

TUGAS AKHIR

**PERBANDINGAN DESAIN STRUKTUR APARTEMEN
BERLANTAI 33 DI DAERAH SURABAYA DENGAN MODIFIKASI
PENAMBAHAN SISTEM OUTRIGGER DAN BELT-TRUSS**

Diajukan guna melengkapi persyaratan untuk memenuhi gelar Sarjana Teknik di
Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta



Disusun oleh :

FATURAHMAN AGUNG PRADANA

20150110154

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

2019

HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Faturahman Agung Pradana

NIM : 20150110154

Judul : Perbandingan Desain Struktur Apartemen Berlantai 33
di Daerah Surabaya dengan Modifikasi Penambahan
Sistem Outrigger dan Belt-Truss

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa Tugas Akhir ini merupakan karya saya sendiri. Apabila terdapat karya orang lain yang saya kutip, maka saya akan mencantumkan sumber secara jelas. Jika dikemudian hari ditemukan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi dengan aturan yang berlaku. Demikian pernyataan ini saya buat tanpa ada paksaan dari pihak mana pun.

Yogyakarta, 17 Agustus 2019

Yang membuat pernyataan



Faturahman Agung Pradana

HALAMAN PERSEMBAHAN

Pertama-tama puja dan puji syukur kepada Allah SWT, yang telah memberikan kekuatan, kebahagiaan, bimbingan dalam setiap langkah, dipermudahkannya dalam setiap masalah dan dilindungi dari kejahatan, atas karuniaNya dalam menyusun dan menyelesaikan Tugas Akhir. Sholawat serta salam selalu tercurah kepada Nabi Muhammad SAW.

Keduakalinya mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada berbagai pihak, baik yang telah mengenal ataupun yang baru membaca Tugas Akhir, berkat pihak-pihak yang telah merendahkan, mengacuhkan, bahkan dijadikannya bahan pembicaraan, menjadi termotivasi, terdorong untuk membuat Tugas Akhir yang luar biasa tanpa bantuan orang lain, bahkan melebihi kesulitan-kesulitan yang berbagai pihak tersebut tidak bisa mengerjakan sendiri, bahkan kalau diprediksi, dengan banyak memerlukan bantuan orang lain.

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 disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Penelitian ditujukan untuk membandingkan penggunaan tanpa dan adanya system struktur *outrigger* dan *belt-truss* terhadap kontrol struktur dan menggambarkan dimensi desainnya dari apartemen berlantai 33 di daerah Surabaya.

Selama penyusunan Tugas Akhir, penulis mendapat bantuan bimbingan, dan dorongan dari berbagai pihak, sehingga dapat terselesaikan dengan baik. Penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih atas dukungan dari berbagai pihak yakni kepada:

1. Puji Harsanto, S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
2. Yoga Aprianto Harsoyo, S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir.
3. Kedua Orang Tua dan adik.

Akhirnya, setelah segala kemampuan dicurahkan serta diiringi dengan doa untuk menyelesaikan tugas akhir.

Wassalamu 'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Yogyakarta, 17 Agustus 2019

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
PRAKATA.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xviii
DAFTAR LAMBANG, NOTASI, DAN SINGKATAN.....	xix
DAFTAR ISTILAH	xxvi
ABSTRAK	xxviii
<i>ABSTRACT</i>	xxix
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Lingkup Penelitian.....	3
1.4. Tujuan Penelitian	4
1.5. Manfaat Penelitian	4
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	5
2.1. Tinjauan Pustaka.....	5
2.1.1. Penelitian terdahulu.....	5
2.1.2. Perbedaan penelitian penulis dengan penelitian terdahulu	22
2.2. Dasar Teori	22
2.2.1. Bangunan tinggi	22
2.2.2. Pembebanan	29
2.2.3. Response struktur	47
2.2.4. Perancangan struktur.....	51
BAB III. METODE PENELITIAN.....	85
3.1. Metode Analisis	85
3.1.1. Studi literatur.....	85
3.1.2. Pengumpulan data	85
3.1.3. Pemodelan struktur.....	85

3.1.4.	Perbandingan elemen struktural	86
3.2.	Diagram Alir Penelitian	86
3.3.	Data Apartemen	88
3.3.1.	Data deskripsi apartemen	88
3.3.2.	Data struktur apartemen	90
3.4.	Tahap Analisis	109
3.4.1.	Pembebanan	109
3.4.2.	Pemodelan struktur.....	136
BAB IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN		138
4.1.	Response Struktur	138
4.1.1.	Partisipasi massa struktur	138
4.1.2.	Waktu getar alami	141
4.1.3.	Gaya geser	143
4.1.4.	Simpangan.....	147
4.2.	Perancangan Struktur.....	154
4.2.1.	Perancangan <i>outrigger</i>	154
4.2.2.	Perancangan <i>belt-truss</i>	162
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN.....		180
5.1.	Kesimpulan	180
5.2.	Saran	182
DAFTAR PUSTAKA		183
LAMPIRAN		186

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Hasil perbandingan kontrol analisis keamanan, setelah diberi perkuatan <i>outrigger</i> dan <i>shear wall</i> terhadap kontrol eksisting gedung tanpa perkuatan (Pratama, 2018).....	6
Tabel 2.2 Perbandingan nilai <i>base shear</i> struktur tanpa perkuatan dengan struktur perkuatan <i>outrigger</i> (Pratama, 2018).....	7
Tabel 2.3 Perbandingan nilai <i>base shear</i> struktur tanpa perkuatan dengan struktur perkuatan <i>shear wall</i> (Pratama, 2018).....	7
Tabel 2.4 Hasil lokasi optimum penempatan <i>outrigger</i> dan <i>belt-truss</i> (Tavakoli. dkk., 2019).....	11
Tabel 2.5 Hasil analisis profil desain (Gultom, 2017).....	15
Tabel 2.6 Kategori risiko bangunan dan struktur lainnya untuk beban banjir, angin, salju, gempa, dan es.....	31
Tabel 2.7 Faktor arah angin, K_d	32
Tabel 2.8 Persyaratan eksposur.....	32
Tabel 2.9 Tabel parameter untuk peningkatan kecepatan di atas bukit dan tebing.....	33
Tabel 2.10 Tabel sistem penahan beban angin pada koefisien tekanan internal.....	34
Tabel 2.11 Konstanta eksposur daratan.....	34
Tabel 2.12 Koefisien tekanan dinding.....	35
Tabel 2.13 Nilai parameter periode pendekatan C_t dan x	38
Tabel 2.14 Nilai parameter periode pendekatan C_u	39
Tabel 2.15 Koefisien situs parameter F_{PGA}	40
Tabel 2.16 Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa dan faktor keutamaan gempa.....	41
Tabel 2.17 Klasifikasi situs untuk N	42
Tabel 2.18 Koefisien situs F_a	43
Tabel 2.19 Koefisien situs F_v	44
Tabel 2.20 Koefisien situs KDS.....	46
Tabel 2.21 Simpangan antar lantai izin.....	51
Tabel 2.22 Faktor <i>shear lag</i> untuk sambungan pada komponen struktur tarik.....	59

Tabel 2.23 Rasio tebal terhadap lebar untuk klasifikasi elemen pada batang tekan aksial	64
Tabel 2.24 Pemilihan perilaku tekuk terhadap bentuk penampang	66
Tabel 2.25 Konsep panduan efektif dan daya dukung kolom (Dewobroto, Struktur Baja Edisi ke-2, 2016).....	68
Tabel 2.26 Tinggi las sudut minimum	71
Tabel 3.1 Data geometri struktur apartemen.....	88
Tabel 3.2 Data dimensi elemen kolom dengan mutu beton	97
Tabel 3.3 Data dimensi elemen <i>tie beam</i> dengan mutu beton 25 Mpa	100
Tabel 3.4 Data dimensi elemen balok <i>lower ground</i> dengan mutu beton 55Mpa	100
Tabel 3.5 Data dimensi elemen balok <i>ground floor</i> dengan mutu beton 55 Mpa	101
Tabel 3.6 Data dimensi elemen balok <i>upper ground</i> dengan mutu beton 55 Mpa	101
Tabel 3.7 Data dimensi elemen balok lantai 1-8, $F_c' = 55$ Mpa; lantai 9-15, $F_c' = 45$ Mpa	102
Tabel 3.8 Data dimensi elemen balok lantai 16-21, $F_c' = 45$ Mpa; lantai 22-33, $F_c' = 35$ Mpa	102
Tabel 3.9 Data dimensi elemen balok <i>roof floor</i> dengan mutu beton 55 Mpa....	103
Tabel 3.10 Data dimensi elemen balok <i>link beam</i> dengan mutu beton.....	103
Tabel 3.11 Data ketebalan elemen pelat dengan mutu beton.....	104
Tabel 3.12 Data ketebalan elemen <i>retain wall</i> dengan mutu beton	106
Tabel 3.13 Data desain <i>load</i>	107
Tabel 3.14 Hasil rekapitulasi perhitungan beban dinding pada balok	109
Tabel 3.15 Hasil rekapitulasi tekanan angin	111
Tabel 3.16 Hasil rekapitulasi beban angin pada sebagai beban terpusat ke <i>joint</i> pertemuan kolom dengan balok	113
Tabel 3.17 Hasil perhitungan koefisien situs pada titik pengeboran BH-1.....	115
Tabel 3.18 Hasil rekapitulasi perhitungan koefisien situs untuk menentukan jenis tanah	116
Tabel 3.19 Hasil rekapitulasi perhitungan nilai respon spektrum untuk daerah Kota Surabaya pada tanah lunak.....	118

Tabel 3.20 Hasil nilai respon spektrum yang dirubah dari data <i>ground motion</i> untuk Gempa Kobe arah x <i>unscaled</i>	124
Tabel 3.21 Hasil nilai respon spektrum yang dirubah dari data <i>ground motion</i> untuk Gempa Kobe arah y <i>unscaled</i>	126
Tabel 3.22 Hasil nilai respon spektrum untuk Gempa Kobe arah x <i>scaled</i>	130
Tabel 3.23 Hasil nilai respon spektrum untuk Gempa Kobe arah y <i>scaled</i>	132
Tabel 3.24 Hasil rekapitulasi skala percepatan gempa	136
Tabel 3.25 Kriteria profil penambahan sistem <i>outrigger</i> dan <i>belt-truss</i>	136
Tabel 4.1 Mode respon ragam dan jumlah partisipasi massa, tanpa penambahan perkuatan sistem <i>outrigger</i> dan <i>belt-truss</i>	138
Tabel 4.2 Mode respon ragam dan jumlah partisipasi massa, dengan penambahan perkuatan sistem <i>outrigger</i> dan <i>belt-truss</i>	140
Tabel 4.3 Mode respons ragam dan periode fundamental struktur	142
Tabel 4.4 Nilai gaya geser dasar pada analisis skala gempa masukan tanpa penambahan perkuatan sistem <i>outrigger</i> dan <i>belt-truss</i>	145
Tabel 4.5 Nilai gaya geser dasar pada analisis skala gempa masukan dengan penambahan perkuatan sistem <i>outrigger</i> dan <i>belt-truss</i>	145
Tabel 4.6 Hasil anslisis eksisting dari <i>interstory drif</i> dan batas izin struktur arah y	150

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Visual keempat model penempatan dari <i>outrigger</i> di ketinggian gedung +400 m (Park. dkk., 2016).	5
Gambar 2.2 Grafik perubahan volume untuk model struktural sehubungan dengan jumlah <i>outrigger</i> (Park. dkk., 2016).....	6
Gambar 2.3 Grafik perbandingan nilai periode dan frekuensi struktur (Pratama, 2018).	7
Gambar 2.4 Grafik perbandingan gaya geser lantai akibat beban gempa dinamik arah X (kiri) dan Y(kanan) (Pratama, 2018).	7
Gambar 2.5 Grafik <i>drift ratio</i> arah X pada struktur tanpa perkuatan dan dengan perkuatan <i>outrigger</i> (Pratama, 2018).	8
Gambar 2.6 Grafik <i>drift ratio</i> arah Y pada struktur tanpa perkuatan dan dengan perkuatan <i>shear wall</i> (Pratama, 2018).	8
Gambar 2.7 Metode pemodelan tanah SSI dengan <i>plane strain</i> , dan pemodelan <i>fixed base system</i> (Tavakoli. dkk., 2019).....	10
Gambar 2.8 Grafik simpangan lantai atap berdasarkan jumlah <i>outrigger</i> (Chen, Yue. Zhenya Zhang, 2017).....	13
Gambar 2.9 Grafik <i>moment core base moment</i> berdasarkan jumlah <i>outrigger</i> (Chen, Yue. Zhenya Zhang, 2017).....	13
Gambar 2.10 Grafik kekakuan relatif dari struktur berdasarkan jumlah <i>outrigger</i> (Chen, Yue. Zhenya Zhang, 2017).....	14
Gambar 2.11 Tampak melintang dari hasil desain penempatan <i>outrigger</i> dan <i>belt-truss</i> (Christianto. dkk., 2017).....	16
Gambar 2.12 Hasil desain dari detail tulangan <i>outrigger</i> (Christianto. dkk., 2017).	17
Gambar 2.13 Tampak potongan melintang hasil penempatan dari desain <i>belt-truss</i> beserta potongan detail 1, 2, 3 (Christianto. dkk., 2017).	17
Gambar 2.14 Hasil desain dari <i>belt-truss</i> potongan melintang detail 1, beserta detail potongan A-A (Christianto. dkk., 2017).	18
Gambar 2.15 Hasil desain dari <i>belt-truss</i> potongan 1 detail A-A (Christianto. dkk., 2017).	18

Gambar 2.16 Hasil desain dari <i>belt-truss</i> potongan melintang dari detail 2 (Christianto. dkk., 2017).	19
Gambar 2.17 Hasil desain dari <i>belt-truss</i> potongan melintang dari detail 3 (Christianto. dkk., 2017).	19
Gambar 2.18 <i>Mode shape</i> struktur 10 tingkat (Faizah, 2015).	21
Gambar 2.19 Gaya lateral tingkat dari struktur 5 dan 10 tingkat, (kiri) (Faizah, 2015).	21
Gambar 2.20 Gaya lateral tingkat dari struktur 25 dan 30 tingkat (kanan) (Faizah, 2015).	21
Gambar 2.21 Perbandingan gaya geser dasar statik ekuivalen dan dinamik <i>time history</i> (Faizah, 2015).	21
Gambar 2.22 Skematik gaya gempa terhadap angin dan gempa (Dewobroto, Menyongsong Era Pembangunan Gedung Super Tinggi dan Mega Tinggi di Indonesia, 2012).	23
Gambar 2.23 Profil kecepatan angin di berbagai daerah dan ketinggian (Dewobroto, Menyongsong Era Pembangunan Gedung Super Tinggi dan Mega Tinggi di Indonesia, 2012).	24
Gambar 2.24 Macam-macam struktur dengan jumlah lantai (a) <i>stell rigid frame</i> , (b) <i>RC rigid frame</i> (Dewobroto, Menyongsong Era Pembangunan Gedung Super Tinggi dan Mega Tinggi di Indonesia, 2012).	25
Gambar 2.25 Macam-macam sistem rangka dengan batang diagonal (Dewobroto, Menyongsong Era Pembangunan Gedung Super Tinggi dan Mega Tinggi di Indonesia, 2012).	26
Gambar 2.26 Mekanisme disipasi energi terhadap gempa (Dewobroto, Menyongsong Era Pembangunan Gedung Super Tinggi dan Mega Tinggi di Indonesia, 2012).	26
Gambar 2.27 Sistem <i>outrigger</i> (Dewobroto, Menyongsong Era Pembangunan Gedung Super Tinggi dan Mega Tinggi di Indonesia, 2012).	27
Gambar 2.28 Sistem <i>brace frame</i> (b) dan sistem <i>bundled-tube</i> (c) (Dewobroto, Menyongsong Era Pembangunan Gedung Super Tinggi dan Mega Tinggi di Indonesia, 2012).	27

Gambar 2.29 Perilaku kolom kantilever terhadap lateral pusat (Dewobroto, Menyongsong Era Pembangunan Gedung Super Tinggi dan Mega Tinggi di Indonesia, 2012).	28
Gambar 2.30 Sistem <i>outrigger</i> dan <i>belt-truss</i> (Reza & Reza, 2017).	29
Gambar 2.31 Ilustrasi sistem <i>outrigger</i> (Yue & Zhenya, 2017).	29
Gambar 2.32 Kinerja struktur <i>outrigger</i> dan <i>belt-truss</i> (Yue & Zhenya, 2017).	29
Gambar 2.33 Keterangan parameter pengali K_{zt} pada tebing dan bukit memanjang 2-D atau bukit simetris 3-D.	33
Gambar 2.34 PGA gempa maksimum yang dipertimbangkan rata-rata geometrik (MCE_G) wilayah Indonesia (Irsyam, et al., 2017 pada halaman 356).	40
Gambar 2.35 Peta percepatan batuan dasar periode pendek, (S_s).	42
Gambar 2.36 Peta percepatan batuan dasar periode 1 detik, (S_1).	43
Gambar 2.37 Bentuk dasar respons spektra desain.	45
Gambar 2.38 Penentu simpangan antar lantai (BSN, SNI 1726-2012 pada gambar 5).	50
Gambar 2.39 Balok tinggi (Setiawan, 2016).	52
Gambar 2.40 Diagram alir perencanaan balok <i>outrigger</i> .	55
Gambar 2.41 Balok tinggi (Dewobroto, Struktur Baja Edisi ke-2, 2016).	58
Gambar 2.42 Kemungkinan keruntuhan pada lubang berpola <i>staggered</i> (Dewobroto, Struktur Baja Edisi ke-2, 2016).	60
Gambar 2.43 Pola <i>staggered</i> pada profil tidak sebidang (Dewobroto, Struktur Baja Edisi ke-2, 2016).	61
Gambar 2.44 Jarak l dan x sebagai panjang batang tersambung (Dewobroto, Struktur Baja Edisi ke-2, 2016).	61
Gambar 2.45 Diagram alir perencanaan batang tarik.	62
Gambar 2.46 Fenomena tekuk (Dewobroto, Struktur Baja Edisi ke-2, 2016).	63
Gambar 2.47 Bentuk penampang dan perilaku tekuk (Dewobroto, Struktur Baja Edisi ke-2, 2016).	65
Gambar 2.48 Model kolom ideal dari Euler (Dewobroto, Struktur Baja Edisi ke-2, 2016).	67
Gambar 2.49 Diagram alir perencanaan batang tekan.	69

Gambar 2.50 Jenis las ditinjau dari segi pemasangannya (Dewobroto, Struktur Baja Edisi ke-2, 2016).	71
Gambar 2.51 Karakter penampang las sudut (Dewobroto, Struktur Baja Edisi ke-2, 2016).	72
Gambar 2.52 Dimensi las sudut untuk perhitungan tegangan geser (Dewobroto, Struktur Baja Edisi ke-2, 2016).	72
Gambar 2.53 Base-plate terhadap beban tekan konsentris (Dewobroto, Struktur Baja Edisi ke-2, 2016).	74
Gambar 2.54 Distribusi tegangan segitiga akibat eksentrisitas kecil (Dewobroto, Struktur Baja Edisi ke-2, 2016).	75
Gambar 2.55 Distribusi tegangan segitiga akibat eksentrisitas besar (Dewobroto, Struktur Baja Edisi ke-2, 2016).	76
Gambar 2.56 Ilustrasi luas proyeksi kerusakan dari baut angkur (Dewobroto, Struktur Baja Edisi ke-2, 2016).	79
Gambar 2.57 Ilustrasi luas proyeksi maksimum (Dewobroto, Struktur Baja Edisi ke-2, 2016).	80
Gambar 2.58 Diagram alir perencanaan sambungan <i>belt-truss</i> .	81
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.	86
Gambar 3.2 Penempatan lokasi pengambilan titik uji N-SPT pada lokasi apartemen.	89
Gambar 3.3 Profil pengujian penetrasi standar (N-SPT) terhadap elevasi.	89
Gambar 3.4 Denah <i>site plan</i> .	90
Gambar 3.5 Denah basement 2.	90
Gambar 3.6 Denah basement 1.	91
Gambar 3.7 Denah <i>lower ground</i> .	91
Gambar 3.8 Denah <i>ground floor</i> .	92
Gambar 3.9 Denah <i>upper ground</i> .	92
Gambar 3.10 lantai 1-9, 12-15 tipikal.	93
Gambar 3.11 Denah lantai 10.	93
Gambar 3.12 Denah lantai 11.	94
Gambar 3.13 Denah lantai 16.	94
Gambar 3.14 Denah lantai 24.	95

Gambar 3.15 Denah lantai 25.....	95
Gambar 3.16 Denah lantai 17-23, 26-33 tipikal.....	96
Gambar 3.17 Denah <i>roof floor</i>	96
Gambar 3.18 Denah dinding <i>retain wall</i>	106
Gambar 3.19 Denah <i>shear wall</i>	106
Gambar 3.20 Denah <i>link beam</i> pada <i>core wall</i>	107
Gambar 3.21 Dimensi dan penulangan <i>shear wall</i>	107
Gambar 3.22 Grafik respon spektrum daerah Kota Surabaya pada tanah lunak.	120
Gambar 3.23 Rekaman Gempa Kobe arah x (https://ngawest2.berkeley.edu/)..	121
Gambar 3.24 Rekaman Gempa Kobe arah y (https://ngawest2.berkeley.edu/)..	121
Gambar 3.25 Rekaman Gempa Imperial Valley arah x (https://ngawest2.berkeley.edu/)..	121
Gambar 3.26 Rekaman Gempa Imperial Valley arah y (https://ngawest2.berkeley.edu/)..	122
Gambar 3.27 Rekaman Gempa Tabas arah x (https://ngawest2.berkeley.edu/)..	122
Gambar 3.28 Rekaman Gempa Tabas arah y (https://ngawest2.berkeley.edu/)..	122
Gambar 3.29 Tahapan <i>input file</i> data <i>ground motion</i>	123
Gambar 3.30 Tahapan <i>input</i> data <i>ground motion</i>	123
Gambar 3.31 Tahapan hasil grafik respons spektrum.....	123
Gambar 3.32 Rekapitulasi grafik respon spektrum gempa masukan arah x <i>unscaled</i>	128
Gambar 3.33 Rekapitulasi grafik respon spektrum gempa masukan arah y <i>unscaled</i>	128
Gambar 3.34 Rekapitulasi grafik respon spektrum arah x <i>scaled</i>	134
Gambar 3.35 Rekapitulasi grafik respon spektrum arah y <i>scaled</i>	134
Gambar 3.36 <i>Acceleration</i> Gempa Kobe Japan arah x <i>unscaled</i> dan <i>scaled</i>	135
Gambar 3.37 <i>Acceleration</i> Gempa Kobe Japan arah y <i>unscaled</i> dan <i>scaled</i>	135
Gambar 3.38 Pemodelan apartemen berlantai 33.	137
Gambar 4.1 Grafik <i>story shear</i> arah X dan arah Y.	146
Gambar 4.2 Visual goyangan pada bangunan.	147
Gambar 4.3 Gambar <i>story displacement</i> maksimum <i>time story</i> x.	148
Gambar 4.4 Gambar <i>story displacement</i> maksimum <i>time story</i> y.	148

Gambar 4.5 <i>Interstory drif</i> maksimum <i>time history</i> arah x dan y.....	153
Gambar 4.6 <i>Drif ratio</i> arah x.....	153
Gambar 4.7 <i>Drif ratio</i> arah y.....	154
Gambar 4.8 Lokasi <i>belt-truss</i> yang ditinjau.....	154
Gambar 4.9 Variasi σ dengan regangan tarik neto dalam baja tarik terluar (ϵ_t), dan c/dt untuk tulangan mutu 420 dan untuk baja prategang.....	159
Gambar 4.10 Lokasi <i>belt-truss</i> yang ditinjau.....	162
Gambar 4.11 Penampang rencana pelat landas.....	166
Gambar 4.12 Rencana pengankuran pada <i>base-plate</i>	173

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Tabel 1. Nilai <i>Story Shear</i> Statik Ekuivalen Tanpa Penambahan Perkuatan Sistem <i>Outrigger</i> dan <i>Belt-truss</i>	186
Lampiran 2 Tabel 2. Nilai <i>Story Shear Time History</i> Arah x Tanpa Penambahan Perkuatan Sistem <i>Outrigger</i> dan <i>Belt-truss</i>	187
Lampiran 3 Tabel 3. Nilai <i>Story Shear Time History</i> Arah y Tanpa Penambahan Perkuatan Sistem <i>Outrigger</i> dan <i>Belt-truss</i>	188
Lampiran 4 Tabel 4. Nilai <i>Story Shear</i> Statik Ekuivalen dengan Penambahan Perkuatan Sistem <i>Outrigger</i> dan <i>Belt-truss</i>	189
Lampiran 5 Tabel 5. Nilai <i>Story Shear Time History</i> Arah x dengan Penambahan Perkuatan Sistem <i>Outrigger</i> dan <i>Belt-truss</i>	190
Lampiran 6 Tabel 6. Nilai <i>Story Shear Time History</i> Arah y dengan Penambahan Perkuatan Sistem <i>Outrigger</i> dan <i>Belt-truss</i>	191
Lampiran 7 Tabel 7. Hasil analisis existing dari <i>interstory drif</i> dan batas ijin struktur arah x	192
Lampiran 8 Tabel 8. Hasil analisis <i>outrigger</i> dan <i>belt-truss</i> dari <i>interstory drif</i> dan batas izin struktur arah x	193
Lampiran 9 Tabel 9. Hasil analisis <i>outrigger</i> dan <i>belt-truss</i> dari <i>interstory drif</i> dan batas ijin struktur arah y	194
Lampiran 10 Hasil <i>Output</i> Etabs v16.2.1	195
Lampiran 11 Hasil <i>Output</i> Etabs v16.2.1	207
Lampiran 12 Desain Struktur <i>Outrigger</i> dan <i>Belt-Truss</i>	219
Lampiran 13 Pemodelan Penggunaan Aplikasi Etabs	223

DAFTAR LAMBANG, NOTASI, DAN SINGKATAN

Simbol	Keterangan
Δ	= Simpangan antar lantai tingkat desain
Δa	= Simpangan antar lantai yang diizinkan
a	= Akselerasi tanah
\bar{A}	= Percepatan <i>ground motion</i>
A_0	= Percepatan puncak muka tanah akibat pengaruh gempa rencana
A_1	= Luas dari tumpuan baja konsentris pada suatu penumpu beton
A_2	= Luas maksimum dari bagian permukaan yang menumpu secara geometri serupa dengan dan konsentris dengan luas yang dibebani, sisi miring mempunyai rasio horizontal terhadap kemiringan sebesar 2:1
A_{brg}	= Luas tumpu kepala baut
A_{cv}	= Luas bruto penampang beton yang dibatasi oleh tebal badan dan panjang penampang dalam arah gaya geser yang ditinjau dari muka terluar tumpuan
A_e	= Luas netto efektif (luas penampang efektif)
A_g	= Luas bruto penampang beton
A_n	= Luas netto komponen struktur, luas penampang bersih, dikurangi lubang
A_{NC}	= Luas kerusakan beton pada baut angkur kelompok
A_{NCO}	= Luas proyeksi maksimum kerusakan angkur kelompok
$A_{se,N} = A_{se,V}$	= Luas penampang efektif terhadap tarik
A_{Smin}	= Luas minimum tulangan lentur
A_v	= Luas tulangan geser berspasi s_1
A_{vc}	= Luas proyeksi kerusakan beton terhadap geser dari baut angkur tunggal atau kelompok
A_{vco}	= Luas proyeksi kerusakan beton terhadap geser dari baut angkur tunggal untuk perhitungan dan dipengaruhi dari posisi baut pinggir atau pojokan
A_{vh}	= Luas tulangan geser yang paralel terhadap tulangan tarik lentur dalam spasi s_2
A_{we}	= Luas efektif las
B	= Lebar keseluruhan dari komponen struktur PSB persegi, diukur terhadap bidang sambungan
B, N, N'	= Dimensi plat base-plate
bf	= Lebar efektif sayap profil
bw	= Lebar badan (<i>web</i>), tebal dinding, atau diameter penampang lingkaran

Simbol	Keterangan
C	= Tinggi sumbu netral terbesar yang dihitung untuk gaya aksial terfaktor dan kekuatan momen nominal yang konsisten
$C_{a1}, C_a, \min, C_{ac}$	= Jarak ujung base-plate ke as ankur
Cd	= Faktor amplikasi defleksi
Cp	= Koefisien tekanan eksternal yang digunakan dalam penentuan beban angin untuk bangunan gedung
Cs	= Koefisien respons seismik
Ct	= Koefisien parameter periode pendekatan Ta
Cu	= Koefisien parameter periode batas atas pada perhitungan struktur
Cvx	= Faktor distribusi vertikal
Cw	= Konstanta pembelokan
D	= Beban mati
da	= Diameter ankur
dh	= Tambahan ke dalaman air pada atap yang tidak melendut di atas lubang masuk sistem drainase sekunder
di	= Tebal suatu lapisan tanah atau batuan di dalam lapisan 30 m paling atas
ds	= Ke dalaman air pada atap yang tidak melendut meningkat ke lubang masuk sistem drainase sekunder
e	= Eksponensial $e \approx 2,71828$
e'N	= Eksentrisitas
EH	= Pengaruh beban gempa horisontal
Ev	= Pengaruh beban gempa vertikal
F	= Besarnya gaya inersia
Fa	= Koefisien situs untuk perioda pendek pada perioda 0,2 detik
Fc'	= Kekuatan tekan beton yang disyaratkan
Fcr	= Tegangan kritis
FE _{XX}	= Kekuatan klasifikasi logam pengisi
Fi	= Gaya horizontal tingkat atau gaya lateral
F _{nw}	= Tegangan nominal dari logam las
fp	= Tegangan tumpu nominal
F _{PGA}	= Koefisien situs PGA _M
F _{uta}	= Kuat tarik baut ankur yang diisyaratkan, tidak boleh melebihi dari nilai terkecil 860 Mpa atau 1,9 x kuat leleh baut ankur f _{ya}

Simbol	Keterangan
F_v	= Koefisien situs untuk perioda panjang pada perioda 1 detik
F_x	= Gaya gempa lateral, distribusi vertikal gaya gempa
F_y	= Kekuatan leleh tulangan yang diisyaratkan
f_{yt}	= Kekuatan leleh tulangan pengikat melingkar, sengkang tertutup, atau spiral
G	= Faktor efek tiupan angin
γ	= Berat jenis
GC_{pi}	= Perkalian koefisien tekanan internal dan faktor efek tiupan angin yang digunakan dalam menentukan beban angin untuk bangunan gedung
H	= Beban akibat tekanan tanah lateral, tekanan air tanah, atau tekanan dari material dalam jumlah besar
$h_{ef} = h_a$	= Kedalaman ankur
h_n	= Ketinggian struktur dari dasar sampai atas tertinggi
h_{sx}	= Tinggi tingkat di bawah tingkat x
h_w	= Tinggi dinding keseluruhan dari dasar ke tepi atas atau tinggi bersih segmen dinding atau pier dinding yang ditinjau
h_x	= Tinggi dari dasar sampai tingkat i atau x
I	= Faktor keutamaan struktur
I_e	= Faktor keutamaan gempa
I_{ps}	= Momen inersia polar terhadap pusat geser (c.s)
J	= Konstanta torsi
K	= Eksponensial yang terkait dengan periode struktur
K_1	= Faktor untuk memperhitungkan bentuk fitur topografis dan pengaruh peningkatan kecepatan maksimum
K_2	= Faktor untuk memperhitungkan reduksi dalam peningkatan kecepatan sehubungan dengan jarak ke sisi angin datang atau ke sisi angin pergi dari puncak
K_3	= Faktor untuk memperhitungkan reduksi dalam peningkatan kecepatan sehubungan dengan ketinggian di atas elevasi kawasan setempat
K_d	= Faktor arah angin
K_{DS}	= Kategori desain seismik
KL	= Panjang tekuk
K_z	= Koefisien eksposur tekanan velositas pada ketinggian $z = h$
K_{zt}	= Faktor topografi

Simbol	Keterangan
L	= Beban hidup
le = he	= Panjang tumpu angkur terhadap geser, untuk panjang dengan kekakuan konstan, $le = 2da$, untuk angkur pasca, pasang kontrol torsi, untuk semua kasus $le \leq 8da$
Lh	= Jarak horizontal pada sisi angin datang (<i>upwind</i>), dari puncak bukit atau tebing sampai setengah tinggi bukit atau tebing
ℓ_n	= Panjang bentang bersih yang diukur muka ke muka tumpuan
Lr	= Beban hidup atap
ℓ_w	= Panjang seluruh dinding, atau panjang segmen dinding atau pier dinding yang ditinjau dalam arah gaya geser
m	= Massa bangunan
M, n, $\lambda n'$	= Jarak antara ujung profil terluar ke pelat landas terkuar atau parameter untuk mencari l (panjang kuat tumpu beton)
MCEG	= Nilai tengah geometrik gempa tertimbang maksimum
Mpl	= Kuat perlu pelat landas
Mt	= Momen torsi bawaan
Mu	= Momen terfaktor pada penampang
Mx	= Momen guling
N	= Tahanan penetrasi standar
\bar{N}	= Tahanan penetrasi standar rata-rata dalam lapisan 30 m paling atas
N/A	= <i>Not applicable</i>
Nb	= Kuat dasar jebol untuk baut angkur kepala segi enam dan cor
Np	= Kuat cabut tarik
Npn	= Kuat cabut nominal baut angkur
Nsa	= Kuat tarik nominal baut angkur
Nsb	= Kuat nominal angkur kelompok yang aman terhadap ambrol muka samping
Nsbg	= Kuat jebol rencana terhadap tarik dari baut angkur
nt	= Jumlah ulir per mm
\emptyset	= Faktor tahanan sesuai jenis struktur yang ditinjau
p	= Tekanan desain yang digunakan dalam penentuan beban angin untuk bangunan gedung
Pcr	= Beban kritis
PGA	= Percepatan muka tanah puncak MCE _G terpetakan

Simbol	Keterangan
PGA_M	= Percepatan muka tanah puncak MCE_G yang sudah disesuaikan akibat pengaruh kelas situs
P_n	= Kuat aksial nominal
P_p	= Kekuatan tumpu nominal, bila kecil dari luas total dari suatu penumpu beton
P_u	= Gaya aksial terfaktor
P_x	= Beban desain vertikal total pada dan di atas tingkat x
Q_d	= Berat beban dinding pada balok
Q_E	= Pengaruh gaya gempa horisontal dari V atau F_p , pengaruh tersebut harus dihasilkan dari penerapan gaya horisontal secara serentak dalam dua arah tegak lurus satu sama lain
$q_z = q = q_i$	= Tekanan velositas pada tinggi z di atas tanah
R	= Faktor reduksi beban gempa
R_n	= Kekuatan slip nominal/dari transfer yang berlaku
r_{ps}	= Radius grasi polar
r_t	= Radius grasi ekuivalen terhadap tekuk torsi
r_{th}	= Radius grasi ekuivalen terhadap tekuk lentur-torsi
r_y, r_x	= Radius grasi arah x dan y
S	= Beban salju
S_1	= Parameter percepatan respons spektral dari peta gempa pada perioda 1 detik,
S_2	= Spasi pusat ke pusat tulangan geser atau torsi longitudinal
S_a	= Percepatan respons spektra
SD_1	= Parameter percepatan respons spektral pada perioda 1 detik, redaman 5%
SDS	= Parameter percepatan respons spektral pada perioda pendek, redaman 5%
SF	= Skala gempa menurut (Erol & Anil, 2010)
SM_1	= Percepatan percepatan respons spektral MCE pada perioda 1 detik yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs
SMS	= Parameter percepatan respons spektral MCE pada perioda pendek yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs
S_s	= Parameter percepatan respons spektral dari peta gempa pada perioda pendek
T	= Perhitungan waktu getar alami struktur
T_a	= Periode fundamental pendekatan

Simbol	Keterangan
T_c	= Fundamental untuk arah respons yang dianalisis dengan bantuan <i>software</i>
T_u	= Gaya tarik baut angkur
U	= Kombinasi pembebanan kuat perlu
V	= Gaya geser dan statik ekuivalen
V_b	= Kuat dasar jebol terhadap gaya geser dari baut angkur tunggal pada beton yang telah mengalami retak
V_c	= Kekuatan geser nominal yang disediakan oleh beton
$V_{cbg} = N_{cpg}$	= Kuat jebol beton rencana terhadap geser dari baut angkur
V_n	= Kekuatan geser nominal
V_s	= Kekuatan geser nominal yang disediakan oleh tulangan geser
V_t	= Geser dasar dari kombinasi ragam yang diisyaratkan
V_u	= Gaya geser terfaktor pada penampang
V_x	= Gaya gempa lateral, distribusi horisontal gaya gempa
W	= Beban angin
W_x	= Bagian berat seismik efektif total struktur yang dikenakan pada tingkat i atau x
x	= Jarak (di sisi angin datang atau sisi angin pergi) dari puncak ke lokasi gedung)
xx	= Jarak tinjauan antara parameter N , B
Y	= Dimensi keseluruhan bagian persegi penampang yang lebih panjang
$Y_{c,N}$	= Pengaruh beban kerja terhadap kuat tekan tarik baut angkur
$Y_{c,p}$	= Faktor modifikasi untuk angkur pada daerah yang secara analisis belum timbul retak pada kondisi beban kerja $Y_{c,p} = 1$
$Y_{c,V}$	= Pengaruh beban kerja terhadap kuat geser baut angkur
$Y_{cp,N}$	= Tegangan tarik belah pada baut angkur, pasca pasang pada beton polos
$Y_{ec,N}$	= Faktor modifikasi kuat tarik baut angkur kelompok dengan beban eksentrisitas
$Y_{ec,V}$	= Faktor modifikasi kuat geser baut angkur kelompok dengan beban yang eksentrisitas
$Y_{ed,N}$	= Faktor modifikasi untuk memperhitungkan pengaruh baut angkur di bagian pinggir pondasi
$Y_{ed,V}$	= Faktor modifikasi untuk memperhitungkan pengaruh baut angkur dibagian pinggir pondasi
$Y_{h,V}$	= Faktor modifikasi kuat geser baut angkur pada elemen beton
Y_o	= Koordinat pusat geser terhadap pusat berat

Simbol	Keterangan
z	= Ketinggian di atas elevasi tanah setempat
z_g	= Tinggi nominal lapisan batas atmosfer
α_c	= Koefisien yang menentukan kontribusi relatif kekuatan beton terhadap kuat geser dinding nominal
β	= Rasio kebutuhan geser terhadap kapasitas geser untuk tingkat antara tingkat x dan $x-1$. Rasio ini diijinkan secara konservatif diambil sebesar 1,0
δ_i	= Lendutan horizontal lantai i akibat beban gempa Horizontal, deformasi elastik δ_i dihitung menggunakan gaya lateral F_i
δ_x	= Defleksi pusat massa di tingkat
δ_{xe}	= Defleksi pada lokasi yang disyaratkan pada pasal ini yang ditentukan dengan analisis elastis (<i>output</i> Etabs)
θ	= Koefisien stabilitas
θ_{max}	= Koefisien stabilitas maksimum
λ	= Faktor modifikasi yang merefleksikan properti mekanis tereduksi dari beton ringan, semuanya relatif terhadap beton normal dengan kuat tekan yang sama
Λ, X	= Faktor reduksi parameter $\lambda n'$
λ_a	= Faktor modifikasi untuk material beton ringan, untuk angkur cor ditempa maka $\lambda_a = \lambda = 1$
μ	= Faktor atenuasi horizontal
ρ	= Faktor redundansi
ρ_t	= Rasio luas tulangan transversal terdistribusi terhadap luas beton bruto yang tegak lurus terhadap tulangan yang dimaksud
τ	= Koefisien reduksi momen guling
σ_{cr}	= Tegangan kritis
Υ	= Faktor atenuasi ketinggian

DAFTAR ISTILAH

1. *Acceleration*

Parameter yang menyatakan perubahan kecepatan mulai dari keadaan diam sampai pada kecepatan tertentu. Percepatan terbagi menjadi dua bagian yaitu percepatan tanah maksimum adalah suatu harga yang dihitung di titik amat / titik penelitian pada permukaan bumi dari riwayat gempa dengan harga perhitungan dipilih yang terbesar dan percepatan tanah sesaat, sedangkan untuk harga percepatan tanah sesaat adalah merupakan harga percepatan tanah pada saat gempa terjadi.

2. Akselerogram

Rekaman grafis dari percepatan permukaan tanah atau partikel batuan sebagai gelombang permukaan yang tiba di sebuah stasiun akselerograf.

3. Daktilitas kolom

Kemampuan suatu struktur gedung untuk mengalami simpangan pasca-elastik yang besar secara berulang kali dan bolak-balik akibat beban gempa di atas beban gempa yang menyebabkan terjadinya pelelehan pertama, sambil mempertahankan kekuatan dan kekakuan yang cukup, sehingga struktur gedung tersebut tetap berdiri, walaupun sudah berada dalam kondisi di ambang keruntuhan.

4. Evaluasi likuifaksi

Kehilangan kekuatan geser tanah nonkohesif (pasir) pada saat terjadi beban siklik seperti gempa bumi.

5. LRFD

(*Load and Resistance Factor Design*) adalah suatu metode yang didasari oleh konsep keadaan batas di mana keadaan batas tersebut dicapai melalui proses interaksi antara faktor kelebihan beban dan berkurangnya kekuatan material.

6. Metode *strut* dan *tie*

Mendasarkan pada asumsi bahwa aliran gaya dalam struktur beton dan terutama pada daerah yang mengalami distorsi dapat didekati dengan suatu rangka batang yang terdiri dari *strut* (batang tekan atau penunjang) dan *tie* (batang tarik atau pengikat).

7. Parameter redundansi

Kejadian berulangnya data atau kumpulan data yang sama dalam sebuah database yang mengakibatkan pemborosan media penyimpanan.

8. Sistem rangka

Sistem struktur yang memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap, sedangkan beban lateral yang diakibatkan oleh gempa dipikul oleh rangka pemikul momen melalui mekanisme lentur, sistem ini terbagi menjadi tiga sistem, yaitu SRPMB (Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa), SRPMM (Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah), dan SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus).

9. Struktur tanah berlapis SSI

Interaksi antara tanah dengan struktur mempengaruhi karakteristik respon dari sistem struktur pada wilayah gempa aktif. Respon dinamis yang terjadi akan berbeda apabila respon dinamis struktur diprediksi dengan model analisis konvensional.