

**TUGAS AKHIR**

**PENINGKATAN KINERJA SEISMIS STRUKTUR DENGAN  
KETIDAKBERATURAN VERTIKAL *SETBACK* DENGAN  
PENGAKU TAHAN TEKUK**



**Disusun Oleh:**

**AUFA DARMAWAN**

**20200110011**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA**

**2024**

## **TUGAS AKHIR**

# **PENINGKATAN KINERJA SEISMIC STRUKTUR DENGAN KETIDAKBERATURAN VERTIKAL *SETBACK* DENGAN PENGAKU TAHAN TEKUK**

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



**Disusun Oleh:**

**AUFA DARMAWAN**

**20200110011**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA  
2024**

## HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Aufa Darmawan

NIM : 20200110011

Judul : Peningkatan Kinerja Seismik Struktur Dengan ketidakberaturan Vertikal *Setback* Dengan Pengaku Tahan Tekuk

Menyatakan bahwa Tugas Akhir ini merupakan bagian dari penelitian payung dosen pembimbing yang berjudul Peningkatan kinerja seismik struktur dengan ketidakberaturan vertikal *setback* dengan pengaku tahan tekuk dan didanai melalui skema Hibah Penelitian Internal *Batch* 1B LRI UMY pada tahun 2024 oleh Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Tahun Anggaran 2023/2024 dengan nomor hibah 50/R-LRI/XII/2023.

Yogyakarta, 31 Juli 2024

Penulis



Aufa Darmawan

Dosen Peneliti,

Handwritten signature of Ir. Taufiq Ilham Maulana.

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

## HALAMAN PERSEMBAHAN

*Alhamdulillah,*

*Ku persembahkan, karya kecil ini untuk orang-orang yang kucinta:*

*Keluarga Tercinta*

*Yang selalu memberikan kasih sayang, dukungan, dan doa yang tiada henti.  
Terima kasih atas segala pengorbanan dan cinta yang kalian berikan.*

*Teman-teman*

*Yang selalu ada di saat suka maupun duka, memberikan semangat, dukungan,  
dan kebersamaan yang tak ternilai harganya.*

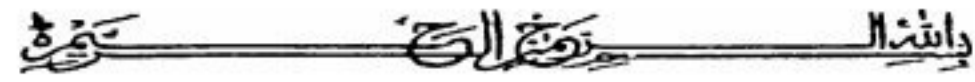
*Pembaca*

*Untuk kalian yang membaca dan menghargai karya ini. Semoga tulisan ini  
memberikan inspirasi, pengetahuan, dan kebahagiaan bagi setiap hati yang  
membacanya.*

*Diriku sendiri*

*terima kasih sudah berusaha dan tidak menyerah, meskipun banyak rintangan  
yang harus dihadapi.*

## 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 bagian dari persyaratan untuk meraih gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil di Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Penelitian ini bertujuan untuk Analisis Performa Seismik Gedung Beton Bertulang dengan Pengaku Tahan Tekuk Terhadap Beban Seismik Berurutan

Selama proses penyusunan tugas akhir ini, penyusun menghadapi berbagai tantangan, namun berkat adanya kontribusi, bimbingan, dan motivasi dari banyak pihak, tugas ini akhirnya dapat diselesaikan dengan baik. Melalui kesempatan ini, penyusun ingin menyampaikan penghargaan dan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan serta kerjasama selama proses penelitian dan 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. Dr. Ir. Seplika Yadi, S.T., M.T. selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan yang bermanfaat untuk perbaikan laporan Tugas Akhir ini.
4. Semua dosen yang telah mengajar dan mendidik penulis selama kuliah, serta seluruh staf 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. Mahasiswa pemilik NIM 20200110002 yang telah memberikan dorongan serta masukan untuk membantu penulisan pada hari-hari yang tidak mudah selama proses pengerjaan Tugas Akhir.
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 menyadari bahwa laporan Tugas Akhir ini masih memiliki banyak kekurangan, dan oleh karena itu penulis memohon maaf yang sebesar-besarnya. Penulis sangat mengharapkan adanya kritik dan saran yang konstruktif untuk memperbaiki dan menyempurnakan Tugas Akhir ini. Semoga laporan ini dapat memberikan manfaat bagi semua pembacanya.

Yogyakarta, 31 Juli 2024



Aufa Darmawan

## DAFTAR ISI

<b>TUGAS AKHIR .....</b>	<b>i</b>
<b>PENINGKATAN KINERJA SEISMIC STRUKTUR DENGAN KETIDAKBERATURAN VERTIKAL <i>SETBACK</i> DENGAN PENGAKU TAHAN TEKUK.....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR .....</b>	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN.....</b>	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN .....</b>	<b>v</b>
<b>PRAKATA .....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xvi</b>
<b>DAFTAR NOTASI.....</b>	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR SINGKATAN.....</b>	<b>xix</b>
<b>DAFTAR ISTILAH .....</b>	<b>xx</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>xxi</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xxii</b>
<b>BAB I.....</b>	<b>1</b>
<b>PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Lingkup Penelitian .....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
<b>BAB II .....</b>	<b>6</b>
<b>TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI .....</b>	<b>6</b>

2.1	Tinjauan Pustaka .....	6
2.2	Landasan Teori .....	21
2.2.1	Komponen Struktur Balok .....	21
2.2.2	Ketentuan Persyaratan Penulangan untuk Balok Pemikul Lentur SRPMK.....	22
2.2.3	Ketentuan Persyaratan untuk Penulangan Balok Pemikul Geser SRPKM.....	23
2.2.4	Komponen Struktr Lentur dan Aksial (Kolom) .....	24
2.2.5	Syarat Penentuan Penulangan Kolom Pemikul Lentur Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus SRPMK .....	25
2.2.6	Persyaratan Penulangan Kolom Pemikul Geser SRPMK .....	26
2.2.7	Struktur Gedung Tidak Beraturan .....	28
2.2.8	Pembebanan Gempa sesuai SNI 1726:2019 dan 8899:2020 .....	31
2.2.9	Kombinasi Pembebanan.....	55
2.2.10	Kekuatan Struktur .....	56
2.2.11	Dasar Teori Pemodelan pada STERA_3D .....	59
<b>BAB III.....</b>		<b>64</b>
<b>METODE PENELITIAN .....</b>		<b>64</b>
3.1	Umum .....	64
3.2	Metode Penelitian.....	64
3.3	Studi Referensi .....	66
3.4	Verifikasi Model .....	66
3.5	Data umum Verifikasi .....	66
3.5.1	Spesifikasi Material Verifikasi.....	68
3.6	Permodelan Struktur.....	68
3.6.1	Permodelan Struktur Bangunan dengan Aplikasi STERA_3D.....	68
3.6.2	Penggunaan SAP 2000 untuk Pemodelan Struktur dalam Menghitung Berat Bangunan.....	69
3.7	Parameter Indeks Ketidakberaturan .....	70
3.8	Respons Spektrum di Indonesia Berdasarkan SNI 1726:2019.....	71
3.8.1	Pemilihan Catatan Gempa/Gerakan Tanah Kuat (Strong Ground Motion) Berdasarkan SNI 8899:2020 .....	72
3.8.2	Proses Spektral Ground Motion Sesuai SNI 8899:2020 pasal 7.9.2.3.1 .....	80
3.8.3	Penyesuaian Data Akselerasi Gempa Berdasarkan Kesesuaian Waktu dan Respon Spektrum Indonesia .....	81



3.8.4	Pembuatan Data Gempa Utama Setelah Melakukan Proses <i>Matching</i>	82
<b>BAB IV</b>		<b>88</b>
<b>HASIL DAN PEMBAHASAN</b>		<b>88</b>
4.1	Pendahuluan	88
4.2	Pembebanan	89
4.2.1	Pembebanan Menggunakan SAP2000	89
4.2.2	Beban Gempa	91
4.3	Hasil Penelitian	94
4.4.1	Pergeseran Antar Lantai Pada Arah X	94
4.4.2	Hubungan $F_y$ , $K_0$ , dan <i>Maximum Story Drift</i>	99
4.4.3	Hubungan Gaya-Deformasi	103
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>		<b>106</b>
5.1	Kesimpulan	106
5.2	Saran	106
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>		<b>108</b>
<b>LAMPIRAN</b>		<b>111</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1	Gap penelitian .....	17
Tabel 2. 2	Tulangan transversal untuk kolom-kolom pada sistem rangka pemikul momen khusus (SNI 2847:2019, BSN 2019) .....	27
Tabel 2. 3	Ketidakteraturan vertikal pada struktur (SNI 1726:2019, BSN 2019) .....	29
Tabel 2. 4	Kategori risiko bangunan gedung dan nongedung untuk beban gempa (SNI 1726:2019, BSN 2019) .....	32
Tabel 2. 5	Faktor Keutamaan Gempa (SNI 1726:2019, BSN 2019) .....	34
Tabel 2. 6	Hubungan parameter kemampuan tanah dengan klasifikasi situs (SNI 1726:2019, BSN 2019) .....	34
Tabel 2. 7	Koefisien situs, $F_a$ (SNI 1726:2019, BSN 2019) .....	36
Tabel 2. 8	Koefisien situs, $F_v$ (SNI 1726:2019, BSN 2019) .....	36
Tabel 2. 9	Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek (SNI 1726:2019, BSN 2019) .....	39
Tabel 2. 10	Kategori Desain Seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik (SNI 1726:2019, BSN 2019) .....	39
Tabel 2. 11	Faktor $R$ , $\Omega_0$ , dan $C_d$ untuk beberapa sistem penahan gaya gempa (SNI 1726:2019, BSN 2019) .....	41
Tabel 2. 12	Prosedur Analisis yang diijinkan (SNI 1726:2019, BSN 2019) .....	51
Tabel 2. 13	Koefisien batas atas periode (BSN, 2019) .....	52
Tabel 2. 14	Nilai parameter periode pendekatan $C_t$ dan $x$ (BSN, 2019) .....	52
Tabel 2. 15	Simpangan antar lantai ijin, $\Delta$ (SNI 1726:2019, BSN 2019) .....	54
Tabel 2. 16	batasan lendutan (SNI 1726:2019, BSN 2019) .....	58
Tabel 2. 17	Kekuatan BRB .....	62
Tabel 3. 1	Spesifikasi mutu pekerjaan struktur .....	68
Tabel 3. 2	Spesifikasi Baja Tulangan .....	68
Tabel 3. 3	Hasil $\phi_s$ dan $\phi_b$ pada Model <i>setback</i> .....	71
Tabel 3. 4	Pemilihan catatan gempa di Yogyakarta .....	76
Tabel 3. 5	Daftar Gempa Model 8 Lantai .....	77
Tabel 3. 6	Daftar Gempa Model 12 Lantai .....	78
Tabel 3. 7	Daftar Gempa Model 20 Lantai .....	79
Tabel 3. 8	Respon spektrum pada setiap model 8, 12, dan 20 lantai .....	80
Tabel 4. 1	Hasil Perhitungan beban untuk setiap lantai dalam Model 8 Lantai .....	90
Tabel 4. 2	Hasil Perhitungan beban untuk setiap lantai dalam Model 12 Lantai .....	90
Tabel 4. 3	Hasil Perhitungan beban untuk setiap lantai dalam Model 20 Lantai .....	91
Tabel 4. 4	Sebagai referensi dalam menggambarkan respon spektra sesuai dengan ketentuan SNI 1726:2019 .....	93

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Geometri <i>setback</i> yang di pertimbangkan dalam penelitian (Karavasilis <i>et al.</i> , 2008).....	8
Gambar 2. 2 Konfigurasi struktur bangunan ketidakberaturan <i>setback</i> (Mouhine dan Hilali, 2022) .....	9
Gambar 2. 3 (a) pembangunan <i>setback</i> dan (b) skenario pelepasan kolom yang sesuai (satuan: mm) (He <i>et al.</i> , 2019) .....	10
Gambar 2. 4 (a) Rangka struktur bangunan BRB dengan variasi jumlah lantai 3, 6, dan 9 dan (b) konfigurasi tata letak BRB. (Kong <i>et al.</i> , 2022).....	11
Gambar 2. 5 Skema tata letak BRB (Tu <i>et al.</i> , 2022) .....	12
Gambar 2. 6 (a) Mode kegagalan dan bentuk modal dasar dari struktur tidak beraturan vertikal dan (b) peningkatan struktur dengan BRB (Tu <i>et al.</i> , 2022) .....	13
Gambar 2. 7 Distribusi permintaan IDR berdasarkan tinggi badan untuk semua frame (Hosseini <i>et al.</i> , 2023) .....	13
Gambar 2. 8 IDR grup pada arah x: (a) CO1, (b) CO2, (c) CO3, (d) CO4, (e) CO5, (f) CO6 (Jiang <i>et al.</i> , 2021).....	15
Gambar 2. 9 Kurva pushover siklik untuk model CMRF dan SF untuk: (a) model S06, dan (b) S12 (Soleimani dan Hamidi, 2021) .....	16
Gambar 2. 10 Lebar maksimum yang efektif untuk balok lebar ( <i>wide beam</i> ) (SNI 2847:2019, BSN 2019) .....	21
Gambar 2. 11 Ketentuan persyaratan teknis tulangan transversal (SNI 2847:2019, BSN 2019) .....	22
Gambar 2. 12 Variasi jenis pemasangan Sengkang (SNI 2847:2019, BSN 2019) 23	
Gambar 2. 13 Detail struktur Penulangan Balok SRPMK: (a) Sengkang, (b) Tulangan Longitudinal (Fakhri, 2013).....	24
Gambar 2. 14 Batasan dimensi kolom (SNI 2847:2019, BSN 2019) .....	25
Gambar 2. 15 Detail penulangan kolom untuk struktur pemikul lentur (SNI 2847:2019, BSN 2019) .....	26
Gambar 2. 16 Detail penulangan kolom untuk struktur pemikul lentur (SNI 2847:2019, BSN 2019) .....	26
Gambar 2. 17 Bentuk Ketidakberaturan vertikal sistem pemikul gaya seismik (SNI 1726:2019, BSN 2019) .....	30
Gambar 2. 18 Respons spektra percepatan pendek yaitu percepatan 0,2 detik (SNI 1726:2019, BSN 2019) .....	37
Gambar 2. 19 Respons spektra percepatan pendek yaitu percepatan 1 detik (SNI 1726:2019, BSN 2019) .....	37
Gambar 2. 20 PGA. Gempa maksimum yang dipertimbangkan rata-rata geometric (MCEG) wilayah Indonesia (SNI 1726:2019, BSN 2019) .....	38
Gambar 2. 21 Grafik Respon Spektra Desain (SNI 1726:2019, BSN 2019) .....	38
Gambar 2. 22 Variasi pegas elastis, lentur nonlinier, dan geser nonlinier pada elemen struktur dalam model aplikasi STERA_3D (Saito, 2023)...	60

Gambar 2. 23 Model elemen struktur pada kolom (Saito, 2023).....	60
Gambar 2. 24 RC Column section modelling using multi-spring models: (a) original column section, and (b) multi-spring model idealization (Saito, 2023).....	61
Gambar 2. 25 Hubungan momen-rotasi pada pegas lentur dalam konteks pertimbangan nonlinier elemen struktur (Saito, 2023) .....	61
Gambar 2. 26 Hubungan gaya-deformasi pada pegas geser dalam konteks pertimbangan nonlinier elemen struktur (Saito, 2023) .....	61
Gambar 2. 27 Histeresis bilinear BRB yang diadopsi (Saito, 2023).....	62
Gambar 2. 28 Model elemen untuk peredam pasif (Saito, 2023) .....	62
Gambar 2. 29 Bi-linear Model (Saito, 2023) .....	63
Gambar 3. 1 <i>Flowchart</i> penelitian .....	64
Gambar 3. 2 Detail Kolom.....	67
Gambar 3. 3 Detail Balok.....	67
Gambar 3. 4 Permodelan Struktur tanpa BRB dengan STERA_3D.....	69
Gambar 3. 5 Permodelan Struktur dengan BRB dengan STERA_3D .....	69
Gambar 3. 6 Permodelan SAP2000 untuk pembebanan lantai .....	70
Gambar 3. 7 Geometri untuk definisi indeks ketidakberaturan (Karavasilis et al., 2008) .....	71
Gambar 3. 8 Respon Spektrum Kota Yogyakarta (SNI 1726:2019, BSN 2019)..	72
Gambar 3. 9 Peta jarak distribusi magnitudo sumber gempa <i>Shallow Crustal</i> pada $S_a$ 0.2s dengan perioda ulang gempa 2500 tahun (SNI 1726:2019, BSN 2019) .....	73
Gambar 3. 10 Peta jarak distribusi <i>source distance</i> sumber gempa <i>Shallow Crustal</i> pada $S_a$ 0.2s dengan perioda ulang gempa 2500 tahun (SNI 1726:2019, BSN 2019) .....	73
Gambar 3. 11 Peta jarak distribusi magnitudo sumber gempa <i>Benioff</i> pada $S_a$ 0.2s dengan perioda ulang gempa 2500 tahun (SNI 1726:2019, BSN 2019) .....	74
Gambar 3. 12 Peta jarak distribusi <i>source distance</i> sumber gempa <i>Benioff</i> pada $S_a$ 0.2s dengan perioda ulang gempa 2500 tahun (SNI 1726:2019, BSN 2019) .....	74
Gambar 3. 13 Peta jarak distribusi magnitudo sumber gempa <i>Megathrust</i> pada $S_a$ 0.2s dengan perioda ulang gempa 2500 tahun (SNI 1726:2019, BSN 2019) .....	75
Gambar 3. 14 Peta jarak distribusi <i>source distance</i> sumber gempa <i>Megathrust</i> pada $S_a$ 0.2s dengan perioda ulang gempa 2500 tahun (SNI 1726:2019, BSN 2019) .....	75
Gambar 3. 15 $V_{s30}$ Kota Yogyakarta (USGS) .....	76
Gambar 3. 16 Perbandingan antara input gempa dan target spektrum sebelum proses <i>matching</i> .....	81
Gambar 3. 17 Perbandingan antara input gempa dan target spektrum setelah proses <i>matching</i> .....	81
Gambar 3. 18 Gempa RSN20_NCALIF.FH_H-FRN314.....	82
Gambar 3. 19 Gempa RSN130_FRIULI.B_B-BUI270 .....	82

Gambar 3. 20 Gempa RSN307_SMART1.05_05I06NS .....	82
Gambar 3. 21 Gempa RSN595_WHITTIER.A_A-JAB297 .....	82
Gambar 3. 22 Gempa RSN615_WHITTIER.A_A-DWN270.....	83
Gambar 3. 23 Gempa RSN639_WHITTIER.A_A-OBR360.....	83
Gambar 3. 24 Gempa RSN646_WHITTIER.A_A-LBR000 .....	83
Gambar 3. 25 Gempa RSN647_WHITTIER.A_A-REC180 .....	83
Gambar 3. 26 Gempa RSN649_WHITTIER.A_A-BRC000 .....	83
Gambar 3. 27 Gempa RSN652_WHITTIER.A_A-DEL000 .....	83
Gambar 3. 28 Gempa RSN679_WHITTIER.A_A-KEC360 .....	84
Gambar 3. 29 Gempa RSN20_NCALIF.FH_H-FRN314.....	84
Gambar 3. 30 Gempa RSN130_FRIULI.B_B-BUI000 .....	84
Gambar 3. 31 Gempa RSN266_VICT_CHI192 .....	84
Gambar 3. 32 Gempa RSN316_WESMORL_PTS315.....	84
Gambar 3. 33 Gempa RSN343_COALINGA.H_H-Z04000 .....	84
Gambar 3. 34 Gempa RSN346_COALINGA.H_H-Z08000 .....	85
Gambar 3. 35 Gempa RSN348_COALINGA.H_H-PG1000 .....	85
Gambar 3. 36 Gempa RSN360_COALINGA.H_H-VC1000.....	85
Gambar 3. 37 Gempa RSN593_WHITTIER.A_A-ARL270 .....	85
Gambar 3. 38 Gempa RSN599_WHITTIER.A_A-FLO290.....	85
Gambar 3. 39 Gempa RSN676_WHITTIER.A_A-BRI360 .....	85
Gambar 3. 40 Gempa RSN167_IMPVAL.H_H-CMP285 .....	86
Gambar 3. 41 Gempa RSN266_VICT_CHI192 .....	86
Gambar 3. 42 Gempa RSN316_WESMORL_PTS315.....	86
Gambar 3. 43 Gempa RSN338_COALINGA.H_H-Z14090 .....	86
Gambar 3. 44 Gempa RSN345_COALINGA.H_H-Z07000 .....	86
Gambar 3. 45 Gempa RSN606_WHITTIER.A_A-CNB130.....	86
Gambar 3. 46 Gempa RSN613_WHITTIER.A_A-BAD000.....	87
Gambar 3. 47 Gempa RSN628_WHITTIER.A_A-CEN245 .....	87
Gambar 3. 48 Gempa RSN645_WHITTIER.A_A-OR2280.....	87
Gambar 3. 49 Gempa RSN677_WHITTIER.A_A-CCB270 .....	87
Gambar 3. 50 Gempa RSN6877_JOSHUA_5294180 .....	87
Gambar 4. 1 Model ketidakberaturan vertikal <i>setback</i> tanpa BRB: (a) 8 lantai (b) 12 lantai (c) 20 lantai .....	88
Gambar 4. 2 Model ketidakberaturan vertikal <i>setback</i> dengan BRB: (a) 8 lantai (b) 12 lantai (c) 20 lantai.....	89
Gambar 4. 3 Pemodelan menggunakan SAP2000 .....	89
Gambar 4. 4 Hasil running design SAP2000 .....	90
Gambar 4. 5 Penentuan peta gempa pada nilai percepatan periode pendek $S_I$ (SNI 1726:2019, BSN 2019) .....	92
Gambar 4. 6 Penentuan peta gempa pada periode 1 detik $S_S$ (SNI 1726:2019, BSN 2019) .....	92
Gambar 4. 7 Grafik pergeseran antar lantai arah X tanpa BRB pada model 8 lantai .....	94
Gambar 4. 8 Grafik pergeseran antar lantai arah X tanpa BRB pada model 12 lantai.....	95

Gambar 4. 9 Grafik pergeseran antar lantai arah X tanpa BRB pada model 20 lantai.....	95
Gambar 4. 10 Perbandingan grafik pergeseran antar lantai pada arah X untuk model gedung 8 lantai dengan penerapan BRB.....	96
Gambar 4. 11 Perbandingan grafik pergeseran antar lantai pada arah X untuk model gedung 12 lantai dengan penerapan BRB.....	96
Gambar 4. 12 Perbandingan grafik pergeseran antar lantai pada arah X untuk model gedung 20 lantai dengan penerapan BRB.....	97
Gambar 4. 13 Perbandingan terhadap pergeseran rata-rata pada bangunan model bertingkat 8 lantai .....	97
Gambar 4. 14 Perbandingan terhadap pergeseran rata-rata pada bangunan model bertingkat 12 lantai .....	98
Gambar 4. 15 Perbandingan terhadap pergeseran rata-rata pada bangunan model bertingkat 20 lantai .....	98
Gambar 4. 16 Grafik hubungan $F_y$ , $K_0$ , dan $Max. story drift$ pada gempa RSN 130 (8 lantai).....	100
Gambar 4. 17 Grafik hubungan $F_y$ , $K_0$ , dan $Max. story drift$ pada gempa RSN 676 (12 lantai).....	100
Gambar 4. 18 Grafik hubungan $F_y$ , $K_0$ , dan $Max. story drift$ pada gempa RSN 345 (20 lantai).....	101
Gambar 4. 19 Grafik hubungan rata – rata $F_y$ , $K_0$ , dan $Max. story drift$ pada 11 rangkaian gempa (8 lantai) .....	102
Gambar 4. 20 Grafik hubungan rata – rata $F_y$ , $K_0$ , dan $Max. story drift$ pada 11 rangkaian gempa (12 lantai) .....	102
Gambar 4. 21 Grafik hubungan rata – rata $F_y$ , $K_0$ , dan $Max. story drift$ pada 11 rangkaian gempa (20 lantai) .....	103
Gambar 4. 22 Titik tinjauan BRB pada lantai 4 struktur bangunan.....	104
Gambar 4. 23 Grafik gaya-deformasi pada lantai 8 akibat beban gempa RSN 130 .....	104
Gambar 4. 24 Grafik gaya-deformasi (Hoveidae, 2020).....	105

## DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 RUNNING SOFTWARE STERA_3D .....	111
LAMPIRAN 2 PENDEFINISIAN KOLOM, BALOK, DAN BRB DALAM STERA_3D .....	115
LAMPIRAN 3 DATA EXCEL.....	120
LAMPIRAN 4 GRAFIK HUBUNGAN .....	126
LAMPIRAN 5 GAYA DEFORMASI.....	130

## DAFTAR NOTASI

- $A_g$  : Luas bruto penampang, mm<sup>2</sup>.
- $b_w$  : Lebar badan, tebal dinding, atau diameter penampang lingkaran.
- $f_y$  : Kuat leleh tulangan (MPa).
- $f_c'$  : Kuat tekan beton yang disyaratkan (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.
- $C$  : 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).
- $d_b$  : 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).
- $T_{lower}$  : Periode getar yang ditentukan ketika 90% dari massa partisipasi nyata sudah tercapai pada masing-masing arah respons orthogonal. Dalam menghitung



Tlower, model matematika yang digunakan harus mengabaikan torsi tak terduga dan mempertimbangkan efek P-delta.

- $T_{upper}$  : Periode dari rentang nilai yang lebih besar di antara dua periode getaran fundamental yang bersifat ortogonal. Dalam model matematika yang digunakan untuk menghitung Tupper, torsi tak terduga tidak boleh dipertimbangkan, sedangkan efek P-delta harus diperhitungkan.
- $SDI$  : Parameter percepatan respons spektral pada periode 1 detik, redaman 5 persen.
- $SDS$  : Parameter percepatan respons spektral pada periode pendek, redaman 5 persen.
- $S1$  : Parameter percepatan respons spektral Mce dari peta gempa pada periode 1 detik, redaman 5.
- $Sa$  : Spektral percepatan (m/detik<sup>2</sup>)  $Sd$  = spektral perpindahan (m).
- $SMI$  : Parameter percepatan respons spektral MCE pada periode 1 detik yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs.
- $SMS$  : Parameter percepatan respons spektral MCE pada periode pendek yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs.
- $Ss$  : Parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada periode pendek, redaman 5 persen.
- $Mu$  : momen terfaktor pada penampang, kNm
- $Cd$  : faktor amplikasi defleksi
- $\phi_s$  : Indeks ketidakberaturan (Karavasilis et al., 2008).
- $\phi_b$  : Indeks ketidakberaturan (Karavasilis et al., 2008).

## DAFTAR SINGKATAN

- BRB : *Buckling Restrained Brace.*
- IDR : *Inter Story Drift*
- RC : *Reinforced Concrete.*
- SRPMK : Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus.
- BJTS : Baja Tulangan Sirip.
- BJTP : Baja Tulangan Polos.
- SNI : Standar Nasional Indonesia.
- PEER : Pacific earthquake engineering research center

## DAFTAR ISTILAH

1. Deformasi  
Perubahan bentuk atau ukuran dari sebuah objek.
2. Kuantifikasi  
Pernyataan penjumlahan angka.
3. Konstruksi  
Teknik pembangunan yang mencakup bangunan gedung dan konstruksi sipil, khususnya melalui disiplin profesional, dapat digunakan untuk merancang dan membangun infrastruktur.
4. Arah Horizontal Orthogonal  
Arah orthogonal yang mengendalikan elemen penahan gaya lateral.