

# **ANALISIS DAN DESAIN GEDUNG BETON BERTULANG 9 LANTAI TAHAN GEMPA BERDASARKAN SNI 1726-2002 DAN RSNI 201x**

**MARIA MONITARIS AYU JAKINDO  
NRP: 0921001**

**Pembimbing: Dr. YOSAFAT AJI PRANATA, ST., MT.**

## **ABSTRAK**

Dalam upaya mengurangi dampak terjadinya korban jiwa dan kerusakan bangunan akibat adanya gempa maka diperlukan adanya bangunan tahan gempa. Dengan perencanaan bangunan tahan gempa diharapkan bangunan yang dibuat dapat aman, stabil, dan tidak mudah roboh.

Tujuan penelitian dalam penyusunan Tugas Akhir ini adalah melakukan analisis bangunan gedung beton bertulang tahan gempa, dengan balok bentang panjang berdasarkan perhitungan beban gempa sesuai peraturan beban gempa Indonesia SNI 1726-2002 dan RSNI 201x.

Dari hasil analisis gedung dengan menggunakan peraturan gempa Indonesia SNI 1726-2002 dan RSNI 201x dengan menggunakan bantuan perangkat lunak *ETABS* maka dapat disimpulkan sebagai berikut: Gedung A memiliki gaya geser dasar lebih besar dibandingkan dengan Gedung B, Gedung A memiliki *displacement* dan *drift* lebih besar dibandingkan dengan Gedung A,  $T > 0,54$  nilai percepatan faktor spektra pada peraturan SNI 1726-2002 lebih besar dibandingkan dengan RSNI 201x, Gedung A memiliki jumlah tulangan balok lebih banyak dibandingkan dengan Gedung B, tulangan balok prategang memiliki tulangan *strand* sebanyak 43 buah, tulangan lentur yang digunakan 3D25 dengan Tipe Angkur E, dan Gedung A memiliki jumlah tulangan kolom sama dibandingkan dengan Gedung B.

Kata kunci: SNI 1726-2002, RSNI 201x, Beton Prategang, Balok Bentang Panjang, Gempa

***ANALYSIS AND DESIGN OF 9-STOREY  
EARTHQUAKE RESISTANT CONCRETE BUILDING  
BASED SNI 1726-2002 AND RSNI 201x***

**MARIA MONITARIS AYU JAKINDO**

**NRP: 0921001**

***Supervisor: Dr. YOSAFAT AJI PRANATA, ST., MT.***

***ABSTRACT***

*In an effort to reduce victim and damages building from the impact of earthquakes then needed earthquake resistant buildings. With planning and building earthquake-resistant buildings are expected to be made safe, stable, and easy to collapse.*

*The purpose of research in preparation of the final project is to analyze reinforced concrete buildings earthquake resistant, with long-span beams based on the calculation of earthquake loads Indonesia earthquake loads in compliance with SNI 1726-2002 and RSNI 201x.*

*From the analysis of the building using seismic regulations Indonesia SNI 1726-2002 and RSNI 201x using ETABS software support, it can be summed up as follows: Building A has a basic shear force greater than the Building B, Building A has a larger displacement and drift compared to Building A ,  $T > 0.54$  the value of the acceleration factor in the regulation SNI 1726-2002 spectra greater than RSNI 201x, Building A has a number of reinforcement beam more than the Building B, reinforcement beams prestressed reinforcement strand has as many as 43 pieces, flexural used 3D25 with Angkur Type E, and Building A has the same number of column reinforcement compared to Building B.*

*Keywords: SNI 1726-2002, RSNI 201x, Prestressed Concrete, Slender Beams, Earthquake*

## DAFTAR ISI

<b>Halaman Judul</b> .....	<b>i</b>
<b>Surat Keterangan Tugas Akhir</b> .....	<b>ii</b>
<b>Surat Keterangan Selesai Tugas Akhir</b> .....	<b>iii</b>
<b>Lembar Pengesahan</b> .....	<b>iv</b>
<b>Pernyataan Orisinalitas Laporan Tugas Akhir</b> .....	<b>v</b>
<b>Pernyataan Publikasi Laporan Penelitian</b> .....	<b>vi</b>
<b>Kata Pengantar</b> .....	<b>vii</b>
<b>Abstrak</b> .....	<b>ix</b>
<i>Abstract</i> .....	<b>x</b>
<b>Daftar Isi</b> .....	<b>xi</b>
<b>Daftar Gambar</b> .....	<b>xiv</b>
<b>Daftar Tabel</b> .....	<b>xix</b>
<b>Daftar Notasi</b> .....	<b>xxii</b>
<b>Daftar Lampiran</b> .....	<b>xxvi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan Penelitian .....	2
1.3 Ruang Lingkup Penelitian .....	2
1.4 Sistematika Penulisan .....	3
1.5 Metodologi Penelitian .....	3
<b>BAB II TINJAUAN LITERATUR</b> .....	<b>5</b>
2.1 Struktur Beton Bertulang .....	5
2.1.1 Beton .....	5
2.1.2 Baja Tulangan .....	6
2.1.3 Hubungan Bahan Beton dan Baja .....	7
2.1.4 Beton Bertulang.....	7

2.1.5	Beton Prategang .....	8
2.2	Bangunan Gedung Tahan Gempa .....	15
2.3	Beban .....	16
2.3.1	Beban Gravitasi .....	16
2.3.2	Beban Gempa .....	18
2.4	Peraturan Beban Gempa Indonesia Berdasarkan SNI 1726-2002 .....	19
2.4.1	Wilayah Gempa dan Respons Spektrum.....	19
2.4.2	Faktor Keutamaan .....	22
2.4.3	Struktur Gedung Beraturan .....	23
2.4.4	Pembatasan Waktu Getar Alami Fundamental .....	25
2.4.5	Lantai Tingkat Sebagai Diafragma .....	29
2.4.6	Pembatasan Penyimpangan Lateral.....	29
2.4.7	Kekakuan Struktur.....	30
2.4.8	Analisis Dinamik Respons Spektrum.....	30
2.4.9	Analisis Ragam Spektrum Respons .....	31
2.5	Peraturan Gempa Indonesia Berdasarkan RSNI 201x .....	32
2.5.1	Perencanaan Struktur Gedung Tidak Beraturan.....	32
2.5.2	Respons Spektra .....	39
2.5.3	Prosedur Pembuatan Respons Spektra Desain Berdasarkan RSNI 201x.....	44
2.6	Peraturan Beton Berdasarkan SNI 2847-2002 .....	45
2.6.1	Penulangan Balok.....	45
2.6.2	Penulangan Kolom .....	47
2.6.3	Ketentuan Khusus untuk Perencanaan Gempa .....	49
2.6.4	Komponen Struktur Balok Komponen Struktur Lentur pada Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).....	51
2.6.5	Beton Prategang .....	56
2.6.6	Desain Torsi .....	66
2.6.7	Komponen Struktur yang Menerima Kombinasi Lentur dan Beban Aksial pada SRPMK .....	69
2.7	Perangkat Lunak <i>ETABS</i> .....	73

<b>BAB III STUDI KASUS DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>75</b>
3.1 Data Struktur .....	75
3.1.1 Data Gedung.....	75
3.1.2 Data Material.....	75
3.2 Pemodelan Gedung .....	76
3.3 Analisis Dinamik Respon Spektrum berdasarkan SNI 1726-2002.....	104
3.3.1 Memasukkan Input Respon Dinamik.....	104
3.3.2 Faktor Skala dan Arah Utama .....	105
3.3.3 Pembahasan Hasil Analisis Dinamik Respons Spektrum .....	109
3.4 Analisis Dinamik Respon Spektrum berdasarkan RSNI 201x.....	112
3.4.1 Memasukkan Input Respon Dinamik.....	112
3.4.2 Faktor Skala dan Arah Utama .....	117
3.4.3 Pembahasan Hasil Analisis Dinamik Respons Spektrum .....	121
3.5 Desain Gedung .....	123
3.5.1 Balok Beton Bertulang.....	124
3.5.2 Balok Prategang .....	189
3.5.3 Kolom Beton Bertulang .....	219
3.6 Pembahasan.....	253
3.6.1 Waktu Getar Alami dan Gaya Geser Dasar .....	253
3.6.2 Peralihan dan <i>Drift</i> .....	254
3.6.3 Respons Spektrum .....	256
3.6.4 Penulangan Balok Beton Bertulang .....	257
3.6.5 Penulangan Balok Prategang.....	258
3.6.6 Penulangan Kolom Beton Bertulang.....	258
<b>BAB IV KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>259</b>
4.1 Kesimpulan .....	259
4.2 Saran .....	260
<b>Daftar Pustaka.....</b>	<b>261</b>
<b>Lampiran .....</b>	<b>262</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Kerusakan bangunan gedung akibat gempa tektonik di Padang, Sumatera Barat, Rabu (30/09/2009) .....	2
Gambar 1.2	Bagan alir penelitian Tugas Akhir.....	4
Gambar 2.1	Diagram Hubungan Tegangan-Regangan Beton dan Baja .....	7
Gambar 2.2	Proses Pembuatan Beton Prategang Pratarik.....	9
Gambar 2.3	Proses Pembuatan Beton Prategang Pascatarik .....	9
Gambar 2.4	Tegangan Serat pada Beton dengan Tendon Lurus .....	12
Gambar 2.5	Diagram <i>freebody</i> balok beton bertulang dan balok beton prategang.....	13
Gambar 2.6	Kedudukan gaya tekan pada <i>C-Line</i> .....	14
Gambar 2.7	Konsep Beban Imbang .....	14
Gambar 2.8	Wilayah Gempa Indonesia dengan Percepatan Batuan Dasar dengan Periode Ulang 500 Tahun [SNI 1726-2002] .....	20
Gambar 2.9	Respons Spektrum Gempa Rencana [SNI 1726-2002] .....	20
Gambar 2.10	Peta Respon Spektra Percepatan 0,2 detik ( $S_s$ ) di Batuan Dasar ( $S_B$ ) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 Tahun .....	39
Gambar 2.11	Peta Respon Spektra Percepatan 0,2 detik ( $S_s$ ) di Batuan Dasar ( $S_B$ ) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 Tahun .....	40
Gambar 2.12	<i>Spectra Acceleration Bedrock</i> .....	43
Gambar 2.13	<i>Response Spectra Desain</i> .....	44
Gambar 2.14	Penampang dengan Tulangan Ganda .....	47
Gambar 2.15	Distribusi Tegangan yang Sesuai dengan Titik pada Diagram Interaksi .....	48
Gambar 2.16	Bagan Alir Penulangan Lentur .....	54
Gambar 2.17	Bagan Alir Penulangan Transversal .....	55
Gambar 2.18	Skema Penampang.....	56
Gambar 2.19	Skema Penampang Keadaan Lentur Batas .....	59
Gambar 2.20	Daerah Angkur .....	62
Gambar 2.21	Contoh Model Penunjang dan Pengikat .....	63
Gambar 2.22	Bagan Alir Geser dan Puntir.....	67

Gambar 2.23	Contoh Tulangan Transversal pada Kolom.....	70
Gambar 2.24	Bagan Alir Penulangan Lentur untuk Kolom.....	72
Gambar 2.25	Bagan Alir Penulangan Transversal untuk Kolom.....	73
Gambar 3.1	Tampilan <i>New Model Initialization</i> .....	76
Gambar 3.2	Tampilan Pembuatan Grid.....	76
Gambar 3.3	<i>Input Plan Grid</i> Secara Manual.....	77
Gambar 3.4	Tampilan <i>Grid Data</i> Sesuai Ukuran.....	77
Gambar 3.5	Mendefinisikan Material .....	78
Gambar 3.6	<i>Input Data</i> Properti Material.....	78
Gambar 3.7	Mendefinisikan Jenis Balok dan Kolom.....	79
Gambar 3.8	<i>Input</i> Dimensi Balok Induk .....	80
Gambar 3.9	<i>Input</i> Dimensi Balok Anak.....	80
Gambar 3.10	<i>Input</i> Dimensi Balok Induk Prategang .....	80
Gambar 3.11	<i>Input</i> Dimensi Balok Induk Depan.....	81
Gambar 3.12	<i>Input</i> Dimensi Balok Induk Depan.....	81
Gambar 3.13	<i>Input</i> Dimensi Balok Tangga.....	81
Gambar 3.14	<i>Input</i> Dimensi Balok Tangga.....	82
Gambar 3.15	<i>Input</i> Dimensi Kolom Lantai 1-3 .....	82
Gambar 3.16	<i>Input</i> Dimensi Kolom Depan Lantai 1-3 .....	82
Gambar 3.17	<i>Input</i> Dimensi Kolom Lantai 4-5 .....	83
Gambar 3.18	<i>Input</i> Dimensi Kolom Depan Lantai 4-5 .....	83
Gambar 3.19	<i>Input</i> Dimensi Kolom Lantai 6-7 .....	83
Gambar 3.20	<i>Input</i> Dimensi Kolom Depan Lantai 6-7 .....	84
Gambar 3.21	<i>Input</i> Dimensi Kolom Lantai 8-9 .....	84
Gambar 3.22	<i>Input</i> Dimensi Kolom Depan Lantai 8-9 .....	84
Gambar 3.23	<i>Reinforcement</i> Data Untuk Kolom .....	85
Gambar 3.24	<i>Reinforcement</i> Data Untuk Balok.....	85
Gambar 3.25	Pemodelan Balok.....	86
Gambar 3.26	<i>Input</i> Dimensi Ukuran Pelat Atap .....	87
Gambar 3.27	<i>Input</i> Dimensi Ukuran Pelat Lantai Jalur Mobil .....	87
Gambar 3.28	<i>Input</i> Dimensi Ukuran Pelat Lantai.....	88
Gambar 3.29	Pemodelan Pelat Atap.....	88

Gambar 3.30	Pemodelan Pelat Lantai 2, 4, 6, 8 .....	89
Gambar 3.31	Pemodelan Pelat Lantai 1, 3, 5, 7, 9 .....	89
Gambar 3.32	Model Struktur Gedung Tiga Dimensi .....	90
Gambar 3.33	Potongan Struktur Gedung Portal T .....	91
Gambar 3.34	Denah Lantai 2, 4, 6, 8 .....	91
Gambar 3.35	Denah Lantai 1, 3, 5, 7 .....	92
Gambar 3.36	Denah Lantai Atap.....	92
Gambar 3.37	<i>Input</i> Perletakan.....	93
Gambar 3.38	Membuat <i>Rigid Diaphragm</i> Pada Pelat.....	93
Gambar 3.39	<i>Rigid Diaphragm</i> Pada Tiap Pelat.....	94
Gambar 3.40	Mendefinisikan <i>Static Load Case</i> .....	95
Gambar 3.41	<i>Input</i> Beban <i>Super Dead Load</i> Pada Pelat Atap.....	97
Gambar 3.42	<i>Input</i> Beban <i>Super Dead Load</i> Pada Pelat Lantai 1-8.....	97
Gambar 3.43	<i>Input</i> Beban <i>Live Load</i> Pada Pelat Atap.....	98
Gambar 3.44	<i>Input</i> Beban <i>Live Load</i> Pada Pelat Lantai 1-8 .....	98
Gambar 3.45	<i>Input</i> Beban <i>Live Load</i> Pada Pelat Lantai <i>Showroom</i> Mobil 1-8.....	98
Gambar 3.46	<i>Input</i> Beban <i>Super Dead Load</i> Pada Balok.....	99
Gambar 3.47	<i>Input</i> Beban <i>Super Dead Load</i> Pada Balok Depan .....	99
Gambar 3.48	Tampilan <i>Input</i> Kombinasi Pembebanan .....	100
Gambar 3.49	<i>Modification Factors</i> .....	102
Gambar 3.50	<i>Input</i> Kombinasi Pembebanan.....	103
Gambar 3.51	<i>Special Seismic Load Effects</i> .....	103
Gambar 3.52	<i>Dynamic Analysis Parameters</i> .....	104
Gambar 3.53	<i>Response Spectrum Function</i> .....	104
Gambar 3.54	<i>Response Spectrum Cases</i> .....	105
Gambar 3.55	<i>Run Analysis</i> .....	105
Gambar 3.56	<i>Response Spectra</i> .....	108
Gambar 3.57	Hasil <i>Response Spectrum Base Reaction</i> .....	109
Gambar 3.58	Nilai $\alpha$ (-44,608°) Untuk $V_{dx}$ dan $V_{dy}$ Saling Mendekati.....	109
Gambar 3.59	<i>Point Displacement</i> Maksimum .....	110
Gambar 3.60	Respons Spektrum Gempa Rencana RSNI 201x.....	115

Gambar 3.61	<i>Response Spectrum Function</i> .....	116
Gambar 3.62	<i>Response Spectrum Cases</i> .....	116
Gambar 3.63	<i>Run Analisis</i> .....	117
Gambar 3.64	<i>Response Spectra</i> .....	119
Gambar 3.65	Hasil <i>Response Spectrum Base Reaction</i> .....	120
Gambar 3.66	Nilai $\alpha$ ( $-44,6405^\circ$ ) Untuk $V_{dx}$ dan $V_{dy}$ Saling Mendekati .....	120
Gambar 3.67	Balok B35 dan Kolom C48 Beton Bertulang pada Lantai 3 ...	123
Gambar 3.68	Balok B174 (Lantai 3) yang ditinjau .....	124
Gambar 3.69	Diagram Momen $M_{3-3}$ Balok B35 Gedung A (Satuan Kgm) ...	125
Gambar 3.70	Diagram Momen $M_{3-3}$ Balok B35 Gedung A (Satuan Kgm) ...	133
Gambar 3.71	Diagram Momen $M_{3-3}$ Balok B35 Gedung B (Satuan Kgm) ...	136
Gambar 3.72	Diagram Momen $M_{3-3}$ Balok B35 Gedung A (Satuan Kgm) ...	144
Gambar 3.73	Diagram Shear $V_{2-2}$ Balok B35 Tumpuan Gedung A (Satuan Kgm).....	147
Gambar 3.74	Diagram Torsi Balok B35 Daerah Tumpuan Gedung A (Satuan Nmm) .....	152
Gambar 3.75	Diagram Shear $V_{2-2}$ Balok B35 Lapangan Gedung A (Satuan Kgm).....	157
Gambar 3.76	Diagram Torsi Balok B35 Daerah Lapangan Gedung A (Satuan Nmm) .....	162
Gambar 3.77	Diagram Shear $V_{2-2}$ Balok B35 Gedung B (Satuan Kgm) .....	167
Gambar 3.78	Diagram Torsi Balok B35 Daerah Tumpuan Gedung B (Satuan Nmm) .....	172
Gambar 3.79	Diagram Shear $V_{2-2}$ Balok B35 Lapangan Gedung B (Satuan Kgm).....	177
Gambar 3.80	Diagram Torsi Balok B35 Daerah Lapangan Gedung B (Satuan Nmm) .....	182
Gambar 3.81	Diagram Momen $M_{3-3}$ Balok Prategang (Satuan kgm) .....	194
Gambar 3.82	Diagram Momen $V_{2-2}$ Balok Prategang (Satuan kgm).....	206
Gambar 3.83	Diagram Torsi Balok Prategang pada daerah tumpuan (Satuan kgm) .....	208
Gambar 3.84	Diagram $V_{3-3}$ Balok Prategang (Satuan kgm) .....	208

Gambar 3.85	Diagram Torsi Balok Prategang pada daerah Balok Anak (Satuan kgm) .....	210
Gambar 3.86	<i>General Information</i> .....	220
Gambar 3.87	<i>Material Properties</i> .....	220
Gambar 3.88	<i>Circular Section</i> .....	220
Gambar 3.89	<i>Reinforcing Bars Database</i> .....	221
Gambar 3.90	<i>All Sides Equal</i> .....	221
Gambar 3.91	<i>Factored Loads</i> .....	222
Gambar 3.92	<i>Execute</i> .....	222
Gambar 3.93	Kurva Hubungan $\phi P_n$ dengan $\phi M_n$ Gedung A .....	223
Gambar 3.94	Kurva Hubungan $\phi P_n$ dengan $\phi M_{n_{kapasitas}}$ akibat kombinasi 3 pada Gedung A .....	228
Gambar 3.95	Kurva Hubungan $\phi P_n$ dengan $\phi M_{n_{kapasitas}}$ akibat kombinasi 5 pada Gedung A .....	233
Gambar 3.96	Kurva Hubungan $\phi P_n$ dengan $\phi M_n$ Gedung B.....	238
Gambar 3.97	Kurva Hubungan $\phi P_n$ dengan $\phi M_{n_{kapasitas}}$ akibat kombinasi 3 pada Gedung B.....	244
Gambar 3.98	Kurva Hubungan $\phi P_n$ dengan $\phi M_{n_{kapasitas}}$ akibat kombinasi 5 pada Gedung B.....	248
Gambar 3.99	Perbandingan Respons Spektrum Gempa Rencana SNI 1726-2002 dan RSNI 201x .....	257

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbedaan Beton Bertulang vs Beton Prategang.....	13
Tabel 2.2	Berat Sendiri Bahan Bangunan dan Komponen Gedung .....	17
Tabel 2.3	Beban Hidup pada Lantai Gedung .....	17
Tabel 2.4	Percepatan Puncak Batuan Dasar dan Percepatan Puncak Muka untuk Masing-Masing Wilayah Gempa Indonesia.....	21
Tabel 2.5	Respons Gempa Rencana .....	22
Tabel 2.6	Faktor Keutamaan (I) untuk Berbagai Kategori Gedung dan Bangunan.....	23
Tabel 2.7	Koefisien $\zeta$ yang Membatasi Waktu Getar Alami Fundamental Struktur Gedung [SNI 1726-2002].....	25
Tabel 2.8	Faktor Daktilitas Maksimum, Faktor Reduksi Gempa Mak- simum, Faktor Tahanan Lebih Struktur dan Faktor Tahanan Lebih Total Beberapa Jenis Sistem dan Subsystem Struktur Gedung .....	26
Tabel 2.9	Ketidakteraturan horizontal pada struktur berdasarkan RSNI 201x.....	34
Tabel 2.10	Ketidakteraturan vertikal pada struktur berdasarkan RSNI 201x.....	35
Tabel 2.11	Kategori risiko bangunan gedung dan struktur lainnya untuk beban gempa berdasarkan RSNI 201x .....	37
Tabel 2.12	Faktor keutamaan gempa berdasarkan RSNI 201x.....	38
Tabel 2.13	Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek berdasarkan RSNI 201x.....	38
Tabel 2.14	Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik berdasarkan RSNI 201x.....	39
Tabel 2.15	Klasifikasi situs berdasarkan RSNI 201x.....	40
Tabel 2.16	Koefisien situs, $F_\alpha$ berdasarkan RSNI 201x.....	42
Tabel 2.17	Koefisien situs, $F_\gamma$ berdasarkan RSNI 201x.....	42

Tabel 2.18	Tebal Minimum Balok Non-Prategang atau Pelat Satu Arah Bila Lendutan Tidak Dihitung .....	45
Tabel 3.1	<i>Model Participating Mass Ratio</i> .....	100
Tabel 3.2	<i>Center Mass Rigidity</i> .....	101
Tabel 3.3	Berat Struktur .....	102
Tabel 3.4	<i>Response Spectrum Base Reaction</i> .....	107
Tabel 3.5	<i>Point Displacement</i> .....	110
Tabel 3.6	Kinerja Batas Layan Arah x .....	111
Tabel 3.7	Kinerja Batas Layan Arah y .....	111
Tabel 3.8	Kinerja Batas Ultimit Arah x .....	112
Tabel 3.9	Kinerja Batas Ultimit Arah y .....	112
Tabel 3.10	<i>Response Spectrum Base Reaction</i> .....	118
Tabel 3.11	<i>Point Displacement</i> .....	121
Tabel 3.12	Kinerja Batas Layan Arah x .....	121
Tabel 3.13	Kinerja Batas Layan Arah y .....	122
Tabel 3.14	Kinerja Batas Ultimit Arah x .....	122
Tabel 3.15	Kinerja Batas Ultimit Arah y .....	123
Tabel 3.16	Hasil Perhitungan Tulangan Lentur Balok Beton Bertulang .....	187
Tabel 3.17	Hasil Perhitungan Tulangan Geser Balok Beton Bertulang.....	187
Tabel 3.18	Hasil Perhitungan Tulangan Torsi Balok Beton Bertulang.....	187
Tabel 3.19	Gambar Penulangan Balok Gedung A .....	188
Tabel 3.20	Gambar Penulangan Balok Gedung B .....	188
Tabel 3.21	Hasil Perhitungan Tulangan Lentur dan Geser Kolom .....	253
Tabel 3.22	Gambar Detail Penulangan Kolom Beton Bertulang .....	253
Tabel 3.23	Waktu Getar Alami .....	253
Tabel 3.24	Gaya Geser Dasar .....	254
Tabel 3.25	Peralihan ( <i>Displacement</i> ) Arah x .....	254
Tabel 3.26	Peralihan ( <i>Displacement</i> ) Arah y .....	254
Tabel 3.27	<i>Drift <math>\Delta_s</math> antar tingkat</i> Arah x .....	255
Tabel 3.28	<i>Drift <math>\Delta_s</math> antar tingkat</i> Arah y .....	255
Tabel 3.29	<i>Drift <math>\Delta_m</math> antar tingkat</i> Arah x.....	256
Tabel 3.30	<i>Drift <math>\Delta_m</math> antar tingkat</i> Arah y.....	256

Tabel 3.31 Tulangan Lentur Balok Beton Bertulang .....	257
Tabel 3.32 Tulangan Lentur Kolom Beton Bertulang.....	258

## DAFTAR NOTASI

- $a$  : Tinggi blok tegangan persegi ekuivalen
- $A_c$  : Luas beton pada penampang yang ditinjau
- $A_{cp}$  : Luas yang dibatasi oleh keliling luar penampang beton,  $\text{mm}^2$
- $A_l$  : Luas total tulangan longitudinal yang memikul puntir,  $\text{mm}^2$
- $A_m$  : Percepatan respons maksimum atau Faktor Respons Gempa Maksimum pada Spektrum Respons Gempa Rencana
- $A_o$  : Percepatan puncak muka tanah akibat pengaruh gempa rencana
- $A_{oh}$  : Luas daerah yang dibatasi oleh lintasan aliran geser,  $\text{mm}^2$
- $A_{ps}$  : Luas tulangan prategang dalam daerah tarik,  $\text{mm}^2$
- $A_s$  : Luas tulangan yang diperlukan,  $\text{mm}^2$
- $A_t$  : Luas satu kaki sengkang tertutup yang menahan puntir dalam daerah sejarak  $s$ ,  $\text{mm}^2$
- $A_{s\ min}$  : Luas tulangan minimum,  $\text{mm}^2$
- $A_{s\ max}$  : Luas tulangan maksimum,  $\text{mm}^2$
- $A_{st}$  : Luas total tulangan longitudinal,  $\text{mm}^2$
- $A_v$  : Luas tulangan,  $\text{mm}^2$
- $b_w$  : Lebar badan atau diameter penampang lingkaran, mm
- $c_l$  : Ukuran kolom persegi atau persegi ekuivalen, kepala kolom, atau konsol pendek diukur dalam arah tegak lurus terhadap bentang dimana momen dihitung, mm
- $C_a$  : Faktor Respons Gempa dinyatakan dalam percepatan gravitasi yang nilainya bergantung pada waktu getar alami struktur gedung dan kurvanya ditampilkan dalam Spektrum Respons Gempa Rencana.
- $C_c'$  : Gaya tekan pada beton
- $C_s'$  : Gaya pada tulangan tekan
- $C_v$  : Faktor Respons Gempa vertikal untuk mendapatkan beban gempa vertikal nominal statik ekuivalen pada unsur struktur gedung yang memiliki kepekaan yang tinggi terhadap beban gravitasi.
- $d$  : Tinggi efektif penampang, mm

- $DL$  : Beban mati, berat dari semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap
- $E_c$  : Modulus elastisitas beton, MPa
- $E_s$  : Modulus elastisitas baja, MPa
- $F_a$  : Faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek
- $f'_c$  : Kuat tekan beton yang disyaratkan, MPa
- $f_d$  : Tegangan akibat beban mati tak terfaktor, pada serat terluar penampang dimana tegangan tarik disebabkan oleh beban luar, MPa
- $f'_{ci}$  : Kuat tekan beton pada saat pemberian prategang awal, MPa
- $f_{pc}$  : Tegangan tekan beton rata-rata akibat gaya prategang efektif saja (sesudah memperhitungkan semua kehilangan prategang yang mungkin terjadi), MPa
- $f_{pe}$  : Tegangan tekan pada beton akibat gaya prategang efektif saja (setelah memperhitungkan semua kehilangan prategang) pada serat terluar penampang dimana tegangan tarik terjadi akibat beban luar, MPa
- $f_{ps}$  : Tegangan pada tulangan prategang disaat penampang mencapai kuat nominalnya, MPa
- $f_{pu}$  : Kuat tarik tendon prategang yang disyaratkan, MPa
- $f_{py}$  : Kuat leleh tendon prategang yang disyaratkan, MPa
- $F_v$  : Faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik
- $f_y$  : Kuat leleh tulangan yang disyaratkan, MPa
- $f_{ys}$  : Kuat leleh tulangan transversal yang disyaratkan, MPa
- $g$  : Percepatan gravitasi
- $h$  : Tebal total komponen struktur, mm
- $h_i$  : Ketinggian lantai tingkat ke- $i$ , diukur dari taraf penjepitan lateral
- $h_x$  : Spasi horizontal maksimum untuk kaki-kaki sengkang tertutup atau sengkang ikat pada semua muka kolom, mm
- $I$  : Faktor keutamaan gedung
- $LL$  : Beban hidup, semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung

- $L_n$  : Bentang bersih untuk momen positif atau geser dan rata-rata dari bentang-bentang bersih yang bersebelahan untuk momen negatif
- $M_{cr}$  : Momen yang menyebabkan terjadinya retak lentur pada penampang akibat beban luar
- $M_u$  : Momen terfaktor pada penampang, Nmm
- $M_n$  : Momen nominal penampang
- $n_{ti}$  : Jumlah tulangan yang dipakai, batang
- $p_{cp}$  : Keliling luar penampang beton, mm
- $p_h$  : Keliling dari garis pusat tulangan sengkang torsi terluar untuk tarik, N
- $P_u$  : Beban aksial terfaktor, N
- $P_{su}$  : Gaya tendon prategang pada ujung ankur, N
- $R$  : Faktor reduksi gempa
- $s$  : Jarak antar sengkang, mm
- $SDL$  : Beban mati tambahan
- $S_{DS}$  : Parameter percepatan spektrum respons desain pada periode pendek
- $S_{DI}$  : Parameter respons spektra percepatan desain pada periode 1 detik
- $S_{MS}$  : Parameter spektrum respons percepatan pada periode pendek
- $S_{MI}$  : Parameter spektrum respons percepatan pada periode 1 detik
- $S_s$  : Parameter respons spektral percepatan gempa  $MCE_R$  terpetakan pada periode pendek,  $T=0,2$  detik
- $S_I$  : Parameter respons spektral percepatan gempa  $MCE_R$  terpetakan pada periode 1 detik
- $T$  : Waktu getar alami struktur, detik
- $T_p$  : Gaya pada kabel prategang
- $T_n$  : Kuat momen puntir nominal, Nmm
- $T_s$  : Gaya pada tulangan tarik
- $T_u$  : Momen puntir terfaktor pada penampang, Nmm
- $V_c$  : Kuat geser nominal yang dipikul oleh beton, N
- $V_{ci}$  : Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton pada saat terjadinya keretakan diagonal akibat kombinasi momen dan geser, N

- $V_{cw}$  : Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton pada saat terjadinya keretakan diagonal akibat tegangan tarik utama yang berlebihan pada badan penampang, N
- $V_l$  : Gaya geser pada penampang akibat beban mati tidak terfaktor, N
- $V_p$  : Komponen vertikal gaya prategang efektif pada penampang, N
- $V_s$  : Gaya geser dasar nominal akibat beban gempa yang dipikul oleh suatu jenis subsistem struktur gedung tertentu di tingkat dasar.
- $V_{smax}$  : Gaya geser maksimum
- $V_u$  : Gaya geser terfaktor pada penampang, N
- $V_n$  : Kuat geser nominal, N
- $W$  : Berat total gedung, termasuk beban hidup yang sesuai
- $x$  : Jarak garis netral dari serat tekan terluar
- $\varepsilon_{pi}$  : Regangan awal kabel prategang
- $\emptyset$  : Diameter baja tulangan
- $\alpha$  : Rasio kekakuan lentur penampang balok bertahap kekakuan lentur penampang balok terhadap kekakuan lentur pelat dengan lebar yang dibatasi secara lateral oleh garis-garis sumbu tengah dari panel yang bersebelahan (bila ada) pada tiap sisi balok
- $\gamma_{beton}$  : Berat jenis beton
- $\Delta$  : Simpangan antarlantai tingkat desain
- $\Delta\varepsilon_p$  : Regangan kabel prategang akibat lentur
- $\Delta_m$  : Rasio antara simpangan maksimum struktur gedung akibat pengaruh gempa rencana pada saat mencapai kondisi di ambang keruntuhan
- $\theta$  : Sudut diagonal tekan pada penerapan analogi rangka untuk torsi
- $\xi$  : Koefisien yang membatasi waktu getar alami fundamental struktur gedung berdasarkan SNI 1726-2002
- $\rho$  : rasio tulangan tekan non-prategang
- $\rho_b$  : rasio tulangan yang memberikan kondisi regangan seimbang
- $\phi$  : Faktor reduksi kekuatan
- $\phi_s$  : Faktor reduksi kekuatan geser

## DAFTAR LAMPIRAN

Gambar L.1.1 Denah Lantai 1, 3, 5, 7, dan 9 .....	263
Gambar L.1.2 Denah Lantai 2, 4, 6, 8, dan 10 .....	263
Gambar L.1.3 Tampak Samping Struktur .....	264
Gambar L.1.4 Model 3D Bangunan .....	264
Gambar L.2.1 Wilayah Gempa Indonesia dengan Percepatan Puncak Batuan Dasar dengan Perioda Ulang 500 Tahun .....	266
Gambar L.3.1 Peta Respon Spektra Percepatan 0,2 detik ( $S_s$ ) di Batuan Dasar ( $S_B$ ) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 Tahun.....	268
Gambar L.3.2 Peta Respon Spektra Percepatan 1,0 detik ( $S_I$ ) di Batuan Dasar ( $S_B$ ) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 Tahun.....	269
Gambar L.4.1 Detail Penulangan Balok dan Kolom Gedung A .....	271
Gambar L.4.2 Detail Penulangan Balok dan Kolom Gedung B .....	272
Gambar L.4.3 Detail Penulangan Balok Prategang .....	273
Gambar L.5.1 <i>Strand and Tendon Properties</i> .....	275
Gambar L.5.2 <i>Type E Stressing Anchorage</i> .....	276
L 6.1 Verifikasi <i>Software</i> dengan Menggunakan <i>Unit Load</i> .....	278
Gambar L.6.1 Portal Perletakan Sendi-Sendi .....	278
Gambar L.6.2 Portal Akibat Beban Luar .....	278
Gambar L.6.3 Portal Akibat Beban F sebesar 1 satuan .....	279
Gambar L.6.4 Reaksi Perletakan Hasil <i>ETABS</i> .....	281