANG TAHAN GEMPA BERDASARKAN SNI 1726:2019 (STUDI KASUS GEMPA DI KOTA PADANG)” oleh tim penguji yang terdiri dari:

1. Ir. Lolom E. Hutabarat, M.T. , Sebagai Ketua  (.....)
2. Ir. Setiyadi, M.T. , Sebagai Anggota  (.....)
3. Ir. Risma M. Simanjuntak, M.Eng. , Sebagai Anggota  (.....)

Jakarta, 5 Agustus 2022



UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA FAKULTAS TEKNIK

PERNYATAAN DAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Carlos Filipus
NIM : 1853050002
Program Studi : Sipil
Fakultas : Teknik
Jenis Tugas Akhir : Skripsi
Judul : ANALISIS PERBANDINGAN KINERJA SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN KHUSUS DAN SISTEM GANDA PADA STRUKTUR BANGUNAN BETON BERTULANG TAHAN GEMPA BERDASARKAN SNI 1726:2019 (STUDI KASUS GEMPA DI KOTA

Menyatakan bahwa:

1. Tugas akhir tersebut adalah benar karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan bukan merupakan duplikasi karya tulis yang sudah dipublikasikan atau yang pernah dipakai untuk mendapatkan gelar akademik di perguruan tinggi manapun.
2. Tugas akhir tersebut bukan merupakan plagiat dari hasil karya orang lain, dan apabila saya mengutip dari karya orang lain maka akan dicantumkan sebagai referensi sesuai dengan ketentuan yang berlaku.
3. Saya memberikan Hak Noneksklusif Tanpa Royalti kepada Universitas Kristen Indonesia untuk berhak menyimpan, mengalih media atau formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis atau pencipta dan sebagai pemegang hak cipta.



UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA FAKULTAS TEKNIK

PERNYATAAN DAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR (LANJUTAN)

Apabila di kemudian hari ditemukan pelanggaran Hak Cipta dan Kekayaan Intelektual atau Peraturan Perundang-undangan Republik Indonesia lainnya dan integritas akademik dalam karya saya tersebut, maka saya bersedia menanggung secara pribadi segala bentuk sanksi akademik yang timbul dan tuntutan hukum yang berlaku.

Jakarta, 5 Agustus 2022



Carlos Filipus

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur saya persembahkan kepada Bapa di surga melalui perantaraan anak-Nya yang tunggal Tuhan Yesus Kristus atas segala berkat, kemurahan, anugerah, kekuatan, dan penyertaan-Nya kepada saya dalam menyelesaikan tugas akhir atau skripsi ini dengan baik dan tepat waktu.

Skripsi dengan judul “ANALISIS PERBANDINGAN KINERJA SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN KHUSUS DAN SISTEM GANDA PADA STRUKTUR BANGUNAN BETON BERTULANG TAHAN GEMPA BERDASARKAN SNI 1726:2019 (STUDI KASUS GEMPA DI KOTA PADANG)” disusun sebagai tugas akhir saya dan sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik di Program Studi Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Indonesia.

Selama belajar di Program Studi Sipil Fakultas Teknik UKI, saya mendapatkan banyak ilmu dan pelajaran yang bermanfaat. Hal ini semakin memperkaya pengetahuan, mengasah ketekunan, inovasi dalam berpikir, dan terus melatih talenta yang saya miliki untuk menjadi lulusan Teknik Sipil yang profesional, kompeten, dan berintegritas. Banyak pelajaran berharga yang telah mengajarkan saya untuk tetap bertahan dan berpegang teguh dalam kejujuran dan integritas dalam menjalani perkuliahan di tengah-tengah banyaknya godaan untuk tidak berintegritas. Saya yakin apapun yang dilakukan dengan berintegritas dan jujur lebih dapat dipertanggungjawabkan, memuaskan, dan dapat dibanggakan.

Dalam penyusunan skripsi ini, tidak sedikit masalah dan kendala yang saya hadapi dan masih terdapat kekurangan yang dikarenakan oleh keterbatasan kemampuan yang saya miliki. Namun, berkat bantuan dan kontribusi dari berbagai pihak maka penulisan dan penyusunan skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik dan tepat waktu. Oleh karena itu, saya sungguh berterima kasih tentu kepada Tuhan Yesus yang telah menolong saya hingga skripsi ini boleh selesai dengan baik dan juga berterima kasih banyak kepada semua pihak yang telah membantu, membimbing, dan mendukung saya dalam menikmati perkuliahan sampai menyelesaikan skripsi ini, diantaranya:

1. Kedua orang tua saya Bapak Sakmin dan Ibu Heni serta adik saya Kenneth yang selalu memberi dukungan secara moral, material, dan juga mendoakan saya dalam penyusunan skripsi ini sehingga dapat selesai dengan baik.
2. PT. Adaro Energy Indonesia melalui Yayasan AA Rachmat yang telah membantu secara finansial dalam bentuk beasiswa selama saya berkuliah.
3. Bapak Dr. Dhaniswara K. Hardjono, S.H., M.H., M.B.A. selaku Rektor UKI dan Ibu Ir. Galuh Widati, M.Sc. selaku dekan Fakultas Teknik UKI.
4. Ibu Ir. Risma Masniari Simanjuntak, M.Eng. selaku Ketua Program Studi Sipil Fakultas Teknik Universitas Kristen Indonesia dan Ibu Candra Christianti Purnomo, S.T., M.T. selaku Dosen Penasehat Akademik.
5. Bapak DR. Ir. Pinondang Simanjuntak, M.T. sebagai Dosen Pembimbing Utama dan Bapak Sudarno P. Tampubolon, S.T., M.Sc. sebagai Dosen Pembimbing Kedua yang telah memberikan ilmu, waktu, nasihat, dan dukungan dalam membimbing saya menyelesaikan skripsi ini.

6. Segenap tim Dosen Teknik Sipil UKI dan karyawan FT UKI (Kak Melias sebagai Sekretariat Jurusan, Bang Novri dan Kak Yenti sebagai Sekretariat Fakultas, dan Bang Jul sebagai Admin Faktultas Teknik serta Bang Sudarno Sababalat sebagai Kepala Asisten Laboratorium Sipil UKI).
7. Bang Novri, Bang Benhur, Kak Viky Rotua, dan setiap pihak yang telah membantu saya dalam mencari sampai mendapatkan dan mengurus administrasi beasiswa saat berkuliah.
8. Sahabat-sahabat saya Natasya “Cacong”, Simon, Charles, Stefi, dan Trisha yang sudah menemani, mendukung, berjuang bersama, membantu, dan menghibur kesulitan selama pengerjaan skripsi dengan komedi-komedi terbaik terkhusus Cacong (HAHAHAHA). Thank you guys!!
9. Bang Martinus N. Fau sebagai alumni dan abang senior '13 yang telah menjadi teman diskusi dan membantu saya dalam pengerjaan tugas akhir ini. Serta, seluruh rekan-rekan mahasiswa/i Teknik Sipil UKI, abang-kakak senior, dan adik-adik semua dalam pertemanan selama kurang lebih 4 tahun yang telah rela menjadi contoh dan pembelajaran bagi saya untuk menghargai waktu dan tidak menyia-nyiakan hidup selama kita bisa mengusahakannya.
10. Rekan seperjuangan CIVILEG'18 dalam tugas akhir ini: Aaron dan Yuma yang bersama-sama saya menyelesaikan skripsi serta untuk semua angkatan 18. Tetap semangat kawan-kawan dan terima kasih atas pahit-manis dan getirnya hidup di Teknik Sipil UKI selama kurang lebih 4 tahun.
11. Terakhir saya berterima kasih kepada semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu dalam tulisan ini dan saya juga ingin berterima kasih

kepada diri sendiri. Yup benar, Carlos terima kasih sudah berjuang selama 4 tahun, terima kasih sudah bertahan sejauh ini, terima kasih untuk tidak menyerah, terima kasih sudah mempertahankan semangat dan integritas di dalam perkuliahan yang tentu tidak mudah, terima kasih sudah mau berusaha lebih lagi dalam mencari ilmu dan pengetahuan tambahan selain dari sesi kuliah yang sangat diperlukan untuk mendukung penyusunan skripsi ini, dan terima kasih karena sudah mau melakukan yang terbaik dan percaya untuk menyerahkan segala pergumulan kepada Tuhan Yesus karena Ia tidak akan pernah mengecewakanmu.

Penulis sadar bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Namun, saya berharap kiranya penelitian dalam skripsi ini dapat bermanfaat serta dapat memberikan ilmu yang baru dan lebih lagi untuk memahami dan membangun pengetahuan konstruksi bangunan terkhusus kegempaan di Indonesia lebih lanjut. Akhir kata, dengan segala kerendahan hati dan rasa syukur saya ucapkan banyak terima kasih. Tuhan Yesus memberkati.

Jakarta, 5 Agustus 2022

Carlos Filipus

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA TUGAS AKHIR	i
PERSETUJUAN DOSEN PEMBIMBING TUGAS AKHIR	ii
PERSETUJUAN TIM PENGUJI TUGAS AKHIR.....	iii
PERNYATAAN DAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR	iv
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR GAMBAR	xxi
DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN	xxviii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xxxii
ABSTRAK.....	xxxii
<i>ABSTRACT</i>	xxxiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	7
1.3 Tujuan Penelitian.....	7
1.4 Manfaat Penelitian.....	8
1.5 Batasan Masalah.....	8
1.6 Sistematika Penelitian	10
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	11
2.1 Defenisi Gempa Bumi dan Teori Gempa Tektonik.....	11
2.2 Gelombang Seismik	12

2.2.1	Gelombang Badan	12
2.2.2	Gelombang Permukaan	13
2.3	Prosedur Analisis Gaya Gempa Bangunan.....	14
2.3.1	Prosedur Umum Analisis Gempa.....	17
2.3.1.1	Kategori Risiko dan Faktor Keutamaan Gempa.....	17
2.3.1.2	Kategori Desain Seismik	19
2.3.1.3	Periode Fundamental Pendekatan.....	20
2.3.1.4	Koefisien Modifikasi Respons.....	22
2.3.1.5	Koefisien Respons Seismik	23
2.3.1.6	Berat Seismik Efektif.....	24
2.3.1.7	Gaya Geser Dasar Seismik	25
2.3.2	Analisis Statik Ekuivalen	25
2.3.2.1	Distribusi Vertikal Gaya Seismik	25
2.3.2.2	Gaya Seismik Lateral Statik Ekuivalen	26
2.3.3	Analisis Dinamik Spektrum Respons	26
2.3.3.1	Kelas Situs	26
2.3.3.2	Koefisien Situs.....	28
2.3.3.3	Parameter Respons Percepatan	29
2.3.3.4	Parameter Percepatan Spektral Desain	29
2.3.3.5	Spektrum Respons Percepatan.....	29
2.4	Beton Bertulang.....	31
2.5	Sistem Struktur Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa	34
2.5.1	Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus.....	34
2.5.2	Sistem Ganda	37
2.6	Desain Kekuatan Struktur.....	40

2.6.1	Desain Kekuatan Struktur Terhadap Lentur	40
2.6.2	Desain Kekuatan Struktur Terhadap Geser.....	41
2.7	Elemen Struktur Beton Bertulang	42
2.7.1	Pelat Lantai.....	42
2.7.2	Balok	45
2.7.2.1	Dimensi.....	45
2.7.2.2	Tulangan Longitudinal.....	46
2.7.2.3	Tulangan Transversal.....	48
2.7.3	Kolom.....	50
2.7.3.1	Dimensi.....	52
2.7.3.2	Tulangan Longitudinal.....	53
2.7.3.3	Tulangan Transversal.....	54
2.7.4	Dinding Geser Khusus	58
2.7.4.1	Dimensi.....	61
2.7.4.2	Tulangan	62
2.7.4.3	Kuat Geser	63
2.8	Pembebanan Struktur	65
2.8.1	Beban Mati (<i>Dead Load</i>)	65
2.8.2	Beban Hidup (<i>Live Load</i>).....	68
2.8.3	Beban Angin (<i>Wind Load</i>).....	70
2.8.4	Beban Gempa (<i>Earthquake Load</i>).....	72
2.8.5	Kombinasi Pembebanan (<i>Load Combination</i>).....	72
2.9	Kriteria Kinerja Struktur	74
2.10	Parameter Analisis.....	77
2.10.1	Periode Alami Struktur	77

2.10.2	Ragam Getar (<i>Mode Shape</i>).....	81
2.10.2.1	<i>Mode Shape</i> Dan Frekuensi Natural Dari Sistem Gabungan...	81
2.10.2.2	Sistem Primer.....	82
2.10.2.3	Sistem Sekunder	84
2.10.2.4	Syarat Kesesuaian	87
2.10.2.5	Eigenvalue Problem.....	87
2.10.3	Partisipasi Massa.....	90
2.10.4	Kekakuan Struktur	90
2.10.4.1	Matriks Kekakuan Elemen Struktur	93
2.10.4.2	Matriks Kekakuan Sistem Struktur.....	94
2.10.4.3	Syarat Batas (<i>Boundary Conditions</i>)	95
2.10.4.4	Penyelesaian Dengan Operasi Matriks	95
2.10.5	Simpangan Antar Lantai	96
2.10.6	Gaya Geser Seismik	98
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....		100
3.1	Penentuan Model Umum.....	100
3.2	Tahapan Pengerjaan	101
3.2.1	Studi Literatur	102
3.2.2	Pengumpulan Data dan Informasi	102
3.2.3	Model Struktur	102
3.2.3.1	Sistem Koordinat Global dan Lokal	107
3.2.3.2	Spesifikasi Material Desain	108
3.2.3.3	Desain Awal Dimensi Elemen Struktur.....	109
3.2.4	Pemodelan Struktur Dengan <i>Software</i> ETABS Ultimate 19.1.0 ..	115

3.2.4.1	Inisialisasi Model.....	115
3.2.4.2	Model <i>Quick Templates</i>	116
3.2.4.3	Pendefinisian Material	117
3.2.4.4	Pendefinisian Elemen Struktur	117
3.2.4.5	Pendefinisian Diafragma.....	120
3.2.4.6	Pendefinisian <i>Pier Label</i>	120
3.2.4.7	Pendefinisian <i>Function</i> Spektrum Respons	121
3.2.4.8	Pendefinisian <i>Mass Source</i>	121
3.2.4.9	Pendefinisian <i>Load Patterns</i>	122
3.2.4.10	Pendefinisian <i>Load Cases</i>	123
3.2.4.11	Pendefinisian <i>Load Combinations</i>	123
3.2.4.12	Penggambaran Model Struktur	124
3.2.4.13	Penerapan Beban Pada Pelat.....	125
3.2.4.14	Penetapan Tumpuan.....	125
3.2.5	Pendefinisian Pembebanan.....	126
3.2.5.1	Beban Mati Berat Sendiri/ <i>Dead Load</i> (DL)	126
3.2.5.2	Beban Mati Tambahan/ <i>Superimposed Dead Load</i> (SIDL)...	126
3.2.5.3	Beban Hidup/ <i>Live Load</i> (LL)	126
3.2.5.4	Beban Gempa/ <i>Earthquake</i> (EqL)	127
3.2.5.5	Kombinasi Pembebanan	130
3.2.6	Pendefinisian Gaya Gempa Statik Ekuivalen	132
3.2.6.1	Mendefinisikan <i>Load Patterns</i>	132
3.2.6.2	Mendefinisikan <i>Load Cases</i>	132
3.2.6.3	Mendefinisikan <i>Load Combinations</i>	133
3.2.6.4	Mendefinisikan <i>Mass Source</i>	134

3.2.6.5	<i>Run Analysis</i>	134
3.2.7	Pendefinisian Gaya Gempa Dinamik Spektrum Respons	135
3.2.7.1	Mendefinisikan Fungsi	135
3.2.7.2	Mendefinisikan <i>Load Patterns</i>	136
3.2.7.3	Mendefinisikan <i>Load Cases</i>	137
3.2.7.4	Mendefinisikan <i>Load Combinations</i>	138
3.2.7.5	Mendefinisikan <i>Mass Source</i>	138
3.2.7.6	<i>Run Analysis</i>	139
3.2.8	Hasil Analisis Struktur	140
3.2.9	Kontrol Hasil Analisis Struktur.....	140
3.2.10	Perbandingan Hasil Analisis Struktur Antar Metode dan Model..	141
BAB 4 ANALISA DAN PEMBAHASAN		142
4.1	Spesifikasi Material Elemen Struktur.....	142
4.1.1	Mutu Beton	142
4.1.2	Mutu Baja Tulangan.....	142
4.1.3	Data Elemen Struktural	143
4.2	Perhitungan Beban Gravitasi.....	144
4.2.1	Beban Luasan Pelat Lantai.....	145
4.2.2	Beban Luasan Pelat Atap	145
4.3	Data Gempa SNI 1726:2019	146
4.4	Pembuatan Spektrum Respons Desain Kota Padang.....	147
4.5	Kombinasi Pembebanan	149
4.6	Kontrol Hasil Analisis Struktur Model SRPMK.....	150
4.6.1	Periode Struktur	150

4.6.2	Jumlah Ragam.....	151
4.6.3	Gaya Geser Dasar.....	152
4.6.4	Simpangan Antar Tingkat	155
4.6.5	Pengaruh P-Delta	159
4.7	Kontrol Hasil Analisis Struktur Model Sistem Ganda	161
4.7.1	Periode Struktur	161
4.7.2	Jumlah Ragam.....	162
4.7.3	Gaya Geser Dasar.....	163
4.7.4	Simpangan Antar Tingkat	166
4.7.5	Pengaruh P-Delta	170
4.7.6	Kontribusi Rangka Terhadap Sistem Ganda.....	172
4.8	Komparasi Sistem Struktur	173
4.8.1	Periode Struktur	173
4.8.2	Gaya Geser Dasar (<i>Base Shear</i>).....	175
4.8.3	Perpindahan (<i>Displacement</i>)	177
4.8.4	Rasio Simpangan Antar Tingkat (<i>Story Drift Ratio</i>).....	179
4.8.5	Volume Struktur (<i>Volume</i>).....	181
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		184
5.1	Kesimpulan.....	184
5.2	Saran.....	187
DAFTAR PUSTAKA		188
DAFTAR LAMPIRAN.....		192

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kategori Risiko Bangunan Untuk Beban Gempa	18
Tabel 2.2 Faktor Keutamaan Gempa	19
Tabel 2.3 Kategori Desain Seismik Berdasarkan S_{DS}	20
Tabel 2.4 Kategori Desain Seismik Berdasarkan S_{D1}	20
Tabel 2.5 Kategori Desain Seismik E dan F	20
Tabel 2.6 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x	21
Tabel 2.7 Faktor R , C_d , dan Ω_0 Untuk Sistem Rangka Pemikul Momen.....	22
Tabel 2.8 Faktor R , C_d , dan Ω_0 Untuk Sistem Ganda Dengan RPMK	23
Tabel 2.9 Klasifikasi Situs	27
Tabel 2.10 Koefisien Situs, F_a	28
Tabel 2.11 Koefisien Situs, F_v	28
Tabel 2.12 Nilai Periode Panjang (T_L) Kota Besar di Indonesia	30
Tabel 2.13 Berat Sendiri Bahan Bangunan	66
Tabel 2.14 Berat Sendiri Komponen Bangunan	67

Tabel 2.15 Beban Hidup Terdistribusi Merata Minimum Gedung	68
Tabel 2.16 Koefisien Beban Angin Untuk Gedung Tertutup	71
Tabel 2.17 Koefisien Batas Atas (C_u)	80
Tabel 2.18 Simpangan Antar Lantai Izin (Δ_a).....	97
Tabel 3.1 Preliminary Tebal Elemen Pelat	110
Tabel 3.2 Beban Total <i>Tributary Area</i> Lantai 10.....	112
Tabel 3.3 Beban Total <i>Tributary Area</i> Lantai 6.....	113
Tabel 3.4 Beban Total <i>Tributary Area</i> Lantai 1.....	114
Tabel 3.5 Data dan Parameter Spektrum Respons Seismik.....	127
Tabel 3.6 Kombinasi Pembebanan Metode Ultimit.....	131
Tabel 4.1 Dimensi Elemen Kolom.....	143
Tabel 4.2 Dimensi Elemen Balok	143
Tabel 4.3 Dimensi Elemen Pelat.....	144
Tabel 4.4 Dimensi Elemen Pelat.....	144
Tabel 4.5 Data Gempa Berdasarkan SNI 1726:2019.....	146

Tabel 4.6 Respons Percepatan Terhadap Periode Waktu	148
Tabel 4.7 Kombinasi Pembebanan Struktur	149
Tabel 4.8 Periode Struktur SRPMK.....	150
Tabel 4.9 Massa Efektif Struktur SRPMK.....	152
Tabel 4.10 Gaya Geser Dasar Awal SRPMK	153
Tabel 4.11 Gaya Geser Dasar SRPMK Terskalakan	154
Tabel 4.12 Simpangan Antar Tingkat Statik Ekuivalen SRPMK.....	155
Tabel 4.13 Simpangan Antar Tingkat Spektrum Respons SRPMK	156
Tabel 4.14 Pengecekan <i>Inelastic Story Drift</i> Statik Ekuivalen SRPMK	157
Tabel 4.15 Pengecekan <i>Inelastic Story Drift</i> Spektrum Respons SRPMK.....	158
Tabel 4.16 Gaya Antar Tingkat dan Koefisien Stabilitas SRPMK.....	159
Tabel 4.17 Pengecekan Pengaruh P-Delta SRPMK.....	160
Tabel 4.18 Periode Struktur Sistem Ganda.....	161
Tabel 4.19 Massa Efektif Struktur Sistem Ganda.....	163
Tabel 4.20 Gaya Geser Dasar Awal Sistem Ganda.....	164
Tabel 4.21 Gaya Geser Dasar Sistem Ganda Terskalakan.....	165

Tabel 4.22 Simpangan Antar Tingkat Statik Ekuivalen Sistem Ganda	166
Tabel 4.23 Simpangan Antar Tingkat Spektrum Respons Sistem Ganda.....	167
Tabel 4.24 Pengecekan <i>Inelastic Story Drift</i> Statik Ekuivalen Sistem Ganda....	168
Tabel 4.25 Pengecekan <i>Inelastic Story Drift</i> Spektrum Respons Sistem Ganda	169
Tabel 4.26 Gaya Antar Tingkat dan Koefisien Stabilitas Sistem Ganda	170
Tabel 4.27 Pengecekan Pengaruh P-Delta Sistem Ganda.....	171
Tabel 4.28 Gaya Tahanan Pada Dasar Dinding Geser Pier 1 dan Pier 2	172
Tabel 4.29 Komparasi Periode Natural Struktur.....	173
Tabel 4.30 Komparasi Gaya Geser Tiap Tingkat Struktur	175
Tabel 4.31 Komparasi Perpindahan Tiap Tingkat Struktur	177
Tabel 4.32 Komparasi Rasio Simpangan Antar Tingkat Struktur	179
Tabel 4.33 Daftar Material Elemen Struktur SRPMK	181
Tabel 4.34 Daftar Material Elemen Struktur Sistem Ganda	181
Tabel 4.35 Komparasi Volume Elemen Struktur SRPMK dan Sistem Ganda ...	182
Tabel 4.36 Komparasi Volume Struktur SRPMK dan Sistem Ganda	183

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Peta Lempeng Tektonik di Indonesia.....	1
Gambar 2.1 Gelombang Badan dan Permukaan	12
Gambar 2.2 Gelombang Primer Dan Sekunder Gempa.....	13
Gambar 2.3 Gelombang Love dan Rayleigh Gempa	13
Gambar 2.4 Grafik Spektrum Respons Gempa.....	30
Gambar 2.5 Sistem Pemikul Gaya Seismik SRPM dan Batasannya	35
Gambar 2.6 Struktur Gabungan Rangka dan Dinding Geser.....	37
Gambar 2.7 Mekanisme Sendi Plastis Ideal Struktur Gedung.....	39
Gambar 2.8 Sistem Pemikul Gaya Seismik Sistem Ganda dan Batasannya.....	40
Gambar 2.9 Syarat Lebar Dimensi Balok Terhadap Kolom	46
Gambar 2.10 Syarat Penulangan Longitudinal Balok.....	47
Gambar 2.11 Persyaratan Sambungan Lewatan Balok.....	47
Gambar 2.12 Persyaratan Penulangan Transversal.....	48
Gambar 2.13 Detail Penulangan Sengkang Tertutup.....	49

Gambar 2.14 Momen Probable Dengan Goyangan Ke Kiri	50
Gambar 2.15 Momen probable Dengan Goyangan ke Kanan	50
Gambar 2.16 Persyaratan Dimensi Penampang Kolom.....	52
Gambar 2.17 Kapasitas Momen Dalam Konsep Strong Column-Weak Beam	53
Gambar 2.18 Penulangan Transversal Pada Daerah Sendi Plastis Kolom	54
Gambar 2.19 Persyaratan Penulangan Transversal Pada Kolom.....	55
Gambar 2.20 Persyaratan Penulangan Transversal Pada Kolom $P_u > 0,3A_g f'_c$	56
Gambar 2.21 Persyaratan Detailing Penulangan Kolom SRPMK.....	57
Gambar 2.22 Boundary Element Shear Wall.....	58
Gambar 2.23 Lubang Bukaan Pada Dinding Struktural.....	59
Gambar 2.24 Jenis Shear Wall Berdasarkan Dimensi	59
Gambar 2.25 Tipe Dinding Geser Berdasarkan Bentuknya.....	60
Gambar 2.26 Jenis Shear Wall Berdasarkan letak dan Fungsi	61
Gambar 2.27 Rasio Tulangan Shear Wall.....	62
Gambar 2.28 Faktor Reduksi Beban Angin	73
Gambar 2.29 Tingkat Kinerja Struktur	76

Gambar 2.30 Kombinasi Sistem Primer dan Sekunder.....	81
Gambar 2.31 (a) Primer Terpisah; (b) Elemen Non-Struktural Gaya Interaksi....	82
Gambar 2.32 Perpindahan u Linear Sepanjang Balok	92
Gambar 2.33 Model Matematis Kekakuan Sistem Struktur	94
Gambar 2.34 Perhitungan Simpangan Antar Lantai	96
Gambar 2.35 Nilai k Berdasarkan Periode T	99
Gambar 3.1 Diagram Alir Pelaksanaan Analisis.....	101
Gambar 3.2 Denah Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus.....	103
Gambar 3.3 Denah Sistem Ganda.....	103
Gambar 3.4 Tampak Depan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus	104
Gambar 3.5 Tampak Depan Sistem Ganda.....	104
Gambar 3.6 Tampak Samping Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus.....	105
Gambar 3.7 Tampak Samping Sistem Ganda	105
Gambar 3.8 Isometrik 3D Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus.....	106
Gambar 3.9 Isometrik 3D Sistem Ganda	106

Gambar 3.10 Sistem Koordinat Global.....	107
Gambar 3.11 Sistem Koordinat Lokal	108
Gambar 3.12 Diagram Alir Penentuan Dimensi Elemen Struktur.....	109
Gambar 3.13 Denah Pelat Lantai	110
Gambar 3.14 Inisialisasi Model	115
Gambar 3.15 Model Templates.....	116
Gambar 3.16 Grid Data.....	116
Gambar 3.17 a. Material Properties Beton (kiri); b. Material Properties Baja Tulangan (kanan)	117
Gambar 3.18 <i>Frame Section</i> Kolom K55	118
Gambar 3.19 <i>Frame Section</i> Balok.....	118
Gambar 3.20 <i>Frame Section</i> Pelat	119
Gambar 3.21 <i>Frame Section</i> Dinding Geser	119
Gambar 3.22 Data Diafragma Pelat Lantai	120
Gambar 3.23 <i>Pier Label</i> Dinding Geser	120
Gambar 3.24 Fungsi Spektrum Respons Kota Padang	121

Gambar 3.25 <i>Mass Source Data</i>	122
Gambar 3.26 <i>Load Patterns</i>	122
Gambar 3.27 <i>Load Cases</i>	123
Gambar 3.28 Interactive Database Load Combination	124
Gambar 3.29 Penggambaran Model Struktur	124
Gambar 3.30 Penerapan Beban Pada Pelat Lantai	125
Gambar 3.31 Perletakkan Struktur	125
Gambar 3.32 Level Percepatan Spektrum Respons	129
Gambar 3.33 Spektrum Respons Desain Level DBE	129
Gambar 3.34 <i>Seismic Loading</i> Statik Ekuivalen Arah X	132
Gambar 3.35 <i>Load Cases</i> Statik Ekuivalen Arah X	133
Gambar 3.36 Kombinasi Beban	133
Gambar 3.37 <i>Mass Source Data</i>	134
Gambar 3.38 <i>Run Analysis</i> Struktur	134
Gambar 3.39 Input Fungsi Spektrum Respons Dengan Cara ASCE7-16	135
Gambar 3.40 Input Fungsi Spektrum Respons Dengan Cara <i>Notepad</i>	136

Gambar 3.41 Penginputan <i>Load Patterns</i>	136
Gambar 3.42 <i>Load Cases</i> Dinamik Spektrum Respons Arah X	137
Gambar 3.43 Kombinasi Beban Gempa Dinamik Spektrum Respons	138
Gambar 3.44 <i>Mass Source Data</i>	138
Gambar 3.45 <i>Run Analysis</i> Struktur	139
Gambar 4.1 Spektrum Respons Desain Gempa Kota Padang	148
Gambar 4.2 Tabel <i>Mass Participating Ratio</i>	151
Gambar 4.3 Simpangan Antar Tingkat Statik Ekuivalen SRPMK	157
Gambar 4.4 Simpangan Antar Tingkat Spektrum Respons SRPMK	158
Gambar 4.5 Stabilitas Terhadap Pengaruh P-Delta SRPMK	160
Gambar 4.6 Tabel <i>Mass Participating Ratio</i>	162
Gambar 4.7 Simpangan Antar Tingkat Statik Ekuivalen Sistem Ganda	168
Gambar 4.8 Simpangan Antar Tingkat Spektrum Respons Sistem Ganda	169
Gambar 4.9 Stabilitas Terhadap Pengaruh P-Delta Sistem Ganda	171
Gambar 4.10 Komparasi Periode Natural Struktur	174

Gambar 4.11 Komparasi Gaya Geser Tiap Tingkat Struktur..... 176

Gambar 4.12 Komparasi Perpindahan Tiap Tingkat Struktur 178

Gambar 4.13 Komparasi Rasio Simpangan Antar Tingkat Struktur..... 179



DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN

ASCE	<i>American Society of Civil Engineers</i>
ASD	<i>Allowable Stress Design</i>
BMKG	Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika
C_d	Faktor Pembesaran Defleksi
CQC	<i>Complete Quadratic Combination</i>
C_s	Koefisien Respons Seismik
DBE	<i>Design Based Earthquake</i>
DL	<i>Dead Load</i> (Beban Mati)
EqL	<i>Earthquake Load</i> (Beban Gempa)
ETABS	<i>Extended Three Dimensional Analysis of Building Systems</i>
F_a	Faktor Amplifikasi Getaran Percepatan Pada Periode Pendek
FAS	Faktor Air Semen
FEMA	<i>Federal Emergency Management Agency</i>
F_v	Faktor Amplifikasi Getaran Percepatan Pada Periode 1 Detik
IBC	<i>International Building Code</i>
I_e	Faktor Keutamaan
KDS	Kategori Desain Seismik
LL	<i>Live Load</i> (Beban Hidup)
LRFD	<i>Load Resistance Factor Design</i>
M	Magnitudo
MCE	<i>Maximum Considered Earthquake</i>

MCE _G	<i>Maximum Considered Earthquake Geometric Mean</i>
MCE _R	<i>Maximum Considered Earthquake, Risk Targeted</i>
MDOF	<i>Multi Degree of Freedom</i>
MEP	<i>Mechanical, Electrical, and Plumbing</i>
PPPURG	Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung
PUPR	Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat
R	Koefisien Modifikasi Respons
RSA	<i>Respons Spektral Application</i>
S ₁	Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa MCER Terpetakan Untuk Periode 1 Detik
S _{D1}	Parameter Respon Spektral Percepatan Desain Pada Periode 1 Detik
SDOF	<i>Single Degree of Freedom</i>
S _{DS}	Parameter Respon Spektral Percepatan Desain Pada Periode Pendek
SG	Sistem Ganda
SIDL	<i>Superimposed Dead Load</i> (Beban Mati Tertambah)
SLE	<i>Service Level Earthquake</i>
S _{M1}	Parameter Respons Spektral Percepatan Pada Periode 1 Detik
S _{MS}	Parameter Respons Spektral Percepatan Pada Periode Pendek
SNI	Standar Nasional Indonesia
SRPM	Struktur Rangka Pemikul Momen
SRPMB	Struktur Rangka Pemikul Momen Biasa
SRPMK	Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus
SRPMM	Struktur Rangka Pemikul Momen Menengah

SRSS	<i>Square Root of the Sum of Squares</i>
S_s	Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa MCER Terpetakan Untuk Periode Pendek
SW	<i>Shearwall</i> / Dinding Geser
T	Periode Getar Struktur
T_a	Periode Fundamental Pendekatan
T_L	Periode Panjang
V	Gaya Geser Seismik
W	Berat Seismik Efektif
WL	<i>Wind Load</i> (Beban Angin)
Ω_0	Faktor Kuat Lebih Sistem



DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 – Prosedur Analisis ETABS.....	192
LAMPIRAN 2 – Gambar Geometri Portal	206
LAMPIRAN 3 – Pembebanan Pelat Lantai	207
LAMPIRAN 4 – Cek Kapasitas Struktur Dengan <i>Summary</i> Elemen.....	208
LAMPIRAN 5 – Rasio Tulangan	214
LAMPIRAN 6 – <i>Mode Shape</i>	215
LAMPIRAN 7 – Gaya Geser Dasar.....	217
LAMPIRAN 8 – Simpangan.....	218
LAMPIRAN 9 – Volume Struktur.....	220
LAMPIRAN 10 – Kontribusi Rangka Dalam Sistem Ganda	221
LAMPIRAN 11 - Metode Ekuivalensi Pembebanan Dinding Pada Pelat	224

ABSTRAK

Negara Indonesia merupakan kawasan yang memiliki potensi tinggi untuk terjadi gempa karena berada di kawasan rute Ring of Fire wilayah Pasifik serta menjadi episentrum persinggungan beberapa lempeng tektonik dunia, diantaranya Indo-Australia, Eurasia, dan Pasifik. Untuk mengatasi masalah kegempaan di Indonesia khususnya untuk menyatukan standar pembangunan struktur bangunan, dibentuklah SNI 1726:2019 yang menjadi pembaruan dari SNI 1726:2012. Penelitian ini ditujukan untuk membandingkan perbandingan kinerja sistem rangka pemikul momen khusus dan sistem ganda pada struktur beton bertulang tahan gempa di lokasi Kota Padang, agar dapat menjadi referensi struktur beton bertulang tahan gempa yang ramah bagi masyarakat Indonesia secara umum. Penelitian ini menggunakan analisis dinamik spektrum respons untuk mendapatkan respons struktur terhadap gaya gempa yang terjadi. Prosedur analisis dilakukan berdasarkan SNI 1726:2019 dengan parameter yang ditinjau untuk perbandingan dalam penelitian ini adalah periode struktur, gaya geser dasar, perpindahan, rasio simpangan antar tingkat, dan volume struktur. Dari hasil analisis yang didapatkan dengan bantuan perangkat lunak ETABS, nilai periode struktur pada sistem rangka pemikul momen khusus lebih besar daripada sistem ganda; nilai gaya geser dasar sistem rangka pemikul momen khusus (3404,57 kN arah X dan 3159,52 kN arah Y) lebih besar dari sistem ganda (5447,14 kN arah X dan 5880,42 kN arah Y); dan volume struktur sistem rangka pemikul momen khusus (2050,48 m³) lebih kecil dari sistem ganda (2134,32 m³). Hal ini menjelaskan bahwa sistem ganda memiliki kekakuan struktur yang lebih tinggi dari sistem rangka pemikul momen khusus yang artinya lebih baik dalam menahan gaya gempa, tetapi sistem ganda juga memiliki volume struktur yang lebih besar dari sistem rangka pemikul momen khusus yang artinya sistem ganda lebih mahal dan lebih rumit dari sistem rangka pemikul momen khusus.

Kata Kunci: Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus, Sistem Ganda, Struktur Beton Bertulang, Respons Seismik, Dinamik Spektrum Respons.

ABSTRACT

Indonesia is an area that has a high potential for earthquakes because it is located in the Pacific Ring of Fire route and is the epicenter of the intersection of several world tectonic plates, including Indo-Australia, Eurasia, and the Pacific. To overcome the problem of seismicity in Indonesia, especially to unify the standards for the construction of building structures, SNI 1726:2019 was formed which is an update of SNI 1726:2012. This study aims to compare the effectiveness of the special moment resisting frame system and the dual system on earthquake-resistant reinforced concrete structures at the Padang City location, so that they can be a reference for earthquake-resistant reinforced concrete structures that are friendly to the Indonesian people in general. This study uses dynamic analysis of the response spectrum to obtain the response of the structure to the earthquake forces that occur. The analysis procedure is carried out based on SNI 1726:2019 with the parameters reviewed for comparison in this study are the period of the structure, the base shear force, the displacement, the ratio of the displacements between the levels, and the volume of the structure. From the analysis results obtained with the help of ETABS software, the value of the period in the special moment resisting frame system is greater than that of the double system; the value of the basic shear force of the special moment resisting frame system (3404.57 kN in X direction and 3159.52 kN in Y direction) is greater than the double system (5447.14 kN in X direction and 5880.42 kN in Y direction); and the volume of the special moment resisting frame system (2050.48 m³) is smaller than the double system (2134.32 m³). This explains that the dual system has a higher rigidity than the special moment resisting frame system which means it's better at resisting earthquake forces, but also has a larger structural volume than the special moment resisting frame system which means that the dual system is more expensive and more complicated.

Keywords: Special Moment Resisting Frame System, Dual System, Reinforced Concrete Structure, Seismic Response, Dynamic Response Spectrum.