

TUGAS AKHIR

**ANALISIS PERFORMA SEISMIC GEDUNG BETON
BERTULANG DENGAN PENGAKU TAHAN TEKUK
TERHADAP BEBAN SEISMIC BERURUTAN**



Disusun Oleh :

Khairullah

20200110002

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA

2024

TUGAS AKHIR

**ANALISIS PERFORMA SEISMIC GEDUNG BETON
BERTULANG DENGAN PENGAKU TAHAN TEKUK
TERHADAP BEBAN SEISMIC BERURUTAN**

Diajukan guna melengkapi persyaratan untuk memenuhi gelar Sarjana Teknik Di
Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik,
Universitas Muhammadiyah Yogyakarta



Khairullah

20200110002

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA**

2024

HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Khairullah

NIM : 20200110002

Judul : Analisis Performa Seismik Gedung Beton Bertulang dengan
Pengaku Tahan Tekuk Terhadap Beban Seismik Berurutan

Menyatakan bahwa Tugas Akhir ini merupakan bagian dari penelitian payung dosen pembimbing yang berjudul Analisis Performa Seismik Gedung Beton Bertulang Dengan Pengaku Tahan Tekuk Terhadap Beban Seismik Berurutan dan didanai melalui skema Hibah Penelitian Internal *Batch* IB LRI UMY pada tahun 2024 oleh Universitas Muhammadiyah Yogyakarta Tahun Anggaran 2023/2024 dengan nomor hibah 50/R-LRI/XII/2023.

Yogyakarta, 30 Maret 2024

Penulis



Khairullah

Dosen Peneliti,

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Ir. Taufiq Ilham Maulana'.

Ir. Taufiq Ilham Maulana, S.T., M.Eng.,
Ph.D(Eng.)

PRAKATA



Assalamu 'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Segala puji bagi Allah SWT yang menguasai segala sesuatu. Sholawat dan salam selalu tercurahkan kepada Rasulullah SAW beserta keluarga dan sahabat-sahabatnya.

Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Penelitian ini bertujuan untuk Analisis Performa Seismik Gedung Beton Bertulang dengan Pengaku Tahan Tekuk Terhadap Beban Seismik Berurutan

Selama penyusunan tugas akhir ini, banyak rintangan yang penyusun dapatkan, tetapi berkat bantuan, bimbingan, dan dorongan dari berbagai pihak akhirnya dapat terselesaikan dengan baik. Melalui kesempatan ini, penyusun ingin menyampaikan rasa terima kasih atas kerja sama dan dukungan dari berbagai pihak selama proses penelitian hingga penyusunan tugas akhir ini kepada:

1. Ir. Puji Harsanto, S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
2. Ir. Taufiq Ilham Maulana, S.T., M.Eng., Ph.D. (Eng) selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis dalam menyusun Tugas Akhir ini.
3. Ir. Muhammad Ibnu Syamsi, S.T., M.Eng., Ph.D. selaku dosen penguji yang memberikan masukan yang membangun untuk perbaikan laporan Tugas Akhir ini.
4. Seluruh dosen yang telah mendidik dan mengajar penulis selama perkuliahan, seluruh staff dan pegawai Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
5. Orang tua dan keluarga yang selalu memberikan doa dan semangat setiap hari kepada penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.

6. Teman di pulau seberang sana yang selalu memberikan semangat, dorongan serta masukan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
7. Teman-teman seperjuangan yang selalu memberikan semangat kepada penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
8. Seluruh pihak yang turut berpartisipasi membantu penulis dalam menyelesaikan penulisan skripsi ini.

Penulis sadar masih banyak terdapat kekurangan dalam laporan Tugas Akhir ini, penulis mohon maaf yang sebanyak banyaknya. Penulis mengharapkan segala kritik dan saran yang membangun guna kesempurnaan Tugas Akhir ini. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat untuk para pembacanya.

Yogyakarta, 30 Maret 2024



Khairullah

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
LEMBAR PERSEMBAHAN	v
PRAKATA.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
DAFTAR NOTASI.....	xvi
DAFTAR SIGNKATAN	xvii
DAFTAR ISTILAH	xviii
ABSTRAK.....	xix
ABSTRACT.....	xx
BAB I.....	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	4
BAB II.....	5
TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Tinjauan Pustaka.....	5
2.2 Landasan Teori	16
2.2.1 Komponen Struktur Balok	16
2.2.2 Persyaratan Penulangan Balok Pemikul Lentur SRPMK.....	17
2.2.3 Persyaratan Penulangan Balok Pemikul Geser SRPMK	18
2.2.4 Komponen Struktur Lentur dan Aksial (Kolom).....	20
2.2.5 Persyaratan Penulangan Kolom Pemikul Lentur SRPMK	20
2.2.6 Persyaratan Penulangan Kolom Pemikul Geser SRPMK.....	22
2.2.7 Beban Gempa Berdasarkan SNI 1726:2019	23
2.2.8 Kombinasi Pembebanan	42
2.2.9 Kekuatan Struktur	44

BAB III	51
METODE PENELITIAN.....	51
3.1 Umum.....	51
3.2 Metode Penelitian.....	51
3.3 Studi Referensi.....	53
3.4 Verifikasi Model.....	53
3.5 Data umum Verifikasi.....	53
3.5.1 Spesifikasi Material Verifikasi	55
3.6 Permodelan Struktur.....	55
3.6.1 Permodelan Struktur Bangunan Menggunakan <i>STERA_3D</i>	55
3.6.2 Permodelan Struktur Menggunakan SAP2000 untuk mendapatkan Berat Bangunan.....	56
3.7 Respons Spektrum di Indonesia sesuai SNI 1726:2019	57
3.7.1 Pemilihan Catatan Gempa/Gerak Tanah Kuat (<i>Strong Ground Motion</i>)	58
3.7.2 Proses <i>Spektral Ground Motion</i> Sesuai SNI 8899:2020 pasal 7.9.2.3.1.....	60
3.7.3 Penyesuaian Data Akselerasi Gempa terhadap Waktu dan Respon Spektrum Indonesia	61
3.7.4 Pembuatan Data Gempa Utama dan Gempa Susulan Setelah Proses <i>Matching</i>	61
BAB IV	64
HASIL DAN PEMBAHASAN.....	64
4.1 Pendahuluan.....	64
4.2 Desain	64
4.3 Pembebanan.....	64
4.3.1 Pembebanan SAP2000.....	64
4.3.2 Beban Gempa.....	65
4.4 Perencanaan Elemen Struktur	68
4.4.1 Perencanaan Balok	68
4.4.2 Perancangan Kolom	69
4.5 Hasil Penelitian	73
4.5.1 Hasil Pergeseran lantai	73
4.5.2 Nilai Daktilitas Pada Peredam	78
4.5.3 Hubungan gaya-deformasi.....	81
BAB V.....	84
KESIMPULAN DAN SARAN.....	84
5.1 Kesimpulan	84

5.2 Saran	84
DAFTAR PUSTAKA	85
LAMPIRAN.....	85

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1	Gap penelitian	13
Tabel 2. 2	Tulangan transversal untuk kolom-kolom sistem rangka pemikul momen khusus.....	22
Tabel 2. 3	Hubungan jenis pemanfaatan struktur dengan kategori risiko (Badan Standarisasi Nasional, 2019).....	23
Tabel 2. 4	Hubungan kategori risiko dengan faktor keutamaan gempa, I (Badan Standarisasi Nasional, 2019).....	24
Tabel 2. 5	Hubungan parameter kemampuan tanah dengan klasifikasi situs (Badan Standarisasi Nasional, 2019).....	24
Tabel 2. 6	Koefisien situs, F_a (Badan Standarisasi Nasional, 2019).....	26
Tabel 2. 7	Koefisien situs, F_v (Badan Standarisasi Nasional, 2019).....	26
Tabel 2. 8	Kategori Desain Seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek (Badan Standarisasi Nasional, 2019).....	29
Tabel 2. 9	Kategori Desain Seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik (Badan Standarisasi Nasional, 2019).....	29
Tabel 2. 10	Faktor R , Ω_0 , dan C_d untuk beberapa sistem penahan gaya gempa (Badan Standarisasi Nasional, 2019).....	31
Tabel 2. 11	Prosedur Analisis yang diijinkan (Badan Standarisasi Nasional, 2019).....	39
Tabel 2. 12	Koefisien batas atas periode (Badan Standarisasi Nasional, 2019) ...	40
Tabel 2. 13	Nilai parameter periode pendekatan C_t dan x (Badan Standarisasi Nasional, 2019).....	40
Tabel 2. 14	Simpangan antar lantai ijin, Δ (Badan Standarisasi Nasional, 2019)	42
Tabel 2. 15	batasan lendutan.....	46
Tabel 2. 16	Kekuatan BRB	49
Tabel 3. 1	Spesifikasi mutu pekerjaan struktur.....	55
Tabel 3. 2	Nilai <i>Slump</i>	55
Tabel 3. 3	Spesifikasi Baja Tulangan.....	55
Tabel 3. 4	Daftar gempa <i>mainshock-aftershock</i> yang digunakan	59
Tabel 4. 1	Berat per lantai	65
Tabel 4. 2	Acuan Penggambaran Respon Spektra sesuai SNI 1726:2019.....	68
Tabel 4. 3	Selisih nilai daktilitas maksimum <i>Mainshock</i> dan <i>Mainshock-Aftershock</i>	79

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Mode luluh struktur 5 lantai yang mengalami Gerakan tanah dekat-sesar (Du et al, 2020).....	5
Gambar 2. 2 Rangka bangunan BRB 3,6, dan 9 lantai serta konfigurasi BRB (Kong et, al, 2022).....	6
Gambar 2. 3 Perbandingan kurva Mean IDA dengan koefisien γ yang berbeda untuk (a) BRBF 3, (b) 6 dan (c) 9 lantai (Kong et al, 2022)	7
Gambar 2. 4 Kurva kerapuhan dengan koefisien γ yang berbeda untuk (a) BRBF 3, (b) 6 dan (c) 9 lantai (Kong et al, 2022)	7
Gambar 2. 5 Permodelan bangunan yang digunakan (Hoveidae, 2021).....	8
Gambar 2. 6 Kurva IDA gempa utama-gempa susulan median untuk rangka RC dan rangka LVD (Fang et al, 2023).....	9
Gambar 2. 7 Spektrum gempa respon percepatan M1 dan spektrum respon percepatan MA26 (Hu et al, 2021)	10
Gambar 2. 8 Probabilitas struktur model BF4 tetap berada pada kondisi kerusakan awal setelah satu kali gempa susulan (Hu et al, 2023)	11
Gambar 2. 9 Lebar efektif maksimum balok lebar (<i>wide beam</i>) (Badan Standarisasi Nasional, 2019)	16
Gambar 2. 10 Persyaratan tulangan transversal (Badan Standarisasi Nasional, 2019).....	17
Gambar 2. 11 Jenis-jenis pemasangan sengkang (Badan Standarisasi Nasional, 2019).....	19
Gambar 2. 12 Ilustrasi Detail Penulangan Balok SRPMK : (a) sengkang, (b) Tulangan longitudinal (Fakhri, 2013).....	19
Gambar 2. 13 Batasan dimensi kolom	20
Gambar 2. 14 Tulangan kolom pemikul lentur (Badan Standarisasi Nasional, 2019).....	21
Gambar 2. 15 Tulangan kolom pemikul lentur (Badan Standarisasi Nasional, 2019).....	21
Gambar 2. 16 Respons spektra percepatan pendek yaitu percepatan 0,2 detik (Badan Standarisasi Nasional, 2019).....	27
Gambar 2. 17 Respons spektra percepatan pendek yaitu percepatan 1 detik (Badan Standarisasi Nasional, 2019)	27
Gambar 2. 18 PGA. Gempa maksimum yang dipertimbangkan rata-rata geometrik (MCEG) wilayah Indonesia (Badan Standarisasi Nasional, 2019) 28	
Gambar 2. 19 Ketentuan Penggambaran Grafik Respons Spektra (Badan Standarisasi Nasional, 2019)	28
Gambar 2. 20 pegas elastis, lentur nonlinier, dan geser nonlinier untuk elemen yang dimodelkan oleh STERA_3D (Maulana, 2021)	47

Gambar 2. 21 Model elemen untuk kolom (Maulana, 2021).....	48
Gambar 2. 22 Pemodelan penampang kolom RC menggunakan model multi pegas: (a) penampang kolom asli, dan (b) idealisasi model multi pegas (Maulana, 2021)	48
Gambar 2. 23 Hubungan momen-rotasi pada pegas lentur untuk pertimbangan nonlinier pada elemen struktur (Maulana, 2021)	48
Gambar 2. 24 Hubungan gaya-deformasi pada pegas geser untuk pertimbangan nonlinier pada elemen struktur (Maulana, 2021)	49
Gambar 2. 25 Histeresis bilinear BRB yang diadopsi (Maulana, 2021).....	50
Gambar 2. 26 Model elemen untuk peredam pasif (Maulana, 2021)	50
Gambar 2. 27 Bi-linear Model (Maulana, 2021)	50
Gambar 3. 1 <i>Flowchart</i>	52
Gambar 3. 2 Detail Kolom	54
Gambar 3. 3 Detail Balok.....	54
Gambar 3. 4 Permodelan struktur tanpa BRB pada STERA_3D	56
Gambar 3. 5 Permodelan dstruktur dengan BRB pada STERA_3D	56
Gambar 3. 6 Permodelan SAP2000 untuk pembebanan lantai	57
Gambar 3. 7 Respon Spektrum Kota Yogyakarta (Badan Standarisasi Nasional, 2019).....	58
Gambar 3. 8 Perbandingan Input gempa dengan target spektrum sebelum <i>matching</i>	60
Gambar 3. 9 Perbandingan Input gempa dengan target spektrum setelah dilakukan <i>matching</i>	61
Gambar 3. 10 Gempa utama-susulan	62
Gambar 3. 11 Gempa utama-susulan	63
Gambar 4. 1 Permodelan SAP2000	64
Gambar 4. 2 Hasil <i>running design</i> SAP2000	65
Gambar 4. 3 Peta gempa untuk penentuan nilai percepatan periode pendek S_s (Badan Standarisasi Nasional, 2019).....	66
Gambar 4. 4 Peta gempa untuk penentuan periode 1 detik S_1 (Badan Standarisasi Nasional, 2019).....	67
Gambar 4. 5 Gambar detaik kolom	72
Gambar 4. 6 Grafik pergeseran lantai tanpa BRB terhadap gempa utama	73
Gambar 4. 7 Grafik pergeseran lantai dengan BRB terhadap gempa utama	74
Gambar 4. 8 Grafik pergeseran lantai tanpa BRB terhadap gempa utama-susulan	74
Gambar 4. 9 Grafik pergeseran lantai dengan BRB terhadap gempa utama-susulan	75

Gambar 4. 10 Perbandingan pergeseran lantai tanpa perkuatan brb dan dengan perkuatan brb terhadap gempa <i>mainshock</i>	76
Gambar 4. 11 Perbandingan pergeseran lantai tanpa perkuatan brb dan dengan perkuatan brb terhadap gempa <i>mainshock aftershock</i>	77
Gambar 4. 12 Perbandingan pergeseran lantai tanpa perkuatan BRB terhadap gempa <i>mainshock</i> dan <i>mainshock-aftershock</i>	77
Gambar 4. 13 Perbandingan pergeseran lantai dengan perkuatan BRB terhadap gempa <i>mainshock</i> dan <i>mainshock-aftershock</i>	78
Gambar 4. 14 Grafik <i>Box-whisker</i> maksimum nilai daktilitas pada peredam terhadap <i>mainshock</i>	80
Gambar 4. 15 Grafik <i>Box-whisker</i> maksimum nilai daktilitas pada peredam terhadap <i>mainshock-aftershock</i>	80
Gambar 4. 16 titik tinjauan BRB pada lantai 5 struktur bangunan.....	81
Gambar 4. 17 Grafik gaya-deformasi pada lantai 5 terhadap beban gempa RSN 547-558'	82
Gambar 4. 18 Grafik perbandingan gaya deformasi gempa <i>mainshock</i> dan <i>mainshock-aftershock</i>	82
Gambar 4. 19 Grafik gaya-deformasi (Hoveidae, 2020).....	83

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 <i>RUNNING SOFTWARE</i> STERA_3D.....	85
LAMPIRAN 2 PENDEFINISIAN KOLOM, BALOK DAN BRB DALAM STERA_3D	95
LAMPIRAN 3 DATA EXCEL.....	101
LAMPIRAN 4 GAYA DEFORMASI	107

DAFTAR NOTASI

A_g	: luas bruto penampang, mm ² .
C	: faktor respons gempa dinyatakan dalam percepatan gravitasi.
C_d	: faktor amplifikasi defleksi.
C_s	: koefisien respon gempa.
C_{vx}	: faktor distribusi vertikal beban gempa statik ekuivalen.
d	: tinggi efektif penampang, mm.
db	: diameter batang tulangan, mm.
E	: pengaruh gaya yang ditimbulkan gempa horizontal dan vertikal.
E_c	: modulus elastisitas beton.
E_s	: modulus elastisitas baja (= 200.000 MPa).
F_a	: koefisien situs untuk periode pendek (periode 0,2 detik).
F_v	: koefisien situs untuk periode panjang (periode 1 detik).
f_c'	: kuat tekan beton yang disyaratkan, Mpa.
f_y	: kuat leleh tulangan, MPa.
f_{yh}	: kuat leleh tulangan transversal, MPa.
g	: percepatan gravitasi.
h	: tebal total komponen struktur, mm.
h_x	: spasi horizontal maksimum untuk kaki-kaki sengkang mm.
i	: nominal yang menunjukkan nomor lantai tingkat.
l_n	: bentang bersih yang diukur dari muka ke muka tumpuan, mm
M	: momen lentur secara umum.
M_c	: momen pada muka join.
M_n	: momen nominal suatu penampang unsur struktur gedung.
M_{pr}	: kuat momen lentur mungkin dari suatu komponen struktur.
n	: jumlah lantai tingkat struktur gedung.
R	: faktor reduksi gempa.

DAFTAR SINGKATAN

BRB-RCF	: <i>Buckling Restrained Brace with Reinforced Concrete Frame.</i>
RC	: <i>Reinforced Concrete.</i>
FD	: <i>Forward directivity.</i>
FS	: <i>Flings-step.</i>
IDA	: <i>Incremental Dynamic Analyses.</i>
CMR	: <i>Collaapse Margin Ratio.</i>
SCB	: <i>Self-Centering Braces.</i>
MID	: <i>Maximum Interstory Drifts.</i>
MRD	: <i>Maximum Residual Interstory Drifts.</i>
LVD	: <i>Lead Viscoelastic Damper.</i>
SEDRC	: <i>Self-Centering Energy-Absorbing Dual Rocking Core.</i>
IM _M	: <i>Incorporating Mainshock Intensity.</i>
IM _A	: <i>Aftershock Intensity.</i>
SRPMK	: <i>Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus.</i>
BJTS	: <i>Baja Tulangan Sirip.</i>
BJTP	: <i>Baja Tulangan Polos.</i>
SNI	: <i>Standar Nasional Indonesia.</i>

DAFTAR ISTILAH

1. Deformasi
Perubahan bentuk atau ukuran dari sebuah objek.
2. Arah Horizontal Orthogonal
Arah orthogonal yang mengendalikan elemen penahan gaya lateral.
3. Incremental Dynamic Analyses (IDA)
Merupakan metode analisis parameter terhadap performa struktural akibat gempa yang dilakukan untuk beberapa geometric struktur.