



**ANALISIS SAMBUNGAN BALOK-KOLOM EKSTERIOR
PADA STRUKTUR APARTEMEN MARRAKECH SUITES
DENGAN MENGGUNAKAN PROGRAM ABAQUS CAE v6.14
PADA WILAYAH GEMPA 4**

SKRIPSI

Diajukan dalam Rangka Penyelesaian Studi Strata Satu (S1) untuk Mencapai
Gelar Sarjana Teknik

Oleh

M. SAMANTHA DEWI

NIM.5113414047

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
TAHUN 2018**



**ANALISIS SAMBUNGAN BALOK-KOLOM EKSTERIOR
PADA STRUKTUR APARTEMEN MARRAKECH SUITES
DENGAN MENGGUNAKAN PROGRAM ABAQUS CAE v6.14
PADA WILAYAH GEMPA 4**

SKRIPSI

Diajukan dalam Rangka Penyelesaian Studi Strata Satu (S1) untuk Mencapai
Gelar Sarjana Teknik

Oleh

M. SAMANTHA DEWI

NIM.5113414047

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
TAHUN 2018**

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : M. Samantha Dewi
NIM : 5113414047
Program Studi : S-1 Teknik Sipil
Judul Skripsi : Analisis Sambungan Balok-Kolom Eksterior pada Gedung Apartemen *Marrakech Suites* dengan Menggunakan Program ABAQUS CAE v6.14 pada Wilayah Gempa 4.

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian Skripsi Program Studi S-1 Teknik Sipil Fakultas Teknik UNNES

Semarang, 06 November 2018

Dosen Pembimbing I



Drs. Henry Aprivatno, M.A.

NIP. 195904091987021001

PENGESAHAN

Skripsi dengan judul “Analisis Sambungan Balok-Kolom Eksterior pada Gedung Apartemen *Marrakech Suites* dengan Menggunakan Program ABAQUS CAE v6.14 pada Wilayah Gempa 4” telah dipertahankan dihadapan sidang Panitia Ujian Skripsi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang pada tanggal 27 November 2018.

Oleh :


Nama : M. Samantha Dewi

NIM : 5113414047

Program Studi : Teknik Sipil, S1

Panitia Ujian Skripsi

Ketua



Aris Widodo, S.Pd., M.T.
NIP. 19710207 199903 1 001

Sekretaris



Dr. Rini Kusumawardani, S.T., M.T., M.Sc.
NIP. 19780921 200501 2 001

Dewan Penguji

Dosen Penguji I



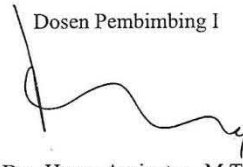
Endah Kanti .P., S.T., M.T.
NIP.19720709 199803 2 003

Dosen Penguji II



Karuniadi Satrijo Utomo, S.T., M.T.
NIP.19710314 199903 1 001

Dosen Pembimbing I



Drs. Henry Apriyatno, M.T.
NIP.19590409 198702 1 001

Mengesahkan,
Dekan Fakultas Teknik



Nur Orlus, M.T.
NIP.19691130 199403 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa :

1. Skripsi ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana, magister, dan/atau doktor), baik di Universitas Negeri Semarang (UNNES) maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Pembimbing dan masukan tim Penguji.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini kami buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka kami bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi ini.

Semarang, 06 November 2018
yang membuat pernyataan,



M. Samantha Déwi
NIM. 5113414047

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

“Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan.” (Qs. Asy Syarh ayat 5)

“Hiduplah seperti pohon kayu yang lebat buahnya; hidup ditepi jalan dan dilempari orang dengan batu, tetapi dibalas dengan buah.” (Abu Bakar Sibli)

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai kesanggupannya.” (Qs. Al-Baqarah ayat 286)

“Kebanggaan kita yang terbesar adalah bukan tidak pernah gagal, tetapi bangkit kembali setiap kita jatuh.” (Confusius)

“Teman sejati adalah ia yang meraih tangan anda dan menyentuh hati anda.”
(Heather Pryor)

PERSEMBAHAN

Dengan rasa bangga dan bahagia saya ucapkan terimakasih saya kepada :

1. Untuk Ibu saya (Asih Prihatini) dan Bapak saya (Meganathan) yang telah memberikan dukungan baik moril maupun materi dan doa yang tiada henti untuk kesuksesan saya. Semoga ini menjadi langkah awal untuk membuat Ibu Bapak bahagia;
2. Untuk kakak-kakak saya (M. Vijay Anand dan Wisnu Saputra). Terimakasih atas semangat, dukungan dan doa kalian selama ini;
3. Untuk teman-teman seperjuangan saya (Triyas Prihardani., Dinda Meilani Tungga Dewi Herlina., Nastia Rizkiani., Abel Agusta Banuboro.) yang selalu mendukung satu dengan yang lain untuk dapat menyelesaikan skripsi ini;
4. Untuk sahabat-sahabat saya Ciwi Tangguh Sipil dan teman-teman Teknik Sipil S1 angkatan 2014. Terimakasih canda tawa, tangis dan perjuangan yang kita lewati bersama;
5. Untuk Rizky Firdaus Ramadhana dan M. Za'im Fida, terimakasih untuk semangat, dukungan, waktu dan kesabaran dalam menghadapi keluh kesahku dalam menyelesaikan Skripsi ini;

6. Untuk semua pihak yang membantu dan mendoakan dalam menyelesaikan Skripsi ini.
7. Untuk Almamaterku tercinta Universitas Negeri Semarang.

ABSTRAK

M. Samantha Dewi. 2018. Analisis Sambungan Balok-Kolom Eksterior pada Gedung Apartemen *Marrakech Suites* dengan Menggunakan Program ABAQUS CAE v6.14 pada Wilayah Gempa 4. Pembimbing I : Drs. Henry Apriyatno, M.T. Program Teknik Sipil, S1.

Perencanaan struktur bangunan gedung beton bertulang, pada daerah sambungan balok-kolom merupakan daerah kritis yang perlu didesain secara khusus agar pada saat terjadi gempa dapat berdeformasi secara inelastik. Pertemuan sambungan balok-kolom merupakan daerah interaksi tegangan yang tinggi khususnya akibat gempa. Untuk mendapatkan struktur bangunan yang aman dan tahan terhadap gempa, struktur harus didesain mematuhi aturan konstruksi tahan gempa.

Penelitian sambungan Balok-Kolom dimodelkan menggunakan fitur CDP dari program ABAQUS CAE v6.14 untuk mendefinisikan perilaku inelastis beton. Sambungan balok-kolom yang ditinjau merupakan sambungan balok-kolom eksterior dengan dimensi balok B14-25 500 x 900 mm, panjang balok 3500 mm, dimensi balok B16-25 600 x 600 mm, panjang balok 6600 mm, dimensi kolom 600 x 1100 mm, dan tinggi total kolom 6600 mm.

Syarat batas periode gedung terpenuhi ($6,29 \text{ detik} > 5,628 \text{ detik}$), dan syarat simpangan terpenuhi ($13,2 \text{ cm} > 6,93 \text{ cm}$), sehingga struktur tahan terhadap gempa. Nilai daktilitas (μ) sebesar 5,26, dikategorikan daktilitas parsial ($\mu=1,0-5,29$). Perbedaan nilai pada regangan teoritis (Park and Paulay) dan regangan numerik (ABAQUS CAE v6.14) yakni 13,91% lebih besar regangan numerik dari regangan teoritis.

Kata kunci : Gempa, Sambungan Balok-Kolom, Tegangan, Regangan, ABAQUS

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT atas segala rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul “Analisis Sambungan Balok-Kolom Eksterior pada Struktur Apartemen *Marrakech Suites* dengan dengan Menggunakan Program ABAQUS CAE v6.14 pada Wilayah Gempa 4”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan meraih gelar Sarjana Teknik pada Program Studi S1 Teknik Sipil Universitas Negeri Semarang. Penyelesaian Skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih serta penghargaan kepada:

1. Prof. Dr. Fathur Rokhman, M.Hum, Rektor Universitas Negeri atas kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk menempuh studi di Universitas Negeri Semarang.
2. Dr. Nur Qudus, M.T., Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
3. Aris Widodo, S.Pd., M.T., Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Negeri Semarang.
4. Dr. Rini Kusumawardani, S.T., M.T., M.Sc., Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Negeri Semarang.
5. Drs. Henry Apriyatno, M.T., selaku dosen pembimbing yang penuh kesabaran dalam membimbing, memberikan masukan, arahan serta motivasi kepada penulis sehingga Skripsi ini dapat selesai.
6. Endah Kanti Pangestuti, S.T., M.T., dan Karuniadi Satrijo Utomo, S.T., M.T., selaku penguji sidang Skripsi yang telah memberikan saran dan masukan dalam perbaikan Skripsi.
7. Mego Purnomo, S.T., M.T., selaku Dosen Wali.
8. Semua dosen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang yang telah memberikan bekal pengetahuan yang berharga.
9. Berbagai pihak yang telah memberikan bantuan untuk Skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis mengucapkan terimakasih kepada pihak-pihak yang telah membantu dalam segala hal yang berkaitan dengan penyelesaian Skripsi ini. Penyusunan Skripsi ini masih jauh dari sempurna oleh karena itu segala kritik dan saran dari semua pihak yang bersifat membangun sangat diharapkan. Semoga Skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan sebagai bekal untuk pengembangan di masa mendatang.

Semarang, 06 November 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PERSETUJUAN PEMBIMBING.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	v
ABSTRAK	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xviii
DAFTAR GAMBAR	
xxiii	
DAFTAR LAMPIRAN	
xxvi	
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Batasan Masalah.....	2
1.3 Rumusan Masalah	4
1.4 Tujuan	4
1.5 Manfaat	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Tinjauan Umum	6
2.2 Dasar Perencanaan	7
2.3 Data Tanah	8
2.4 Respons Spektrum.....	9
2.5 Beban Struktur Bangunan	11
2.5.1 Beban Mati	11
2.5.2 Beban Hidup	12
2.5.3 Beban Gempa	15
2.5.4 Kombinasi Pembebanan.....	16

2.6 Beton Bertulang	17
2.7 Baja Tulangan	18
2.8 Sambungan Balok-Kolom.....	19
2.8.1 Ragam Keruntuhan.....	20
2.8.2 Kuat Geser Sambungan.....	21
2.9 Simpangan Bangunan.....	24
2.10 Hubungan Tegangan-Regangan	26
2.11 ETABS v16.0.3	28
2.12 ABAQUS CAE v6.14	28

BAB III METODE PERENCANAAN

3.1 Prosedur Perencanaan	29
3.2 Tahap Pengumpulan Data	30
3.2.1 Data Tanah	30
3.2.2 Lokasi Perencanaan.....	31
3.2.3 Pemilihan Kriteria Desain	31
3.2.4 Material Struktur	32
3.3 Detail Elemen Struktur.....	32
3.3.1 Kolom.....	33
3.3.2 Balok	34
3.3.3 Plat	35
3.4 Permodelan Struktur.....	35
3.4.1 Sistem Struktur.....	35
3.5 Pembebanan Gedung.....	37
3.5.1 Kombinasi Pembebanan.....	38
3.5.2 Perhitungan Beban Mati.....	39
3.5.3 Perhitungan Beban Hidup	41
3.6 Beban Gempa	42
3.6.1 Faktor Keutamaan Gedung	42
3.6.2 Menentukan Kelas Situs.....	43
3.6.3 Spektrum Respons Desain	45
3.6.4 Kategori Desain Seismik.....	47

3.6.5 Menentukan Sistem Struktur dan Parameter Sistem.....	48
3.6.6 Batasan Periode Fundamental Struktur.....	49
3.6.7 Koefisien Respons Seismik.....	52
3.6.8 Beban Geser Dasar Struktur.....	53
3.7 Kontrol dan Analisis	54
3.7.1 Analisis Ragam Respons Spektrum	54
3.7.2 Partisipasi Massa.....	55
3.8 Proses Simulasi dengan ABAQUS CAE	57
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Permodelan Struktur.....	59
4.2 Pembebanan Gedung.....	60
4.2.1 Kombinasi Pembebanan.....	61
4.2.2 Perhitungan Beban Mati.....	63
4.2.3 Perhitungan Beban Hidup	65
4.3 Analisis Beban Gempa.....	66
4.3.1 Faktor Keutamaan Gedung	67
4.3.2 Menentukan Kelas Situs.....	68
4.3.3 Penentuan Spektrum Respons Desain.....	69
4.3.4 Menentukan Sistem Struktur dan Parameter Sistem.....	72
4.3.5 Waktu Getar Alami	73
4.3.6 Koefisien Gaya Geser Dasar Gempa.....	76
4.3.7 Penentuan Eksentrisitas Rencana.....	77
4.3.8 Perhitungan Berat Gedung	80
4.3.8.1 Beban Mati Tambahan	81
4.3.8.2 Beban Hidup Tambahan.....	83
4.3.9 Perhitungan Beban Gempa Nominal.....	86
4.3.10 Perhitungan Gempa Statik Ekuivalen Secara Manual	86
4.3.11 Respons Spektrum Gempa Rencana	92
4.3.12 Analisis Gempa Dinamik History	93
4.4 Kontrol dan Analisis Output ETABS v16.0.3.....	94
4.4.1 Analisis Ragam Respons Spektrum	95

4.4.2 Partisipasi Massa	96
4.4.3 Gaya Geser Dasar Nominal, V	97
4.4.4 Kinerja Batas Layanan	99
4.4.5 Kinerja Batas Ultimit	102
4.5 Perhitungan Penulangan	105
4.5.1 Perencanaan Balok Induk (B14-25)	105
4.5.1.1 Denah Balok yang Ditinjau	105
4.5.1.2 Menentukan Gaya Dalam	106
4.5.1.3 Menentukan Persyaratan Komponen Struktur Balok SRPMK	107
4.5.1.3.1 Gaya Tekan Terfaktor	107
4.5.1.3.2 Bentang Bersih Balok	108
4.5.1.3.3 Rasio Perbandingan Lebar dengan Tinggi	108
4.5.1.4 Perhitungan Tulangan Utama secara Manual	108
4.5.1.4.1 Penulangan Balok Daerah Tumpuan	109
4.5.1.4.2 Penulangan Balok Daerah Lapangan	113
4.5.1.5 Perencanaan Tulangan Geser (B14-25)	115
4.5.1.5.1 Menentukan Kapasitas Momen Positif dan Negatif	115
4.5.1.5.2 Kapasitas Momen Probabilitas	116
4.5.1.5.3 Perhitungan Gaya Geser	120
4.5.1.6 Perencanaan Tulangan Torsi (B14-25)	125
4.5.1.7 Perencanaan Tulangan Badan (B14-25)	125
4.5.1.8 Perencanaan Panjang Penyaluran (L_d)	126
4.5.2 Perencanaan Balok Induk (B14-25)	127
4.5.2.1 Denah Balok yang Ditinjau	127
4.5.2.2 Menentukan Gaya Dalam	127
4.5.2.3 Menentukan Persyaratan Komponen Struktur Balok SRPMK	129
4.5.2.3.1 Gaya Tekan Terfaktor	129
4.5.2.3.2 Bentang Bersih Balok	129

4.5.2.3.3 Rasio Perbandingan Lebar dengan Tinggi	130
4.5.2.4 Perhitungan Tulangan Utama secara Manual	130
4.5.2.4.1 Penulangan Balok Daerah Tumpuan.....	131
4.5.2.4.2 Penulangan Balok Daerah Lapangan	135
4.5.2.5 Perencanaan Tulangan Geser (B15-25)	137
4.5.2.5.1 Menentukan Kapasitas Momen Positif dan Negatif.....	137
4.5.2.5.2 Kapasitas Momen Probabilitas.....	138
4.5.2.5.3 Perhitungan Gaya Geser.....	142
4.5.2.6 Perencanaan Tulangan Torsi (B15-25)	146
4.5.2.7 Perencanaan Tulangan Badan (B15-25)	147
4.5.2.8 Perencanaan Panjang Penyaluran (Ld).....	147
4.5.3 Perencanaan Kolom (K17-25).....	148
4.5.3.1 Denah Struktur Kolom yang Ditinjau	148
4.5.3.2 Gaya Dalam pada Kolom	149
4.5.3.3 Penentuan Struktur Rangka Portal Bergoyang atau Tidak	150
4.5.3.4 Perhitungan Faktor Panjang Efektif Kolom.....	151
4.5.3.5 Faktor Pembesaran Momen.....	156
4.5.3.5.1 Faktor Pembesaran Momen Arah X.....	157
4.5.3.5.2 Faktor Pembesaran Momen Arah Y	159
4.5.3.6 Diagram Interaksi Kolom.....	161
4.5.3.6.1 Perhitungan Tulangan D25	161
4.5.3.6.2 Diagram Interaksi Kolom (PCACOLUMN).....	162
4.5.3.7 Kuat Kolom.....	163
4.5.3.8 Perhitungan Tulangan Geser	164
4.5.3.8.1 Dalam Bentang I_0	165
4.5.3.8.2 Diluar Bentang I_0	167
4.5.3.9 Panjang Penyaluran pada Tulangan Kolom	170
4.5.4 Perencanaan Hubungan Balok-Kolom.....	171
4.5.4.1 Denah Hubungan Balok-Kolom yang Ditinjau.....	171

4.5.4.2 Tinjauan Hubungan Balok-Kolom di Tepi Portal.....	172
4.6 Hasil dan Pembahasan Output ABAQUS CAE v6.14.....	174
4.6.1 Permodelan Sambungan Balok-Kolom dengan ABAQUS CAE v6.14.....	175
4.6.2 Analisis Tegangan dan Regangan	176
4.6.2.1 Hasil Data Teoritis	176
4.6.2.2 Pengolahan Data Numerik (ABAQUS CAE v6.14).....	176
4.6.2.3 Hasil Perbandingan Data Teoritis dan Data Numerik.....	178
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	181
5.2 Saran.....	182
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Beban Mati untuk Gedung	12
Tabel 2.2 Beban Hidup untuk Gedung.....	14
Tabel 2.3 Faktor Reduksi Beban Hidup untuk Gedung	14
Tabel 2.4 Kombinasi Pembebanan.....	17
Tabel 2.5 Simpangan Antar Lantai Ijin.....	26
Tabel 3.1 Ukuran Kolom.....	34
Tabel 3.2 Ukuran Balok	35
Tabel 3.3 Ukuran Plat	35
Tabel 3.4 Kombinasi Pembebanan.....	39
Tabel 3.5 Beban Mati untuk Gedung	40
Tabel 3.6 Beban Hidup untuk Gedung.....	42
Tabel 3.7 Faktor Reduksi Beban Hidup untuk Gedung	42
Tabel 3.8 Kategori Resiko Bangunan Gedung.....	45
Tabel 3.9 Faktor Keutamaan Gempa	45
Tabel 3.10 N-SPT Rata-rata Titik BH-2	46
Tabel 3.11 Klasifikasi Situs	47
Tabel 3.12 Spektrum Desain	48
Tabel 3.13 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Respons Percepatan pada Periode Pendek.....	50
Tabel 3.14 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Respons Percepatan pada Periode 1 Detik.....	50
Tabel 3.15 Faktor R , C_d dan Ω_0 unuk Sistem Penahan Gaya Gempa.....	51
Tabel 3.16 Koefisien untuk Batas Atas pada Periode yang Dihitung	52
Tabel 3.17 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x	53
Tabel 3.18 Koefisien Batas Atas Periode yang Dihitung	54
Tabel 4.1 Kombinasi Pembebanan.....	62
Tabel 4.2 Beban Mati untuk Gedung	63
Tabel 4.3 Beban Hidup Untuk Gedung.....	65
Tabel 4.4 Faktor Reduksi Beban Hidup untuk Gedung	66

Tabel 4.5 Faktor Keutamaan Gedung (I)	67
Tabel 4.6 Nilai N-SPT.....	68
Tabel 4.7 Jenis-Jenis Tanah	69
Tabel 4.8 Hasil Output Nilai Parameter Spektrum Respons Desain.....	71
Tabel 4.9 Faktor Daktilitas Maksimum, Faktor Reduksi Gempa Maksimum, Faktor Tahanan Lebih Struktur dan Faktor Tahanan Lebih Total Beberapa Jenis Sistem dan Subsystem Struktur Gedung.....	72
Tabel 4.10 Koefisien ζ yang Membatasi Waktu Getar Alami Fundamental Struktur Gedung	75
Tabel 4.11 Perhitungan Eksentrisitas Rencana (e_d) Tiap Lantai.....	78
Tabel 4.12 Berat dan Masa Bangunan Tiap Lantai.....	80
Tabel 4.13 Perhitungan Beban Mati dan Beban Hidup Tambahan.....	84
Tabel 4.14 Perhitungan Gaya Lateral Gempa Statik Ekuivalen (F_i)	87
Tabel 4.15 Perhitungan Gaya Lateral Gempa Statik Ekuivalen (F_i) setiap Arah.....	89
Tabel 4.16 Koordinat Pusat Massa pada Tiap Lantai	90
Tabel 4.17 Percepatan Puncak Batuan Dasar dan Percepatan Puncak Muka Tanah Zona Gempa Indonesia	94
Tabel 4.18 Perhitungan Selisih Periode (ΔT) setiap Mode.....	96
Tabel 4.19 Hasil Penjumlahan Base Shear untuk Masing- masing Gempa	97
Tabel 4.20 Kinerja Batas Layan Akibat Simpangan Gempa Statik X	100
Tabel 4.21 Kinerja Batas Layan Akibat Simpangan Gempa Statik Y	101
Tabel 4.22 Kinerja Batas Ultimit Akibat Simpangan Gempa Statik X.....	103
Tabel 4.23 Kinerja Batas Ultimit Akibat Simpangan Gempa Statik Y.....	104
Tabel 4.24 Diagram Momen Lentur (BMD) yang Bekerja pada Balok yang Ditinjau.....	106
Tabel 4.25 Momen Desain Balok Induk B14-25	107
Tabel 4.26 Posisi Garis Netral dan Nilai Momen Nominal Tumpuan	112
Tabel 4.27 Posisi Garis Netral dan Nilai Momen Nominal Lapangan.....	113
Tabel 4.28 Kebutuhan Tulangan Utama pada Balok Induk B12-4.....	115

Tabel 4.29 Diagram Gaya Geser Beban Mati dan Hidup (V_u) yang Bekerja Pada Balok yang Ditinjau	120
Tabel 4.30 Diagram Momen Lentur (BMD) yang Bekerja pada Balok yang Ditinjau.....	128
Tabel 4.31 Momen Desain Balok Induk B15-25	128
Tabel 4.32 Posisis Garis Netral dan Nilai Momen Nominal Tumpuan	133
Tabel 4.33 Posisis Garis Netral dan Nilai Momen Nominal Lapangan.....	135
Tabel 4.34 Kebutuhan Tulangan Utama pada Balok Induk B15-25.....	137
Tabel 4.35 Diagram Gaya Geser Beban Mati dan Hidup (V_u) yang Bekerja Pada Balok yang Ditinjau	142
Tabel 4.36 Gaya-gaya Terfaktor Maksimum pada Kolom yang Ditinjau	149
Tabel 4.37 Cek Struktur Rangka Portal	150
Tabel 4.38 Perbandingan Nilai Momen	161
Tabel 4.39 Parameter Hubungan Regangan dan Tegangan.....	177
Tabel 4.40 Perbandingan Data Teoritis dan Data Numerik.....	179
Tabel 4.41 Perbedaan Nilai Regangan Teoritis dan Numerik	180

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Penentuan Simpangan Antar Lantai	24
Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian.....	30
Gambar 3.2 Lokasi Perencanaan Gedung Apartemen Marrakech Suites	31
Gambar 3.3 Permodelan Struktur Marrakech Suites.....	36
Gambar 3.4 Lokasi Desain Struktur pada Puskim	45
Gambar 3.5 Grafik Spektral Percepatan.....	45
Gambar 3.6 Bagan Alur ABAQUS CAE v6.14.....	58
Gambar 4.1 Rencana Permodelan Struktur Gedung Marrakech Suites	59
Gambar 4.2 Lokasi Desain Struktur Pada Puskim	70
Gambar 4.3 Hasil Perhitungan Spektrum pada Puskim.....	70
Gambar 4.4 Waktu Getar Struktur Mode 1	74
Gambar 4.5 Waktu Getar Struktur Mode 2.....	75
Gambar 4.6 Diagram Faktor Respon Gempa Wilayah 4	76
Gambar 4.7 Nilai Pusat Rotasi (XCR dan YCR) tiap Lantai.....	78
Gambar 4.8 Data Waktu Getar Struktur untuk 12 Mode	95
Gambar 4.9 Jumlah Partisipasi Massa pada 12 Mode.....	96
Gambar 4.10 Besarnya Simpangan akibat Beban Gempa Statik Arah X dan Y	99
Gambar 4.11 Elemen Balok yang Ditinjau pada Lantai 25	105
Gambar 4.12 Diagram Bidang Momen pada Bbalok yang Ditinjau.....	106
Gambar 4.13 Penampang Balok dan Diagram Regangan-Tegangan.....	110
Gambar 4.14 Rangka Bergoyang Akibat Gempa Arah Kanan	121
Gambar 4.15 Rangka Bergoyang Akibat Gempa Arah Kiri	122
Gambar 4.16 Nilai Torsi pada Balok yang Ditinjau	125
Gambar 4.17 Elemen Balok yang Ditinjau pada Lantai 25	127
Gambar 4.18 Diagram Bidang Momen pada Bbalok yang Ditinjau.....	128
Gambar 4.19 Penampang Balok dan Diagram Regangan-Tegangan.....	131
Gambar 4.20 Rangka Bergoyang Akibat Gempa Arah Kanan	143
Gambar 4.21 Rangka Bergoyang Akibat Gempa Arah Kiri	143
Gambar 4.22 Nilai Torsi pada Balok yang Ditinjau	146

Gambar 4.23 Posisi Struktur Kolom yang Ditinjau.....	149
Gambar 4.24 Momen 3-3 pada Kolom	158
Gambar 4.25 Momen 2-2 pada Kolom	159
Gambar 4.26 Diagram Interaksi Kolom.....	162
Gambar 4.27 Diagram Interaksi P-M Kuat Kolom K17-25.....	163
Gambar 4.28 Nilai Momen Maksimum, Mpr pada Kolom K17-25	164
Gambar 4.29 Gaya Geser Rencana Kolom SRMPK	165
Gambar 4.30 Denah Hubungan Balok-Kolom yang Ditinjau	172
Gambar 4.31 Gaya-gaya yang Bekerja pada Hubungan Balok Kolom Tepi Portal	172
Gambar 4.32 Model Penulangan.....	175
Gambar 4.33 Model Keseluruhan	175
Gambar 4.34 Rumus Kurva Hubungan Tegangan Regangan Berdasarkan Park dan Paul (1975)	176
Gambar 4.35 Kurva Hubungan Tegangan Regangan ABAQUS CAE v6.14..	177
Gambar 4.36 Tegangan pada Maximum Principal	177
Gambar 4.37 Regangan pada Maximum Principal	178
Gambar 4.38 Kurva Hubungan Tegangan Regangan berdasarkan Data Teoritis dan Data Numerik.....	179

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1. Data Tanah
- Lampiran 2. Denah Lantai 1-7
- Lampiran 3. Denah Lantai 8
- Lampiran 4. Denah Lantai 9-16
- Lampiran 5. Denah Lantai 17
- Lampiran 6. Denah Lantai 18-25
- Lampiran 7. Denah Lantai 26
- Lampiran 8. Denah Lantai 27-34
- Lampiran 9. Denah Lantai 35
- Lampiran 10. Denah Lantai 36
- Lampiran 11. Denah Lantai 37
- Lampiran 12. Denah Lantai Atap

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perencanaan struktur bangunan gedung beton bertulang tahan gempa, pada daerah sambungan balok-kolom merupakan daerah kritis yang perlu didesain secara khusus agar pada saat terjadi gempa dapat berdeformasi secara inelastik. Pada sambungan balok-kolom akan terjadi transfer beban balok ke kolom yang selanjutnya ditransferkan ke pondasi. Dengan demikian hubungan balok kolom haruslah dipastikan dapat memikul beban yang ditimbulkan sehingga proses transfer beban dapat terjadi dengan sempurna.

Pertemuan sambungan balok-kolom merupakan daerah interaksi tegangan-regangan yang tinggi khususnya akibat gempa. Untuk mendapatkan struktur bangunan yang aman dan tahan terhadap gempa, struktur harus didesain mematuhi aturan konstruksi tahan gempa. Perencanaan struktur Apartemen Marrakech Suites dianalisis ulang menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) yang dirancang menggunakan konsep *strong coloumn weak beam (balok kuat, kolom lemah)* sesuai dengan prinsip bangunan tahan gempa. Perencanaan mengacu kepada SNI 03-1726-2002 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan SNI 03-2847-2002 tentang tata cara perhitungan struktur beton sehingga akan didapatkan struktur yang tahan gempa dan efisien.

Perhitungan beban gempa menggunakan metode Analisis Statik Ekuivalen dan Analisis Dinamik Respons Spektrum dimana menggunakan program yang telah disediakan PUSKIM PU. Data yang diperoleh berdasarkan program yang telah disediakan PU adalah data berupa respons spectrum design yang ada pada daerah kota Bekasi dimana merupakan wilayah gempa 4 dengan kategori tanah sedang. Data respons spectrum design tersebut kemudian dianalisis menggunakan bantuan program ETABS v16.0.3.

Program ETABS v16.0.3 merupakan program komputer yang digunakan untuk membantu dalam perencanaan gedung bertingkat tinggi dengan konstruksi beton bertulang, baja, dan komposit. Untuk mengetahui tegangan-regangan internal suatu titik yang ditinjau pada garis absis x, y dan z maka output dari ETABS v16.0.3 di inputkan ke dalam program ABAQUS CAE v6.14 yang merupakan program analisis yang menggunakan *Finite Element Method*. Dari latarbelakang masalah yang diungkap maka diangkat skripsi dengan judul “**Analisis Sambungan Balok-Kolom Eksterior pada Struktur Apartemen Marrakech Suites dengan Menggunakan Program ABAQUS CAE v6.14 pada Wilayah Gempa 4**”.

1.2 Batasan Masalah

Identifikasi masalah dalam penulisan skripsi adalah:

1. Struktur bangunan direncanakan tahan gempa dengan menggunakan program struktur ETABS v16.0.3.

2. Analisis sambungan balok-kolom dengan menggunakan program ABAQUS v6.14.
3. Perencanaan hanya pada satu titik tinjau sambungan balok-kolom eksterior menggunakan struktur beton bertulang.
4. Bangunan akan didirikan di Bekasi pada wilayah gempa 4 dengan jenis tanah sedang.
5. Struktur dirancang menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).
6. Perencanaan elemen struktur menggunakan analisis yang mengacu pada Persyaratan Beton Struktur untuk Bangunan Gedung SNI 03-2847-2002.
7. Analisis perencanaan ketahanan gempa mengacu pada Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung SNI 03-1726-2002.
8. Menggunakan analisis pembebanan serta ukuran elemen struktur (balok, kolom dan plat)
9. Analisis pembebanan mengacu pada Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung (PPPURG) 1987 tanpa memperhitungkan beban angin.
10. Analisis beban gempa menggunakan Analisis Statik Ekuivalen dan Analisis Dinamik Respons Spektrum serta Time History.

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan pertimbangan dari gagasan latar belakang, maka didapat beberapa permasalahan sebagai berikut :

1. Bagaimana merencanakan struktur gedung beton bertulang Marrakech Suites tahan gempa?
2. Bagaimana menganalisis beban gempa menggunakan Analisis Statik Ekuivalen, Analisis Dinamik Respon Spektrum dan Time History pada struktur gedung Marrakech Suites menggunakan program ETABS v16.0.3?
3. Bagaimana analisis pada sambungan balok-kolom eksterior pada struktur Marrakech Suites menggunakan program ABAQUS CAE v6.14?

1.4 Tujuan

Tujuan dalam penulisan Skripsi adalah :

1. Dapat mengetahui aspek-aspek perencanaan gedung bertingkat beton bertulang untuk diterapkan pada suatu desain konstruksi dan merencanakan agar bangunan tahan gempa.
2. Dapat menganalisis beban gempa menggunakan Analisis Statik Ekuivalen, Analisis Dinamik Respon Spektrum dan Time History pada struktur gedung Marrakech Suites menggunakan program ETABS v16.0.3.
3. Dapat menganalisis kinerja gedung terutama pada sambungan balok-kolom menggunakan program ABAQUS CAE v6.14.

1.5 Manfaat

Manfaat dalam penulisan skripsi adalah:

1. Dapat memberikan informasi mengenai perencanaan struktur bangunan beton bertulang tahan gempa.
2. Dapat memberikan informasi mengenai hasil kinerja gedung terutama pada sambungan balok-kolom.
3. Dapat dijadikan bahan untuk penelitian lanjutan khususnya bidang struktur.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Sebuah struktur harus mampu menahan semua beban yang bekerja. Beban-beban struktural yang utama adalah beban gravitasi yang bekerja vertikal pada struktur. Beban vertikal yang bekerja pada gedung terdiri dari beban mati dan beban hidup. Selain beban vertikal, suatu struktur bangunan juga menerima pembebanan secara horizontal yang disebabkan oleh angin dan gempa. Pada struktur bangunan, beban gempa bekerja pada pusat massa bangunan dengan arah horizontal. Khusus untuk bangunan gedung, beban gempa bekerja pada pusat massa lantai bangunan.

Agar suatu bangunan dikategorikan sebagai bangunan tahan gempa harus memenuhi kategori sebagai berikut:

1. Bila terjadi gempa ringan, bangunan tidak boleh mengalami kerusakan baik pada komponen non-struktural maupun pada komponen strukturalnya.
2. Bila terjadi gempa sedang, bangunan boleh mengalami kerusakan pada elemen-elemen nonstruktur, tetapi elemen strukturnya tidak boleh rusak.
3. Bila terjadi gempa besar, bangunan boleh mengalami kerusakan baik pada elemen non-struktur maupun elemen struktur, tetapi tidak sampai

robah, sehingga penghuni bangunan masih mempunyai waktu untuk keluar menyelamatkan diri.

Untuk mendapatkan bangunan tahan gempa maka perlu direncanakan sesuai dengan:

1. Dasar perencanaan sesuai ketentuan.
2. Data tanah berupa N-SPT.
3. Respons spektrum untuk mengetahui wilayah gempa suatu tempat.
4. Beban struktur bangunan meliputi beban mati, beban hidup, beban gempa dan beban kombinasi.
5. Beton bertulang yang digunakan dalam perencanaan.
6. Baja tulangan yang digunakan dalam perencanaan.
7. Sambungan balok-kolom, ragam keruntuhan dan kuat geser sambungan.
8. Simpangan dan batas simpangan antar lantai.
9. Hubungan tegangan-regangan.
10. ETABS v.16.0.3
11. ABAQUS CAE v.6.14

2.2 Dasar Perencanaan

Perancangan struktur bangunan mengacu pada aturan dan syarat yang berlaku sesuai dengan dasar perencanaan, sebagai berikut:

1. SNI 03-2847-2002 tentang persyaratan beton struktur untuk bangunan gedung.

2. SNI 03-1726-2002 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk bangunan gedung.
3. PPPURG 1987 (Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung) tentang analisis pembebanan tanpa memperhitungkan beban angin.

2.3 Data Tanah

Dalam merencanakan suatu sub struktur, membutuhkan data-data parameter tanah yang di dapat dari hasil penyelidikan tanah baik dilapangan maupun dilaboratorium. Namun ada kalanya data tidak cukup dan tidak memungkinkan dilakukan pengujian lagi, sehinga interpretasi dan korelasi parameter melalui grafik-grafik yang sudah ada akan sangat membantu. Grafik-grafik maupun tabel korelasi parameter masih sangat diperlukan. Korelasi tanah juga digunakan oleh para praktisi dalam memberikan gambaran umum mengenai sifat-sifat tanah.

Pemakaian korelasi parameter-parameter tanah hasil uji laboratorium saat ini telah dikembangkan dan dipublikasikan oleh para ahli tanah. Tetapi pembuatan grafik-grafik korelasi parameter tanah yang banyak dipakai selama ini dibuat sebagian besar berasal dari luar Indonesia untuk tanah di luar Indonesia, salah satu korelasi yang umum dipakai adalah hubungan dengan nilai N-SPT.

Uji Penetrasi Standar (SPT = *Standard Penetration Test*) adalah salah satu jenis uji tanah yang sering digunakan untuk mengetahui daya dukung tanah

selain CPT. SPT dilaksanakan bersamaan dengan pengeboran untuk mengetahui baik perlawanan dinamik tanah maupun pengambilan contoh terganggu dengan teknik penumbukan. Uji SPT terdiri atas uji pemukulan tabung belah dinding tebal ke dalam tanah dan disertai pengukuran jumlah pukulan untuk memasukkan tabung belah sedalam 300 mm vertikal. SPT dilakukan dengan memukul sebuah tabung standar kedalam lubang bor sedalam 450 mm menggunakan palu 63,5 kg yang jatuh bebas dari ketinggian 760 mm, yang dihitung adalah jumlah pukulan untuk melakukan penetrasi sedalam 150 mm. Jumlah pukulan yang digunakan adalah pada penetrasi sedalam 300 mm terakhir. Nilai SPT dapat digunakan untuk menghitung sifat-sifat statis dan dinamis tanah berbutir kasar seperti *internal friction angle* (ϕ'), *relative density* (D_r), kapasitas dukung dan penurunan, kecepatan gelombang geser (v_s) dari tanah, maupun potensi likuifaksi. Di sisi lain, uji SPT yang sebenarnya dikembangkan untuk tanah berbutir kasar telah diaplikasikan pada tanah berbutir halus untuk memperkirakan sifat-sifat *engineeringnya*, seperti *undrained compressive strength* (q_u), *undrained shear strength* (S_u) dan koefisien kompresibilitas volume (mv).

2.4 Respons Spektrum

Respons Spektrum adalah plat respons maksimum (baik berupa perpindahan relatif, kecepatan palsu relatif, percepatan maksimum ataupun besaran yang diinginkan) dan fungsi beban tertentu untuk semua kemungkinan berderajat-kebebasan-tunggal. Untuk struktur bangunan yang mempunyai massa (m), kekakuan (k) dan memiliki kemampuan redaman (c) tertentu tanpa diberi gaya

luar. Kecepatan palsu relatif ini tidak memiliki hubungan dekat dan dapat merupakan substitusi yang tepat untuk kecepatan sebenarnya. Tiga besaran ini yaitu percepatan absolut maksimum, perpindahan relatif maksimum dan kecepatan palsu relatif maksimum dikenal dengan nama spektrum percepatan (S_a), spektrum perpindahan (S_D) dan spektrum kecepatan (S_V).

Absis dari spektrum adalah frekuensi natural (periode) dari sistem dan ordinat adalah respons maksimum. Kurva respons spektrum memperlihatkan perpindahan relatif maksimum dari massa terhadap perpindahan penyokong dari suatu sistem berderajat tunggal. Nilai percepatan absolut pada setiap saat adalah proposional (selaras) dengan perpindahan relatif. Khususnya pada harga maksimum. Untuk keperluan desain digunakan respons spektrum desain. Respons spektrum desain adalah respons yang telah disederhanakan dengan pendekatan statistik sehingga garis-garis bergelombang dapat diwakili oleh garis lurus tertentu. Respons spektrum yang dipakai dalam desain adalah respons spektrum percepatan dengan periode.

Dalam perencanaan kriteria desain seismik suatu bangunan di permukaan tanah atau penentuan amplifikasi besaran percepatan gempa puncak dari batuan dasar ke permukaan tanah untuk suatu situs, maka situs tersebut harus diklarifikasi terlebih dahulu. Mengacu pada SNI Gempa SNI 03-1726-2002 Pasal 5.1. Penetapan kelas situs harus sesuai dengan penyelidikan hasil tanah di lapangan. Hasil data tanah berdasarkan nilai SPT (*Soil Penetration Test*) dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$N = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i}} \dots\dots\dots(\text{Persamaan 2.1})$$

Keterangan:

N = nilai hasil test penetrasi standar rata-rata

d_i = tebal setiap lapisan antara kedalaman 0 sampai 30 meter

N_i = hasil test penetrasi standar lapisan tanah ke-i

2.5 Beban Struktur Bangunan

Pembebanan pada struktur menggunakan acuan perencanaan pembebanan seperti persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung SNI 03-2847-2002, dan tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung SNI 1726-2002.

2.5.1 Beban Mati

Beban mati adalah beban yang memiliki besar yang konstan dan terdapat pada satu posisi tertentu. Beban mati meliputi berat struktur yang sedang kita tinjau, termasuk semua bagian pelengkap yang melekat pada struktur secara permanen. Untuk bangunan beton bertulang, beberapa dari beban mati tersebut adalah berat portal, dinding, langit-langit, tangga, atap dan saluran air.

Untuk mendesain sebuah struktur, kita harus dapat memperkirakan berat atau beban mati dari berbagai bagian struktur yang akan digunakan dalam analisis. Ukuran dan berat pasti dari bagian-bagian struktur tidak

dapat diketahui secara tepat sebelum analisis struktur selesai dibuat dan batang-batang struktur telah ditentukan. Berat, seperti yang telah ditentukan dari desain aktual, harus dibandingkan dengan berat yang diperkirakan. Jika ada perbedaan yang besar, analisis dan desain yang sudah dilakukan harus diulang kembali guna mendapatkan perkiraan berat yang lebih baik.

Jenis-jenis beban mati pada gedung ditunjukkan pada Tabel 2.1 berikut:

Tabel 2.1 Beban Mati untuk Gedung

NO	JENIS BEBAN MATI	BERAT	SATUAN
1	Baja	78,5	kN/m ³
2	Beton	22	kN/m ³
3	Pasangan batu kali	22	kN/m ³
4	Mortar, spesi	22	kN/m ³
5	Beton bertulang	24	kN/m ³
6	Pasir	16	kN/m ³
7	Lapisan aspal	14	kN/m ³
8	Air	10	kN/m ³
9	Dinding pasangan bata ½ batu	2,5	kN/m ³
10	Curtain wall kaca + rangka	0,6	kN/m ³
11	Langit-langit dan penggantung	0,2	kN/m ³
12	Cladding metal sheet + rangka	0,2	kN/m ³
13	Finishing lantai (tegel atau keramik)	22	kN/m ³
14	Marmar, granit per cm tebal	0,24	kN/m ³
15	Instalasi plumbing (ME)	0,25	kN/m ³
16	Penutup atap genteng	0,5	kN/m ³

2.5.2 Beban Hidup

Beban hidup adalah beban yang besar dan letaknya dapat berubah. Beban hidup meliputi beban orang, barang-barang gudang, beban konstruksi, beban kran layan gantung, beban peralatan yang sedang

bekerja dan sebagainya. Secara umum, beban hidup dipengaruhi oleh gravitasi. Macam-macam beban hidup lainnya antara lain:

1. Beban lalu lintas pada jembatan

Jembatan menerima sejumlah beban terpusat yang besarnya bervariasi yang disebabkan oleh roda-roda truk atau kereta api.

2. Beban tumbukan

Beban tumbukan disebabkan oleh getaran dari beban yang bergerak atau yang dapat berpindah-pindah. Sudah jelas bahwa peti kemas yang dijatuhkan ke atas lantai gudang atau truk yang melompat di atas perkerasan yang tidak rata pada sebuah jembatan akan mengakibatkan gaya-gaya yang lebih besar dibandingkan jika beban-beban tersebut diterapkan secara perlahan-lahan dan bertahap.

3. Beban longitudinal

Beban longitudinal juga perlu diperhatikan dalam mendesain beberapa struktur. Memberhentikan kereta api di atas jembatan rel kereta atau memberhentikan truk di jembatan jalan raya akan menyebabkan terjadinya gaya-gaya longitudinal.

4. Beban-beban yang lain

Diantara berbagai jenis beban hidup yang harus diperhatikan perencana bangunan adalah tekanan tanah, tekanan hidrostatik, beban ledakan dan gaya sentrifugal.

Besarnya beban hidup lantai bangunan menurut Tata Cara Perencanaan Pembebanan untuk Rumah Dan Gedung PPPURG 1987 ditunjukkan pada Tabel 2.2 berikut:

Tabel 2.2 Beban Hidup untuk Gedung

NO	JENIS BEBAN HIDUP	BERAT	SATUAN
1	Dak atap bangunan	1	kN/m ³
2	Rumah tinggal	2	kN/m ³
3	Kantor, sekolah, hotel, pasar, rumah sakit	2,5	kN/m ³
4	Hall, tangga, corridor, balkon	3	kN/m ³
5	Ruang olahraga, pabrik, bioskop, bengkel, perpustakaan, tempat ibadah, parkir, aula	4	kN/m ³
6	Panggung penonton	5	kN/m ³

Reduksi beban dapat dilakukan dengan cara mengalikan beban hidup dengan koefisien reduksi yang nilainya tergantung pada penggunaan bangunan. Besarnya koefisien reduksi beban hidup untuk perencanaan portal dan gempa ditentukan Tabel 2.3 berikut:

Tabel 2.3 Faktor Reduksi Beban Hidup untuk Gedung

NO	FUNGSI BANGUNAN	FAKTOR REDUKSI UNTUK PORTAL	FAKTOR REDUKSI UNTUK GEMPA
1	Perumahan : rumah tinggal, asrama, hotel, rumah sakit, perkantoran	0,75	0,3
2	Gedung pendidikan : sekolah, ruang kuliah	0,9	0,5
3	Tempat pertemuan umum, tempat ibadah, bioskop, restoran, ruang dansa, ruang pertunjukan	0,9	0,5
4	Gedung perkantoran : kantor, bank	0,6	0,3
5	Gedung perdagangan dan ruang penyimpanan : toko, toserba, pasar, gudang, ruang arsip, perpustakaan	0,8	0,8
6	Tempat kendaraan : garasi, gedung parkir	0,9	0,5

7	Bangunan industri : pabrik, bengkel	1	0,9
---	-------------------------------------	---	-----

2.5.3 Beban Gempa

Besarnya beban gempa yang terjadi pada struktur bangunan tergantung dari beberapa faktor yaitu, massa dan kekuatan struktur, waktu getar alami dan pengaruh redaman dari struktur, kondisi tanah, dan wilayah kegempaan dimana struktur bangunan tersebut didirikan. Massa struktur bangunan merupakan faktor yang sangat penting, karena beban gempa merupakan gaya inersia yang besarnya sangat tergantung dari besarnya massa struktur.

Bangunan Teknik Sipil memiliki kekuatan untuk menahan gaya lateral yang beragam, sehingga mempunyai waktu getar alami yang berbeda-beda pula. Dengan demikian respon percepatan maksimum dari struktur tidak selalu sama dengan percepatan getaran gempa. Besarnya beban gempa horizontal yang dapat terjadi pada struktur bangunan akibat gempa, tidak hanya disebabkan oleh percepatan gempa saja, tetapi juga tergantung dari respon sistem struktur bangunan dengan pondasinya. Beberapa faktor lain juga berpengaruh terhadap besarnya beban gempa yang dapat terjadi pada struktur adalah bagaimana massa dari bangunan tersebut terdistribusi, kekuatan dari struktur, jenis pondasi serta kondisi tanah dasar dan tentu perilaku serta besarnya besaran gempa itu sendiri. Berikut adalah tahapan untuk mengetahui analisis gempa:

1. Menentukan kategori risiko struktur bangunan (I-IV)
2. Menentukan faktor keutamaan
3. Menentukan parameter gempa (S_s, S_1)
4. Menentukan kelas situs (SA-SF)
5. Menentukan koefisien situs dan parameter respon spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko tertarget
6. Menentukan spektrum respons desain
7. Menentukan kategori desain seismik (A-D)
8. Menentukan sistem dan parameter sistem (R, C_d, Ω_o)

2.5.4 Kombinasi Pembebanan

Struktur gedung dirancang mampu menahan beban mati, hidup dan gempa sesuai SNI Gempa 03-1726-2002 Pasal 4.1.1 dimana gempa rencana ditetapkan mempunyai periode ulang 500 tahun, sehingga probabilitas terjadinya terbatas pada 10% selama umur gedung 50 tahun. Kombinasi pembebanan yang digunakan mengacu pada SNI-03-2847-2002 Pasal 11.2 sebagai berikut:

Kombinasi = 1,4 DL

Kombinasi = 1,2 DL + 1,6 LL

Kombinasi = 1,2 DL + Lr ± 1 E

Keterangan:

DL : beban mati (*dead load*), meliputi berat sendiri gedung (*self weight, SF*) dan beban mati tambahan (*superimposed dead load, D*),

LL : beban hidup (*live load*), tergantung fungsi gedung,

- Lr : beban hidup yang boleh direduksi dengan factor pengali 0,5 kecuali untuk gedung yang berfungsi sebagai garasi, ruang pertemuan, dan ruangan yang beban hidupnya 500 kg/m^2 ,
- E : beban gempa (*earthquake load*), ditinjau terhadap gempa static (EQx, EQy), dan gempa dinamik respons spectrum (RSPx, RSPy).

Kombinasi pembebanan yang dipilih adalah yang memberikan pengaruh paling besar pada struktur. Rincian kombinasi beban yang ditunjukkan pada Tabel 2.4. berikut :

Tabel 2.4. Kombinasi Pembebanan

NAMA KOMBINASI	KOMBINASI PEMBEBANAN
Kombinasi 1	1,4 D + 1,4 SW
Kombinasi 2	1,2 D + 1,2 SW + 1,6 L
Kombinasi 3	1,2 D + 1,2 SW + 0,5 L + 1 EQx
Kombinasi 4	1,2 D + 1,2 SW + 0,5 L - 1 EQx
Kombinasi 5	1,2 D + 1,2 SW + 0,5 L + 1 EQy
Kombinasi 6	1,2 D + 1,2 SW + 0,5 L - 1 EQy
Kombinasi 7	1,2 D + 1,2 SW + 0,5 L + 1 RSPx
Kombinasi 8	1,2 D + 1,2 SW + 0,5 L - 1 RSPx
Kombinasi 9	1,2 D + 1,2 SW + 0,5 L + 1 RSPy
Kombinasi 10	1,2 D + 1,2 SW + 0,5 L - 1 RSPy
Kombinasi 11	1,2 D + 1,2 SW + 0,5 L + 1 THx
Kombinasi 12	1,2 D + 1,2 SW + 0,5 L - 1 THx
Kombinasi 13	1,2 D + 1,2 SW + 0,5 L + 1 THy
Kombinasi 14	1,2 D + 1,2 SW + 0,5 L - 1 THy

2.6 Beton Bertulang

Beton dalam konstruksi teknik didefinisikan sebagai batu buatan yang dicetak pada suatu cetakan dalam keadaan cair kental yang kemudian mampu untuk mengeras secara baik. Beton dihasilkan dari pencampuran bahan-bahan agregat halus dan kasar yaitu pasir, batu pecah, atau bahan semacam lainnya

dengan menambahkan secukupnya bahan perekat semen dan air sebagai bahan pembantu guna keperluan reaksi kimia selama proses pengerasan dan perawatan berlangsung.

Bahan pengikat yang dipakai umumnya adalah dari jenis semen *portland* (s.p.) atau disebut juga *Portland Cement* (P.C.). Agregat kasar umumnya adalah kerikil atau batu pecah kecil dan sebagai agregat halus lazim dipergunakan pasir. Untuk mudahnya dapat disebutkan, beton terdiri campuran semen portland, pasir dan kerikil atau batu pecah ditambah dengan air untuk proses pembuatan beton.

Spesifikasi beton yang digunakan dalam perencanaan adalah:

$$FC = 40 \text{ MPa}$$

$$\text{Modulus elastisitas beton, } E = 4700\sqrt{Fc'} \dots\dots\dots \text{ (Persamaan 2.2)}$$

$$\text{Angka poisson, } \nu = 0.2$$

$$\text{Modulus Geser, } G = \frac{E}{2 \times (1+\nu)} \dots\dots\dots \text{ (Persamaan 2.3)}$$

2.7 Baja Tulangan

Baja tulangan untuk konstruksi beton bertulang ada bermacam-macam jenis dan mutu tergantung dari pabrik yang membuatnya. Setiap pabrik baja mempunyai standar yang dipakai oleh pabrik yang bersangkutan. Ada dua jenis baja tulangan, yaitu baja tulangan polos (*plain bar*) dan tulangan ulir (*deformed bar*).

Baja tulangan polos tersedia dalam beberapa macam diameter, tetapi karena ketentuan SNI hanya memperkenankan pemakaiannya untuk sengkang dan tulangan spiral, pemakaiannya terbatas. Saat ini, tulangan polos yang mudah dijumpain adalah hingga diameter 16 mm, dengan panjang standar 12 m.

Berdasarkan ketentuan SNI T-15-1991-03 Pasal 3.5, baja tulangan ulir lebih diutamakan pemakaian untuk batang tulangan beton struktur. Salah satu tujuan dari ketentuan ini adalah agar struktur beton bertulang tersebut memiliki keandalan terhadap efek gempa, karena antara lain terdapat lekatan yang lebih baik antara beton dengan tulangannya. Berbeda dengan PBI-71 yang menggunakan simbol U untuk menyatakan mutu baja tulangan, SNI menggunakan simbol BJTP (baja tulangan polos) dan BJTD (baja tulangan ulir). Baja tulangan polos yang tersedia mulai dari mutu BJTP-24 hingga BJTP-30, simbol ini menyatakan tegangan leleh karakteristik materialnya.

Baja Tulangan yang digunakan pada perencanaan adalah:

Diameter ≤ 12 mm menggunakan baja tulangan polos BJTP 25 dengan tegangan leleh, $f_y = 240$ MPa.

Diameter ≥ 13 mm menggunakan baja tulangan ulir BJTD 40 dengan tegangan leleh, $f_y = 400$ MPa.

2.8 Sambungan Balok-Kolom

Sambungan pada hubungan balok-kolom (HBK) mempunyai peran yang penting pada suatu struktur gedung dengan sistem Rangka Pemikul Momen

Khusus (SRPMK). Sambungan pada hubungan balok-kolom akan menerima gaya-gaya yang dihasilkan oleh struktur balok dan kolom secara bersamaan. Hal tersebut menyebabkan sambungan yang mempertemukan balok dan kolom menjadi tidak kuat dan cepat mengalami keruntuhan. Maka diperlukan tulangan pengekang sehingga sambungan mampu menerima dan menyalurkan gaya-gaya yang dihasilkan oleh balok dan kolom sehingga konsep SRPMK dapat terpenuhi.

Perencanaan sambungan balok-kolom pada struktur beton bertulang pada daerah yang rawan gempa, menurut Park & Paulay harus didasarkan pada hal-hal sebagai berikut:

1. Kekuatan sambungan balok-kolom tidak boleh kurang dari gaya yang berpotensi menimbulkan sendi plastis pada balok. Hal ini dapat mengeliminasi keperluan perbaikan pada bagian yang sulit dijangkau serta dapat menjamin terjadinya disipasi energi oleh mekanisme sambungan, yang akan mengalami degradasi (penurunan) kekakuan akibat beban siklik inelastik.
2. Kapasitas kekuatan kolom tidak boleh berkurang karena adanya degradasi kekuatan dari sambungan balok-kolom. Pada gempa kecil dan sedang, sambungan balok-kolom diharapkan masih dapat memberikan perilaku elastis.
3. Ketahanan sambungan balok-kolom harus mampu untuk berdeformasi dan menyalurkan gaya geser dari rangka struktur.

4. Penulangan sambungan yang diperlukan tidak menimbulkan kerumitan dalam pelaksanaan pembuatannya.

2.8.1 Ragam Keruntuhan

Ada 2 ragam keruntuhan yang perlu diperiksa. Dari kedua ragam ini yang terpenting adalah yang berhubungan dengan kekuatan geser. Gaya geser yang didapat dari perencanaan kapasitas besarnya dapat mencapai 4 sampai 5 kali gaya yang terjadi pada kolom yang berdekatan dan gaya ini akan mengakibatkan keruntuhan diagonal tarik, bila di dalam sambungan tersebut tidak terdapat penulangan geser yang cukup. Keruntuhan ini dapat terjadi sebelum daktilitas di dalam sendi-sendi plastis pada balok struktur rangka tercapai.

Keruntuhan berikutnya adalah keruntuhan ikatan (*bond*). Suatu pemeriksaan sederhana menunjukkan bahwa tegangan lekat pada penulangan yang melewati sambungan dalam, besarnya 3 sampai 4 kali lebih besar dari pada yang disyaratkan peraturan. Suatu keruntuhan pengjangkaran akibat penarikan tulangan pada sambungan luar dapat mengakibatkan keruntuhan total. Pada sambungan-sambungan dalam, slip tulangan yang lewati inti sambungan balok terjadi dan akan mengakibatkan penurunan kekakuan yang cukup drastis dan berkurangnya kemampuan struktur rangka beton bertulang untuk memancarkan energi.

2.8.2 Kuat Geser Sambungan

Kuat geser sambungan balok-kolom sangat ditentukan oleh interaksi dua mekanisme. Pertama, beban tekan lentur yang bekerja pada keempat komponen struktur yang berdekatan secara bersama-sama membentuk suatu strat diagonal sepanjang sambungan. Apabila sendi-sendi plastis dibatasi terjadinya pada balok-balok yang bersebelahan dan tegangan geser nominal sambungan tidak terlalu besar, seperti yang biasanya terjadi, maka tegangan-tegangan diagonal tekan pada inti sambungan menjadi tidak terlalu besar dan masih dapat ditahan.

Fungsi mekanisme yang kedua adalah untuk mengimbangi jumlah gaya lekat yang harus disalurkan oleh tulangan balok dan kolom kepada beton pada inti sambungan. Tampak disini bahwa setelah terjadi retak diagonal, maka suatu "*shear flow*" di sekelilingi penampang membentuk daerah-daerah tekan diagonal. Strat-strat diagonal akan segera memikul tegangan-tegangan tekan apabila gaya-gaya kekang vertikal dan horizontal pada tepi-tepi inti sambungan dapat dijamin bekerja. Untuk itu diperlukan tulangan geser horizontal guna menjamin adanya gaya kekang horizontal pada tepi sambungan. Sementara gaya kekang vertikal pada sambungan dijamin oleh adanya gaya tekan kolom. Pada sambungan-sambungan dimana tidak ada gaya tekan kolom yang berarti diperlukan tulangan geser vertikal.

Kegagalan terjadinya mekanisme kedua akibat keruntuhan lekatan tulangan utama dapat mengakibatkan hanya berfungsinya mekanisme pertama. Dengan demikian sambungan akan menjadi kendur (*slack*). Hasil

penelitian yang dilakukan di Selandia Baru menunjukkan bahwa terjadinya sendi-sendi plastis pada balok tepat di muka kolom dapat mengakibatkan tidak terjadinya mekanisme pertama. Hal ini mengakibatkan diperlukan semakin banyak tulangan geser horizontal pada sambungan.

Berbeda dengan ketentuan di Selandia Baru, ACI hanya mensyaratkan tulangan sengkang pada ujung-ujung kolom untuk diteruskan ke dalam sambungan guna menjamin perilaku sambungan pada saat terjadi gempa. Penekanan persyaratan ini lebih pada pengekangan daripada untuk memikul gaya geser. Berdasarkan persyaratan ACI 50% tulangan geser yang dibutuhkan berdasarkan hasil penelitian Selandia Baru, apabila joint dikelilingi balok-kolom pada keempat sisinya. Tulangan geser yang dibutuhkan $\rho_s\%$, menurut ketentuan Selandia Baru merupakan fungsi besarnya gaya akibat kolom yang dinyatakan dalam $P/(f_i'A_8)$, untuk sambungan-sambungan dengan balok-balok pada 2 sisi dan 4 sisinya serta merupakan fungsi besarnya gaya geser pada sambungan itu sendiri. Sedangkan persyaratan ACI menunjukkan kebutuhan tulangan geser yang konstan.

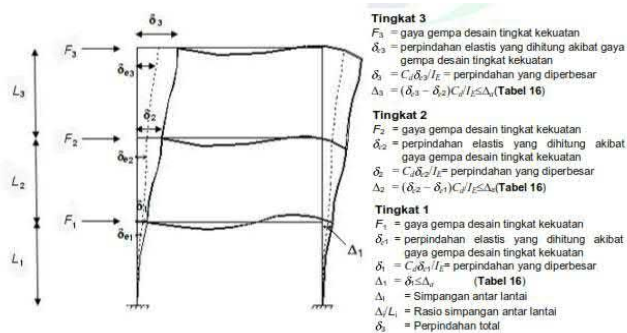
Pada skripsi ini akan ditinjau sambungan eksterior dari bangunan gedung apartemen. Untuk lebih memahami perilaku sambungan pada saat bekerja gaya gempa, maka harus dipelajari mekanisme gaya-gaya yang bekerja pada sambungan eksterior. Adapun gaya-gaya dalam dari balok dan kolom yang bertemu pada sambungan balok-kolom tersebut akan menghasilkan gaya geser sambungan dan berbagai jenis tegangan, baik

dalam arah horizontal maupun vertikal yang dapat mengakibatkan retak diagonal pada sambungan yang selanjutnya akan mengakibatkan keruntuhan karena dilampauinya kekuatan geser dan lekatannya.

2.9 Simpangan Bangunan

Simpangan (*drift*) adalah sebagai perpindahan lateral relatif antara dua tingkat bangunan yang berdekatan atau dapat dikatakan simpangan mendatar tiap tiap tingkat bangunan (*horizontal story to story deflection*). Ada perbedaan antara *displacement* dan *drift*, *displacement* adalah simpangan suatu lantai di ukur dari dasar lantai sedangkan *drift* adalah simpangan suatu lantai di ukur dari dasar lantai di bawahnya. Kekakuan bahan itu sendiri dipengaruhi oleh modulus elastisitas bahan dan ukuran elemen tersebut. Dan modulus elastisitas berbanding lurus dengan kekuatan bahan, maka semakin kuat bahan maka bahan tersebut juga semakin kaku. Namun bahan yang terlalu kaku bisa menjadi getas (patah seketika).

Berdasarkan SNI 03-1726-2002 Pasal 7.8.6., penentuan simpangan antar lantai tingkat desain harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa tidak terletak segaris dalam arah vertikal, diijinkan untuk menghitung defleksi di dasar tingkat berdasarkan proyeksi vertikal dari pusat massa tingkat atasnya. Di gambarkan pada gambar 2.1 SNI 03-1726-2002 Pasal 7.9.3 berikut:



Gambar 2.1 Penentuan Simpangan Antar Lantai Berdasarkan

SNI 03-1726-2012 Pasal 7.9.3

Simpangan lateral dari suatu sistem struktur akibat beban gempa adalah sangat penting yang dilihat dari tiga pandangan yang berbeda, menurut Farzat Naeim (1989):

1. Kestabilan struktur (*structural stability*)
2. Kesempurnaan arsitektural (*architectural integrity*) dan potensi kerusakan bermacam-macam komponen bukan struktur
3. Kenyaman manusia (*human comfort*), sewaktu terjadi gempa bumi dan sesudah bangunan mengalami gerakan gempa.

Dalam pada itu juga, Richard N. White (1987) berpendapat bahwa dalam perencanaan bangunan tinggi selalu dipengaruhi oleh pertimbangan lenturan (*deflection*), bukannya oleh kekuatan (*strength*).

Simpangan antar tingkat dari suatu titik pada suatu lantai harus ditentukan sebagai simpangan horizontal titik itu, relatif terhadap titik yang sesuai pada lantai yang berada dibawahnya. Perbandingan antar simpangan antar tingkat dan tinggi tingkat yang bersangkutan tidak boleh melebihi 0.005 dengan ketentuan dalam segala hal simpangan tersebut tidak boleh lebih dari 2 cm.

Terhadap simpangan antar tingkat telah diadakan pembatasan-pembatasan untuk menjamin agar kenyamanan bagi para penghuni gedung tidak terganggu dan juga untuk mengurangi momen-momen sekunder yang terjadi akibat penyimpangan garis kerja gaya aksial didalam kolom-kolom.

Batasan Simpangan Antar Lantai Tingkat

Berdasarkan SNI 03-1726-2002 pasal 7.12.1, simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) tidak boleh melebihi simpangan antar lantai ijin (Δ_a). Simpangan antar lantai ijin (Δ_a) dapat dilihat pada tabel berikut ini. Hsx pada tabel menunjukkan tinggi tingkat dibawah tingkat x.

Tabel 2.5 Simpangan antar lantai ijin (Δ_a)

STRUKTUR	KATEGORI RESIKO		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengkondisikan simpangan antar lantai tingkat	0,025hsx	0,020hsx	0,015hsx
Struktur dinding geser kantilever batu bata	0,010hsx	0,010hsx	0,010hsx
Struktur dinding geser batu bata lainnya	0,007hsx	0,007hsx	0,007hsx
Semua struktur lainnya	0,020hsx	0,015hsx	0,010hsx

2.10 Hubungan Tegangan-Regangan

Hubungan tegangan-regangan beton perlu diketahui untuk menurunkan persamaan-persamaan analisis dan desain juga prosedur-prosedur pada struktur beton. Semakin tinggi mutu beton maka akan semakin tinggi kurva tegangan-regangan yang dihasilkan. Pada peraturan SNI 03-2847-2002 pasal 12.2.3 menetapkan regangan maksimum yang dapat dimanfaatkan pada serat

tekan beton terluar harus diambil sama dengan 0,003 sebagai batas hancur. Pengekangan pada beton dapat meningkatkan kuat lentur, hal ini dikarenakan adanya tulangan transversal (sengkang) yang terpasang disepanjang bentang. Untuk menganalisa kapasitas lentur yang menggunakan hubungan tegangan-regangan beton terkekang disederhanakan menjadi tegangan blok ekuivalen, dengan asumsi luas daerah diagram tegangan beton sama dengan luas diagram tegangan blok. Dalam analisa ini diperoleh bahwa pengekangan mempengaruhi bentuk dan besarnya kurva tegangan-regangan beton.

Kekuatan batas dari batang-batang beton bertulang dalam lentur tergantung keadaan tegangan-regangan dari beton dan bajanya. Berdasarkan kurva hubungan tegangan-regangan beton didapat tiga kesimpulan:

1. Hubungan tegangan-regangan untuk beton adalah tidak linier, tetapi kesalahan dalam pengasumsian kelinieran terhadap tegangannya yang berkisar $\frac{1}{3}$ dari nilai maksimumnya, tidaklah serius. Ini dapat dibenarkan untuk penggunaan garis lurus, tidak ada teori tarik yang berlaku untuk beban kerja pada beton pratekan.
2. Regangan yang terjadi saat tegangan maksimum berkisar 0,002 untuk semua (kualitas) beton.
3. Regangan maksimum pada beton dapat bervariasi tergantung kekuatan betonnya tetapi secara umum nilainya berkisar dari 0,0025 sampai 0,004.

Kurva hubungan tegangan-regangan beton untuk beton terkekang diasumsikan untuk menentukan distribusi tegangan tekan pada daerah tekan

pada elemen beton terkekang. Untuk regangan tertentu pada serat tekan ekstrim dan kurva tegangan-regangan tertentu, maka dapat ditentukan parameter blok tegangan tertekan. Untuk menggambarkan hubungan tegangan-regangan beton para ahli telah memperhitungkan beberapa parameter pengekangan seperti jarak sengkang, mutu baja, diameter sengkang dan ada juga yang telah memperhitungkan pengaruh dari tulangan memanjang seperti rasio tulangan memanjang, jarak dan diameter tulangan memanjang.

2.12 ETABS v16.0.3

ETABS v16.0.3 (*Extended Three Dimension Analysis of Building Systems*) adalah program struktur komputer yang digunakan untuk membantu dalam perencanaan gedung bertingkat tinggi dengan konstruksi beton bertulang, baja dan komposit. Program komputer ini dikembangkan oleh perusahaan CSI (*Computer and Structures Inc*) yaitu salah satu perusahaan software untuk perencanaan struktur.

2.13 ABAQUS CAE v6.14

ABAQUS CAE v6.14 merupakan salah satu software *Computer-Aided Engineering* (CAE). Abaqus merupakan program simulasi rekayasa yang kuat, didasarkan pada metode elemen hingga, yang dapat memecahkan masalah mulai dari analisis linier relatif sederhana sampai simulasi nonlinier yang lebih. Dirancang sebagai alat simulasi untuk keperluan umum, Abaqus dapat digunakan untuk mempelajari lebih dari sekedar masalah struktural. Program ini dapat mensimulasikan masalah diberbagai bidang seperti perpindahan

panas, difusi massal, manajemen termal dari komponen listrik, akustik, mekanika tanah, dan dinamika fluida.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pembahasan dan analisis terhadap struktur gedung apartemen Marrakech Suites, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

- a. Waktu getar gedung untuk mode 1 didapatkan sebesar 5,628 detik dan mode 2 sebesar 5,336 detik, dimana periode maksimum untuk syarat batas periode gedung adalah 6,29 detik sehingga batasan periode terpenuhi.
- b. Syarat simpangan antar lantai baik akibat gempa statik maupun gempa dinamik arah x dan y maksimum sebesar 6,93 cm tidak melebihi simpangan yang diijinkan sebesar 13,2 cm sehingga struktur tahan terhadap gempa.
- c. Berdasarkan perhitungan manual menggunakan program MathCAD versi 14 diketahui dimensi struktur balok, kolom, dan sambungan balok-kolom pada gedung Apartemen Marrakech Suites.

STRUKTUR	DIMENSI	JENIS TULANGAN	TULANGAN	
			TUMPUAN	LAPANGAN
B14-25	500 x 900	T. Atas	10D16	8D16
		T. Bawah	8D16	8D16
		Sengkang	2D13-75	2D13-100
B15-25	600 x 600	T. Atas	15D16	6D16
		T. Bawah	9D16	6D16
		Sengkang	2D13-100	2D13-125
K19-25	600 x 1100	Tulangan	16D25	16D25
		Sengkang	D10-100	D10-150
Joint			4D13-100	

- d. Tegangan maksimum data teoritis (Park and Paulay) sebesar $24,69 \text{ N/mm}^2$ dan Regangan maksimum $0,00211$.
- e. Tegangan maksimum output program ABAQUS CAE v6.14 sebesar $24,69 \text{ N/mm}^2$ dan Regangan maksimum $0,00245$.
- f. Perbedaan nilai regangan teoritis dan regangan numerik sebesar $13,91\%$ lebih besar regangan numerik dari regangan teoritis.
- g. Dari perbandingan regangan ultimate (μ_u) dan regangan leleh (μ_y) didapatkan nilai daktilitas sebesar $5,26$. Daktilitas parsial ($\mu=1,0-5,29$).

5.2 Saran

- a. Sebaiknya dilakukan pengujian material terlebih dahulu sebelum menggunakan data material kedalam ABAQUS CAE v6.14, sehingga dapat memberikan kualitas input yang baik untuk permodelan selanjutnya.
- b. Perlu dilakukan eksperimen mengenai benda uji agar dapat digunakan juga sebagai data perbandingan antara hasil perhitungan teoritis dan hasil perhitungan numerik (Output ABAQUS CAE v6.14) sehingga dapat menghindari kesalahan relatif yang besar sekaligus dapat mengetahui berapa persen keakuratan Software ABAQUS CAE v6.14.

DAFTAR PUSTAKA

- Asroni, Ali. (2010). "Balok dan Pelat Beton Bertulang". Edisi Kedua. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Badan Standarisasi Nasional. (1987). "Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Ruman dan Gedung". Jakarta: Standar Nasional Indonesia.
- Badan Standarisasi Nasional. (2002). "Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung". Jakarta: Standar Nasional Indonesia.
- Badan Standarisasi Nasional. (2002). "Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung". Jakarta: Standar Nasional Indonesia.
- Badan Standarisasi Nasional. (2008). "Cara Uji Penetrasi Lapangan dengan SPT". Jakarta: Standar Nasional Indonesia.
- Budiono, Bambang dkk. (2015). "Studi Eksperimental Perilaku Sambungan Balok-Kolom Eksterior Beton Bubuk Reaktif Terhadap Beban Lateral Siklis". *Nabaiho* 22, 165-174.
- Hernowo, Sigit dan Ade Lisantono. (2016). "Retrofitting Sambungan Kolom-Balok Beton Bertulang Ekspansi Planar Segitiga dengan Variasi Ukuran". *Forum Teknik* 37, 1-13.
- Kusuma M.Eng, Ir. Gideon H. "Desain Struktur Rangka Beton Bertulang di Daerah Rawan Gempa". Jakarta: Erlangga.
- Latifah, Ulinuha dan Esti Nur Taufiq. (2016). "Redesain Struktur Gedung Apartemen 23 Lantai + 1 Basement The Aspen Peak Residence Jalan Ki Mangunsarkoro Semarang". Fakultas Teknik. Universitas Negeri Semarang. Semarang.
- Muto, Kiyosi. (1990). "Analisis Perencanaan Gedung Tahan Gempa". Jakarta: Erlangga.
- Maranatha. (2018). "Analisis Perilaku Struktur pada Model Gedung Tanpa *Shear Wall*, Model Gedung dengan *Shear Wall* di Lift, dan Model Gedung disisi Gedung". Fakultas Teknik. Universitas Negeri Semarang. Semarang.
- Park, R and Paulay, T. (1975). "Reinforced Concrete Structures". Canada: John Wiley.

- Riza, Miftakhur. (2010). "Aplikasi Perencanaan Struktur Gedung dengan ETABS". Jakarta: ARSGroup.
- Said, El Fairuz (2010) Metode Numerik 01-Pengantar Metode Numerik. <https://www.google.co.id/amp/s/fairuzelsaid.wordpress.com/2010/10/13/metode-numerik-01-pengantar-metode-numerik/amp/>. 25 Juli 2018
- Schueller, Wolfgang. (1989). "Struktur Bangunan Bertingkat Tinggi". Bandung: PT. Bresco.
- Setiawan, Agus. (2012). "Analisis Hubungan Balok Kolom Beton Bertulang Proyek Pembangunan Gedung DPRD-Balai Kota DKI Jakarta". *ComTech* 3, 711-717.
- Syarif, Muhammad dkk.. "Perilaku Sambungan Balok-Kolom Pracetak Type Plat Akibat Beban Bolak Balik". Fakultas Teknik. Universitas Hasanuddin.
- Verhoef, P.N.W. (1994). "Geologi Untuk Teknik Sipil". Jakarta: PT. Erlangga.
- Weningtyas , Eka Riyadini. (2017). "Studi Numerik Sambungan Balok Kolom Beton Bertulang Pracetak Eksterior Dengan Variasi Penampang BALOK Menggunakan Beban Statik". Fakultas Teknik. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.