

# **DESAIN BALOK *SKYBRIDGE* PENGHUBUNG DUA GEDUNG DENGAN BETON PRATEGANG DAN BETON KONVENSIONAL**

**LYDIA CHRISTIANIE**

**NRP : 1021042**

**Pembimbing : Dr. YOSAFAT AJI PRANATA, S.T., M.T.**

## **ABSTRAK**

Dalam perencanaan bangunan tingkat tinggi diperlukan perhatian yang sangat teliti terhadap beban gempa, terutama di Indonesia yang termasuk ke dalam wilayah dengan intensitas gempa yang cukup tinggi. Untuk dua bangunan tinggi yang memiliki jembatan penghubung, perlu diperhatikan mengenai deformasinya agar jembatan tersebut tidak patah.

Tujuan penulisan Tugas Akhir ini adalah melakukan analisis struktur bangunan dua gedung yang memiliki jumlah lantai yang berbeda yang dihubungkan oleh jembatan penghubung, mendesain dimensi penampang balok beton prategang dan beton bertulang jembatan penghubung agar kuat terhadap gaya-gaya yang timbul dari beban gravitasi dan beban gempa, serta membandingkan hasil analisis perhitungan beton prategang dengan beton bertulang dengan menggunakan Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung SNI-1726-2002. Ruang lingkup penelitian Tugas Akhir ini adalah gedung yang ditinjau merupakan dua gedung dengan tinggi bangunan yang berbeda dan memiliki *skybridge*, didesain untuk wilayah gempa 3 dengan jenis tanah sedang, materi balok *skybridge* adalah beton bertulang dan beton prategang, peraturan beton yang digunakan adalah SNI-2847-2002, peraturan gempa yang digunakan adalah SNI-03-1726-2002, peraturan pembebanan yang digunakan adalah PBI 87, sistem struktur yang digunakan adalah SRPMM, dan perangkat lunak yang digunakan adalah ETABS.

Dari model gedung yang dibuat terpisah dan yang digabungkan, gaya – gaya yang dihasilkannya dibandingkan, dan gedung yang paling konservatif kemudian didesain agar menghasilkan desain yang lebih aman. Pada balok *skybridge* beton bertulang dan beton prategang digunakan dimensi yang berbeda. Dengan dimensi yang sama dengan balok beton bertulang, balok beton prategang menghasilkan kapasitas yang sangat besar, sehingga dimensinya diperkecil agar tidak boros dan berat betonnya lebih ringan dibandingkan dengan beton bertulang. Beton prategang juga memiliki kelebihan dalam menahan gaya tarik yang lebih baik daripada beton bertulang, karena diberi tegangan awal tekan beton pada lokasi di mana nantinya akan timbul tegangan tarik pada waktu komponen mendukung beban.

**Kata kunci** : Gempa, Beton prategang, Beton bertulang, SNI-2847-2002, SNI-1726-2002

# ***DESIGN OF SKYBRIDGE BEAM WITH PRESTRESSED CONCRETE AND CONVENTIONAL CONCRETE WHICH CONNECT TWO BUILDINGS***

**LYDIA CHRISTIANIE**

**NRP : 1021042**

**Preceptor : Dr. YOSAFAT AJI PRANATA, S.T., M.T.**

## ***ABSTRACT***

*In planning the building required a high degree of meticulous attention to earthquake loads, especially in Indonesia, which belong to the region with a high enough intensity quake. For the two high-rise buildings that have a bridge, we have to observe the deformation of the bridge in order to the bridge not broken.*

*The purpose of this final project is to analyze the structure of the two building that have a different number of floors and connected by a bridge, design prestressed concrete and reinforced concrete beam section dimensions of the bridge to be strong against the forces arising from gravity loads and earthquake loads, and to compare the results of the analysis of prestressed concrete calculations with reinforced concrete using the Standard Planning for Earthquake Resistance of Building Structures ISO-1726-2002. The scope of this final study are two high rise building which have different heights and have skybridge, designed for seismic zone 3 and medium type soil, skybridge beam material is reinforced concrete and prestressed concrete, concrete rules is used SNI-2847-2002, earthquake regulations is used SNI-03-1726-2002, rules of load is used PBI 87, structure system used SRPMM, and used software ETABS.*

*Of the model building is made separately and combined, the results of the forces should be compared, and the most conservative building designed to produce a safer design. For skybridge reinforced concrete and prestressed*

*concrete beam used different dimensions. With the same dimensions with reinforced concrete beams, prestressed concrete beams produce a very large capacity, so its dimensions reduced to not wasteful and lighter weight compared to concrete reinforced concrete. Prestressed concrete has advantages in retaining better tensile strength than reinforced concrete, because it's gave initial stress of concrete in the location which tensile stress will arise at the time the component support the load.*

**Keywords :** *Earthquake, Prestressed Concrete, Reinforced Concrete, SNI-2847-2002, SNI-1726-2002*

## 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>
<b><i>Abstract</i> .....</b>	<b>xi</b>
<b>Daftar Isi .....</b>	<b>xiii</b>
<b>Daftar Gambar .....</b>	<b>xvii</b>
<b>Daftar Tabel.....</b>	<b>xxii</b>
<b>Daftar Notasi.....</b>	<b>xxv</b>
<b>Daftar Lampiran.....</b>	<b>xxx</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 .....	4
<b>BAB II TINJAUAN LITERATUR.....</b>	<b>6</b>
2.1 Beton .....	6
2.1.1 Material Beton .....	8
2.1.2 Beton Konvensional (Beton Bertulang).....	8
2.1.3 Beton Prategang.....	9
2.1.3.1 Pemberian Tegangan Awal pada Prategang .....	11
2.1.3.2 Konsep Dasar Prategang.....	14
2.2 Bangunan Tahan Gempa .....	16

2.3	Beban .....	18
2.3.1	Beban Gravitasi.....	18
2.3.1.1	Beban Hidup .....	19
2.3.1.2	Beban Mati.....	20
2.3.2	Beban Gempa .....	21
2.4	Peraturan Beton SNI 2847-2002.....	22
2.4.1	Pelindung Beton Untuk Tulangan.....	22
2.4.2	Ketentuan Mengenai Kekuatan dan Kemampuan Layan .....	23
2.4.2.1	Kuat Perlu .....	23
2.4.2.2	Kuat Rencana.....	23
2.4.3	Tulangan Minimum pada Komponen Struktur Lentur .....	24
2.4.4	Geser dan Puntir.....	25
2.4.4.1	Kuat Geser .....	25
2.4.4.2	Kuat Geser yang Disumbangkan Beton pada.....	25
	Komponen Struktur Prategang	
2.4.4.3	Kuat Geser yang Disumbangkan Oleh Tulangan Geser ....	25
2.4.4.4	Pengaruh Untuk Puntir .....	27
2.4.5	Ketentuan Khusus untuk Perencanaan Gempa .....	28
2.4.6	Komponen Struktur Lentur pada Sistem Rangka Pemikul .....	31
	Momen Khusus (SRPMM)	
2.4.6.1	Ketentuan – Ketentuan Umum untuk SRPMM .....	31
2.4.6.2	Persyaratan <i>Detailing</i> Komponen Lentur SRPMM.....	32
2.4.6.3	Persyaratan <i>Detailing</i> Komponen Kolom dan Join .....	32
	SRPMM	
2.4.7	Beton Prategang.....	33
2.4.7.1	Umum .....	33
2.4.7.2	Asumsi perencanaan .....	34
2.4.7.3	Tegangan izin beton untuk komponen struktur.....	34
	lentur	
2.4.7.4	Tegangan izin tendon prategang .....	35
2.4.7.5	Kuat lentur.....	36
2.4.7.6	Batasan tulangan pada komponen struktur lentur .....	38

2.4.7.7	Tulangan non-prategang minimum .....	39
2.4.7.8	Struktur statis tak-tentu.....	40
2.4.7.9	Komponen struktur tekan – kombinasi gaya..... lentur dan aksial	41
2.4.7.10	Daerah pengankuran tendon pasca tarik .....	43
2.4.7.11	Perencanaan daerah pengankuran untuk <i>strand</i> .....	46
	tunggal atau batang tunggal diameter 16 mm	
2.4.7.12	Perencanaan daerah pengankuran untuk tendon .....	47
	<i>strand</i> majemuk	
2.4.7.13	Selongsong untuk sistem pasca tarik .....	48
2.4.7.14	Grout untuk tendon prategang dengan lekatan.....	48
2.4.7.15	Perlindungan untuk tendon prategang .....	49
2.4.7.16	Pemberian dan pengankuran gaya prategang .....	49
2.4.7.17	Angkur dan penyambung ( <i>coupler</i> ) pada .....	50
	sistem pasca-tarik	
2.4.7.18	Sistem pasca tarik luar .....	50
2.5	Peraturan Gempa SNI 03-1726-2002.....	56
2.5.1	Faktor Keutamaan.....	56
2.5.2	Struktur Gedung Beraturan dan Tidak Beraturan .....	56
2.5.3	Wilayah Gempa dan Spektrum Respons.....	58
2.5.4	Pembatasan Waktu Getar Alami Fundamental.....	61
2.5.5	Analisis Dinamik Respons Spektrum .....	64
2.5.6	Kinerja Struktur Gedung .....	65
2.5.6.1	Kinerja batas layan .....	65
2.5.6.2	Kinerja batas ultimit .....	66
2.6	<i>Corbels</i> .....	66
2.7	Jembatan.....	71
2.8	Perangkat Lunak ETABS .....	71
<b>BAB III STUDI KASUS DAN PEMBAHASAN.....</b>		<b>72</b>
3.1	Data Struktur Bangunan .....	72
3.1.1	Gambar Bangunan .....	72

3.1.2	Data Struktur.....	74
3.1.3	Data Material .....	75
3.2	Pemodelan Gedung .....	76
3.3	Analisis .....	77
3.3.1	Analisis Dinamik Respons Spektrum .....	77
3.3.1.1	Arah Utama dan Faktor Skala .....	85
3.3.1.2	Pembahasan Hasil Analisis Dinamik Respons.....	89
	Spektrum	
3.3.2	Desain Komponen Struktur Lentur SRPMM .....	105
3.3.3	Desain Komponen Struktur Kolom SRPMM.....	133
3.3.4	Balok <i>Skybridge</i> .....	142
3.3.4.1	Desain Komponen Struktur Lentur .....	142
	SRPMM (Balok <i>Skybridge</i> )	
3.3.4.2	Desain Balok Prategang (Balok <i>Skybridge</i> ).....	162
3.3.4.3	Desain <i>Corbel</i> .....	187
3.4	Pembahasan Hasil Analisis.....	195
3.4.1	Waktu Getar Alami.....	195
3.4.2	Peralihan dan <i>Drift</i> .....	196
3.4.3	Gaya yang Dihasilkan .....	202
3.4.4	Penulangan Balok dan Kolom Beton Bertulang.....	204
3.4.5	Balok <i>Skybridge</i> .....	204
3.4.6	Pembahasan Balok <i>Skybridge</i> Beton Bertulang dan Balok .....	205
	<i>Skybridge</i> Prategang	
3.4.7	<i>Corbel</i> .....	207
	<b>BAB IV KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>208</b>
4.1	Kesimpulan .....	208
4.2	Saran .....	209
	<b>Daftar Pustaka .....</b>	<b>210</b>
	<b>Lampiran.....</b>	<b>211</b>



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Proses pembuatan beton prategang pratarik [Nawy, 2000] ....	12
Gambar 2.2	Proses pembuatan beton prategang pascatarik [Nawy, 2000].	13
Gambar 2.3	Gaya lintang rencana untuk SRPMM [SNI 2847-2002].....	31
Gambar 2.4	Skema penampang [SNI 2847-2002].....	34
Gambar 2.5	Skema penampang dalam keadaan lentur batas ..... [SNI2847-2002]	37
Gambar 2.6	Pengaruh dari perubahan potongan penampang ..... [SNI 2847-2002]	43
Gambar 2.7	Daerah angkur [SNI 2847-2002].....	44
Gambar 2.8	Contoh model penunjang dan pengikat [SNI 2847-2002] .....	45
Gambar 2.9	Bagan alir pemeriksaan tegangan prategang .....	52
Gambar 2.10	Bagan alir untuk analisis lentur prategang .....	53
Gambar 2.11	Bagan alir untuk analisis geser dan puntir prategang .....	54
Gambar 2.12	Wilayah gempa Indonesia dengan percepatan puncak ..... batuan dasar dengan periode ulang 500 tahun [SNI-03-1726-2002]	59
Gambar 2.13	Respons spektrum gempa rencana [SNI-03-1726-2002].....	60
Gambar 2.14	Geometri <i>corbels</i> [Ray S.S., 1995].....	67
Gambar 2.15	Geometri <i>corbels</i> alternatif [Ray S.S., 1995].....	68
Gambar 2.16	Diagram regangan dari <i>corbel</i> beton bertulang ..... [Ray S.S., 1995]	68
Gambar 2.17	Penulangan dalam corbel [Ray S.S., 1995].....	69
Gambar 2.18	Tegangan pada bantalan [Ray S.S., 1995] .....	70
Gambar 2.19	Contoh gambar gedung dengan <i>skybridge</i> ..... (a) [ <a href="http://www.westernmechanical.net">www.westernmechanical.net</a> ] (b) [ <a href="http://sohopancoranjakarta.blogspot.com">sohopancoranjakarta.blogspot.com</a> ]	71
Gambar 3.1	Tampak depan bangunan (3D) .....	72
Gambar 3.2	Tampak belakang bangunan (3D).....	73
Gambar 3.3	Tampak samping bangunan.....	73
Gambar 3.4	Denah bangunan lantai 3 – 15 (mm).....	74

Gambar 3.5	Denah bangunan pada lantai yang terdapat <i>skybridge</i> (mm) ..	74
Gambar 3.6	(a) Gedung A (b) Gedung B .....	76
Gambar 3.7	(a) Gedung D (b) Gedung C .....	77
Gambar 3.8	Mendefinisikan <i>Response Spectrum Function</i> .....	83
Gambar 3.9	Tampilan <i>Response Spectrum Function</i> .....	83
Gambar 3.10	Tampilan <i>Response Spectrum Cases</i> .....	84
Gambar 3.11	<i>Special Seismic Load Effects</i> .....	84
Gambar 3.12	<i>Input</i> nilai eksentrisitas .....	86
Gambar 3.13	Tampilan <i>Response Spectrum Cases</i> .....	87
Gambar 3.14	Tampilan <i>Response Spectrum Cases</i> dengan nilai $\alpha$ untuk..... <i>Vdx</i> dan <i>Vdy</i> saling mendekati	88
Gambar 3.15	Hasil <i>Response Spectrum Cases</i> .....	88
Gambar 3.16	Tampilan <i>Point</i> yang ditinjau .....	89
Gambar 3.17	Balok yang ditinjau (tampak samping) .....	105
Gambar 3.18	Balok yang ditinjau pada lantai 1 (tampak atas).....	106
Gambar 3.19	Diagram momen balok dengan nilai momen negatif terbesar.	107
Gambar 3.20	Diagram momen balok dengan nilai momen positif terbesar .	108
Gambar 3.21	Diagram momen balok dengan nilai momen pada tengah ..... bentang	108
Gambar 3.22	Hasil ETABS <i>longitudinal reinforcing</i> .....	122
Gambar 3.23	Diagram gaya geser dengan nilai reaksi geser di ujung kiri ... (gambar kiri) dan kanan balok (gambar kanan)	124
Gambar 3.24	Diagram geser pada balok yang ditinjau akibat .....	125
	pengaruh beban gempa $2E$	
Gambar 3.25	Diagram torsi balok yang ditinjau .....	130
Gambar 3.26	Hasil ETABS <i>shear reinforcing</i> balok yang ditinjau.....	132
Gambar 3.27	Gambar penulangan balok.....	133
Gambar 3.28	Sketsa posisi kolom yang ditinjau .....	133
Gambar 3.29	Diagram interaksi kolom (hasil perhitungan dengan .....	135
	menggunakan PCA COL)	
Gambar 3.30	Diagram gaya aksial terkecil .....	139
Gambar 3.31	Hasil ETABS <i>longitudinal reinforcing</i> kolom yang ditinjau ..	140

Gambar 3.32	Hasil ETABS <i>shear reinforcing</i> kolom yang ditinjau .....	140
Gambar 3.33	Gambar penulangan kolom .....	141
Gambar 3.34	Tampak samping gedung dengan balok <i>skybridge</i> .....	142
Gambar 3.35	Sketsa posisi balok <i>skybridge</i> yang ditinjau.....	142
Gambar 3.36	Diagram momen balok dengan nilai momen negatif terbesar.	143
Gambar 3.37	Hasil ETABS <i>longitudinal reinforcing</i> balok <i>skybridge</i> .....	152
	yang ditinjau	
Gambar 3.38	Diaram gaya geser dengan nilai reaksi geser di ujung kiri .....	153
	(a) dan kanan balok (b)	
Gambar 3.39	Diagram geser pada balok yang ditinjau akibat pengaruh .....	155
	beban gempa $2E$	
Gambar 3.40	Diagram torsi balok <i>skybridge</i> .....	159
Gambar 3.41	Hasil ETABS <i>shear reinforcing</i> balok <i>skybridge</i> yang .....	161
	ditinjau	
Gambar 3.42	Gambar penulangan balok <i>skybridge</i> (beton bertulang) .....	162
Gambar 3.43	Diagram momen maksimum beton prategang (kgm) .....	166
Gambar 3.44	Diagram geser dan momen pada jarak $x_1 = 0,1$ m.....	176
Gambar 3.45	Diagram geser dan momen pada jarak $x_2 = 0,46$ m.....	177
Gambar 3.46	Diagram geser dan momen pada jarak $x_3 = 0,635$ m .....	177
Gambar 3.47	Diagram gaya geser maksimum .....	179
Gambar 3.48	Diagram <i>torsion</i> maksimum.....	179
Gambar 3.49	Dimensi penampang yang menghasilkan $A_{cp}$ dan $p_{cp}$ .....	181
Gambar 3.50	Penulangan beton prategang (a) melintang dan.....	186
	(b) memanjang	
Gambar 3.51	Grafik untuk menentukan nilai $z/d$ .....	190
Gambar 3.52	<i>Corbel</i> dan diagram regangan .....	193
Gambar 3.53	Desain <i>corbel</i> .....	195
Gambar L 1	Spesifikasi <i>Stressing Anchorage VSL Type E</i> .....	212
Gambar L 2	Brosur <i>Lift</i> untuk pembebanan .....	214
Gambar L 3	Grafik hubungan $d$ dan $\rho$ untuk $f_{cu} \geq 40$ N/mm <sup>2</sup> .....	216
Gambar L 4	Grafik hubungan $v/f_{cu}$ dan $a_w/d$ .....	218
Gambar L 7.1	Tampilan <i>New Model Initialization</i> .....	236

Gambar L 7.2	Memilih tipe garis bantu ( <i>grid</i> ) .....	237
Gambar L 7.3	<i>Input grid</i> manual .....	237
Gambar L 7.4	Tampilan <i>grid</i> .....	238
Gambar L 7.5	Definisi material .....	238
Gambar L 7.6	<i>Input</i> data material beton.....	239
Gambar L 7.7	Definisi jenis balok dan kolom.....	239
Gambar L 7.8	<i>Input</i> dimensi balok (mm) .....	240
Gambar L 7.9	<i>Input</i> selimut beton balok (mm) .....	240
Gambar L 7.10	<i>Input</i> faktor reduksi balok .....	240
Gambar L 7.11	<i>Input</i> dimensi kolom (mm).....	241
Gambar L 7.12	<i>Input</i> selimut beton kolom (mm) .....	241
Gambar L 7.13	Mendefinisikan dimensi pelat dan <i>shearwall</i> .....	242
Gambar L 7.14	(a) <i>Input</i> dimensi pelat basement (b) <i>Input</i> dimensi pelat..... lantai (c) <i>Input</i> dimensi dinding geser ( <i>shearwall</i> ) (mm)	242
Gambar L 7.15	Model struktur gedung tiga dimensi .....	243
Gambar L 7.16	Denah lantai <i>basement 2</i> – lantai 2 .....	243
Gambar L 7.17	Denah lantai 3 – 15 .....	244
Gambar L 7.18	Denah lantai 5, 10, dan 15 .....	244
Gambar L 7.19	Denah lantai 16 – 20 .....	245
Gambar L 7.20	(a) Gedung A (b) Gedung B .....	245
Gambar L 7.21	(a) Gedung D (b) Gedung C .....	246
Gambar L 7.22	<i>Input</i> perletakan .....	246
Gambar L 7.23	<i>Input Diaphragm</i> .....	247
Gambar L 7.24	<i>Diaphragm</i> lantai <i>basement</i> – lantai 2 .....	247
Gambar L 7.25	<i>Diaphragm</i> lantai 3 – lantai 15 .....	247
Gambar L 7.26	<i>Diaphragm</i> lantai 5, 10, dan 15 .....	248
Gambar L 7.27	Mendefinisikan <i>Static Load Cases</i> .....	248
Gambar L 7.28	<i>Input</i> beban pada pelat hotel dan <i>apartment</i> (kg/m) .....	252
Gambar L 7.29	<i>Input</i> beban titik pada balok (kg).....	252
Gambar L 7.30	<i>Input</i> beban merata pada balok (kg/m) .....	253
Gambar L 7.31	<i>Input</i> beban titik pada balok/ beban tangga (kg) .....	253
Gambar L 7.32	Mendefinisikan kombinasi pembebanan.....	254

Gambar L 7.33 <i>Input</i> kombinasi pembebanan.....	254
Gambar L 7.34 <i>Input Mass Source</i> .....	254

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Beban hidup pada lantai gedung [Peraturan Pembebanan ..... 19 Indonesia, 1987]	19
Tabel 2.2	Koefisien reduksi beban beban hidup [Peraturan ..... 20 Pembebanan Indonesia, 1987]	20
Tabel 2.3	Berat sendiri bahan bangunan dan komponen gedung ..... 21 [Peraturan Pembebanan Indonesia, 1987]	21
Tabel 2.4	Tebal selimut beton minimum beton bertulang ..... 22 [SNI 2847-2002]	22
Tabel 2.5	Tebal selimut beton minimum beton prategang ..... 23 [SNI2847-2002]	23
Tabel 2.6	Faktor keutamaan I untuk berbagai kategori gedung dan ..... 56 bangunan [SNI-03-1726-2002]	56
Tabel 2.7	Percepatan puncak batuan dasar dan percepatan puncak ..... 58 muka tanah untuk masing – masing wilayah gempa Indonesia [SNI-03-1726-2002]	58
Tabel 2.8	Spektrum respons gempa rencana [SNI-03-1726-2002]..... 60	60
Tabel 2.9	Koefisien $\zeta$ yang membatasi waktu getar alami ..... 61 fundamental struktur gedung [SNI-03-1726-2002]	61
Tabel 2.10	Faktor daktilitas maksimum, faktor reduksi gempa ..... 62 maksimum, faktor tahanan lebih struktur dan faktor tahanan lebih total beberapa jenis sistem dan subsistem struktur gedung [SNI-03-1726-2002]	62
Tabel 3.1	<i>Modal Participating Mass Ratio</i> (Gedung D <sub>1</sub> )..... 77	77
Tabel 3.2	<i>Center Mass Rigidity</i> ..... 80	80
Tabel 3.3	Berat struktur ..... 81	81
Tabel 3.4	<i>Point Displacement</i> (Gedung B)..... 89	89
Tabel 3.5	<i>Point Displacement</i> (Gedung A) ..... 90	90
Tabel 3.6	Kinerja batas layan <i>Point 43</i> ..... 91	91
Tabel 3.7	Kinerja batas layan <i>Point 76</i> ..... 92	92
Tabel 3.8	Kinerja batas layan <i>Point 141</i> ..... 93	93

Tabel 3.9	Kinerja batas layan <i>Point</i> 147.....	93
Tabel 3.10	Kinerja batas ultimit <i>Point</i> 43.....	94
Tabel 3.11	Kinerja batas ultimit <i>Point</i> 76.....	95
Tabel 3.12	Kinerja batas ultimit <i>Point</i> 141.....	96
Tabel 3.13	Kinerja batas ultimit <i>Point</i> 147.....	96
Tabel 3.14	<i>Point Displacement</i> (Gedung B).....	97
Tabel 3.15	<i>Point Displacement</i> (Gedung A) .....	98
Tabel 3.16	Kinerja batas layan <i>Point</i> 43 .....	99
Tabel 3.17	Kinerja batas layan <i>Point</i> 76 .....	100
Tabel 3.18	Kinerja batas layan <i>Point</i> 141.....	101
Tabel 3.19	Kinerja batas layan <i>Point</i> 147.....	101
Tabel 3.20	Kinerja batas ultimit <i>Point</i> 43.....	102
Tabel 3.21	Kinerja batas ultimit <i>Point</i> 76.....	103
Tabel 3.22	Kinerja batas ultimit <i>Point</i> 141.....	104
Tabel 3.23	Kinerja batas ultimit <i>Point</i> 147.....	104
Tabel 3.24	Tabel momen negatif balok yang ditinjau.....	106
Tabel 3.25	Tabel gaya geser balok yang ditinjau.....	106
Tabel 3.26	Momen – momen pada balok yang ditinjau akibat..... beban gravitasi dan beban gempa (COMB3)	107
Tabel 3.27	Penulangan dan kapasitas momen penampang kritis balok ....	122
Tabel 3.28	Gaya – gaya dalam terfaktor pada kolom yang ditinjau .....	133
Tabel 3.29	Tabel momen negatif balok yang ditinjau.....	142
Tabel 3.30	Tabel gaya geser balok yang ditinjau.....	142
Tabel 3.31	Waktu getar gedung .....	195
Tabel 3.32	Kinerja batas layan (dengan <i>skybridge</i> beton bertulang / $D_1$ ).	195
Tabel 3.33	Kinerja batas layan (dengan <i>skybridge</i> beton prategang / $D_2$ )	197
Tabel 3.34	Kinerja batas ultimit (dengan <i>skybridge</i> beton bertulang ..... / $D_1$ )	198
Tabel 3.35	Kinerja batas ultimit (dengan <i>skybridge</i> beton prategang..... / $D_2$ )	199
Tabel 3.36	Perbandingan <i>drift</i> $\Delta s$ antar gedung <i>point</i> 43 .....	200
Tabel 3.37	Perbandingan <i>drift</i> $\Delta s$ antar gedung <i>point</i> 141 .....	200

Tabel 3.38	Perbandingan <i>drift</i> $\Delta m$ antar gedung <i>point</i> 43.....	201
Tabel 3.39	Perbandingan <i>drift</i> $\Delta m$ antar gedung <i>point</i> 141.....	202
Tabel 3.40	Tabel momen balok yang ditinjau .....	203
Tabel 3.41	Tabel gaya geser balok yang ditinjau.....	203
Tabel 3.42	Tabel gaya aksial dan geser kolom yang ditinjau .....	204
Tabel 3.43	Hasil penulangan balok .....	204
Tabel 3.44	Hasil penulangan kolom.....	204
Tabel 3.45	Hasil penulangan balok <i>skybridge</i> beton bertulang .....	205
Tabel 3.46	Perbandingan volume dan berat balok <i>skybridge</i> beton .....	206
	bertulang	
Tabel 3.47	Tulangan balok <i>skybridge</i> beton bertulang dan beton .....	206
	prategang	
Tabel 3.48	Momen pada balok.....	207
Tabel L 5.1	<i>Support Reaction</i> pada <i>Shearwall</i> (kg) .....	220
Tabel L 5.2	<i>Support Reaction</i> pada kolom (kg) .....	220
Tabel L 8.1	Perhitungan eksentrisitas arah x .....	256
Tabel L 8.2	Perhitungan eksentrisitas arah y .....	257



## DAFTAR NOTASI

$A_m$	Percepatan respons maksimum atau Faktor Respons Gempa maksimum pada Spektrum Respons Gempa Rencana.
$A_o$	Percepatan puncak muka tanah akibat pengaruh Gempa Rencana yang bergantung pada Wilayah Gempa dan jenis tanah tempat struktur gedung berada.
$A_{oh}$	Luas daerah yang dibatasi oleh lintasan aliran geser, $\text{mm}^2$
$A_{ps}$	Luas tulangan prategang di daerah tarik
$A_s$	Luas tulangan tarik non-prategang, $\text{mm}^2$
$A_{sh}$	Luas tulangan geser untuk menahan geser pada konsol
$A_{s,min}$	Luas minimum tulangan lentur, $\text{mm}^2$
$A_{s,max}$	Luas tulangan maksimum yang diperlukan
$A_{st}$	Luas total tulangan longitudinal (batang tulangan atau baja profil), $\text{mm}^2$
$A_{tr}$	Luas penampang total tulangan transversal dalam jarak $s$
$A_v$	Luas tulangan, $\text{mm}^2$
$a_v$	Jarak dari tengah beban ke muka kolom dari <i>corbels</i>
$b$	Lebar muka tekan komponen struktur, mm
$b_w$	Lebar badan, mm
$C$	Faktor Respons Gempa dinyatakan dalam percepatan gravitasi yang nilainya bergantung pada waktu getar alami struktur gedung dan kurvanya ditampilkan dalam Spektrum Respons Gempa Rencana.
$C_a$	Faktor Respons Gempa dinyatakan dalam percepatan gravitasi yang nilainya bergantung pada waktu getar alami struktur gedung dan kurvanya ditampilkan dalam Spektrum Respons Gempa Rencana.
$c_b$	Jarak garis berat penampang ke tepi bawah
$c_t$	Jarak garis berat penampang ke tepi atas
$C_v$	Faktor Respons Gempa vertikal untuk mendapatkan beban gempa vertical nominal statik ekuivalen pada unsur struktur gedung yang memiliki kepekaan yang tinggi terhadap beban gravitasi.

$C_1$	Nilai Faktor Respons Gempa yang didapat dari Spektrum Respons Gempa Rencana untuk waktu getar alami fundamental dari struktur gedung.
$d$	Jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tarik, mm
$d_c$	Tebal selimut beton diukur dari serat tarik terluar ke pusat batang tulangan atau kawat yang terdekat, mm
$DL$	Beban mati, berat bagian gedung yang bersifat tetap
$d_t$	Jarak dari serat tekan terluar ke baja tarik terjauh, mm
$e$	Eksentrisitas teoretis antara pusat massa dan pusat rotasi lantai tingkat struktur gedung; dalam subskrip menunjukkan kondisi elastik penuh.
$E_c$	Modulus elastisitas beton
$E_s$	Modulus elastisitas baja (= 200 GPa)
$f$	Faktor kuat lebih total yang terkandung di dalam struktur gedung secara keseluruhan, rasio antara beban gempa maksimum akibat pengaruh Gempa Rencana yang dapat diserap oleh struktur gedung pada saat mencapai kondisi di ambang keruntuhan dan beban gempa nominal. struktur gedung pada saat mencapai kondisi di ambang keruntuhan dan beban gempa pada saat terjadinya pelelehan pertama.
$f_b$	Tegangan pada tepi serat bawah beton prategang
$F_{bt}$	Gaya tarik tulangan pada awal lengkung
$f'_c$	Kuat tekan beton yang disyaratkan, MPa
$f_{ci}$	Kuat tekan beton pada saat pemberian prategang awal, MPa
$f_{cr}$	Kuat tekan beton rata – rata yang akan digunakan sebagai dasar untuk penentuan proporsi beton, MPa
$f_{cu}$	Karakteristik kekuatan kubus beton pada waktu 28 hari
$f_{pe}$	Tegangan tekan pada beton akibat gaya prategang efektif saja, MPa
$f_{ps}$	Tegangan pada tulangan prategang pada saat penampang mencapai kuat nominalnya, MPa
$f_{pu}$	Kuat tarik tendon prategang yang disyaratkan, MPa
$f_{py}$	Kuat leleh tendon prategang yang disyaratkan
$f_t$	Tegangan pada tepi serat atas beton prategang
$F_t$	Gaya tarik baja

$f_y$	Kuat leleh tulangan non-prategang yang disyaratkan, MPa
$g$	Percepatan gravitasi; dalam subskrip menunjukkan momen yang bersifat momen guling.
$h_i$	Tinggi lantai gedung ke- $i$
$I$	Faktor Keutamaan gedung, faktor pengali dari pengaruh Gempa Rencana pada berbagai kategori gedung, untuk menyesuaikan perioda ulang gempa yang berkaitan dengan penyesuaian probabilitas dilampauinya pengaruh tersebut selama umur gedung itu dan penyesuaian umur gedung itu.
$I_1$	Faktor Keutamaan gedung untuk menyesuaikan perioda ulang gempa yang berkaitan dengan penyesuaian probabilitas terjadinya gempa itu selama umur gedung.
$I_2$	Faktor Keutamaan gedung untuk menyesuaikan perioda ulang gempa yang berkaitan dengan penyesuaian umur gedung.
$LL$	Beban hidup (terjadi akibat penggunaan suatu bangunan)
$l_n$	Bentang bersih untuk momen positif atau geser dan rata-rata dari bentang bersih yang bersebelahan untuk momen negatif.
$l_o$	Panjang minimum dari muka join sepanjang sumbu komponen struktur
$M_{cr}$	Momen retak
$M_n$	Momen nominal suatu penampang unsur struktur gedung
$M_u$	Momen terfaktor pada penampang
$n$	Nomor lantai tingkat paling atas (lantai puncak); jumlah lantai tingkat struktur gedung; dalam subskrip menunjukkan besaran nominal.
$N_u$	Beban aksial terfaktor yang tegak lurus penampang yang terjadi dengan $V_u$ .
$p_{cp}$	Keliling luar penampang beton, mm
$P_e$	Tegangan prategang setelah kehilangan gaya prategang
$p_h$	Keliling dari garis pusat tulangan sengkang torsi terluar untuk tarik
$P_i$	Tegangan prategang awal
$P_{su}$	Gaya tendon prategang pada ujung ankur
$R$	Faktor reduksi gempa, rasio antara beban gempa maksimum akibat pengaruh Gempa Rencana pada struktur gedung elastik penuh dan

beban gempa nominal akibat pengaruh Gempa Rencana pada struktur gedung daktail, bergantung pada faktor daktilitas struktur gedung tersebut; factor reduksi gempa representatif struktur gedung tidak beraturan.

$s$	Spasi tulangan geser, mm
$S_h$	Spasi tulangan geser konsol, mm
$s_{max}$	Spasi maksimum tulangan geser, mm
$T$	Waktu getar alami struktur gedung dinyatakan dalam detik yang menentukan besarnya Faktor Respons Gempa struktur gedung dan kurvanya ditampilkan dalam Spektrum Respons Gempa Rencana.
$T_I$	Waktu getar alami fundamental struktur gedung beraturan maupun tidak beraturan dinyatakan dalam detik.
$T_n$	Kuat momen puntir nominal
$T_u$	Momen puntir terfaktor pada penampang
$V$	Beban (gaya) geser dasar nominal statik ekuivalen akibat pengaruh Gempa Rencana yang bekerja di tingkat dasar struktur gedung beraturan dengan tingkat daktilitas umum, dihitung berdasarkan waktu getar alami fundamental struktur gedung beraturan tersebut.
$V_c$	Kuat geser nominal yang dipikul oleh beton
$v_c$	Desain tegangan geser pada beton
$v'_c$	Modifikasi desain tegangan geser untuk menghitung $a_v$
$V_u$	Gaya lintang horizontal terfaktor pada suatu lantai
$V_x$	Gaya geser dasar nominal akibat pengaruh Gempa Rencana pada taraf pembebanan nominal yang bekerja dalam arah sumbu-x di tingkat dasar struktur gedung tidak beraturan.
$V_y$	Gaya geser dasar nominal akibat pengaruh Gempa Rencana pada taraf pembebanan nominal yang bekerja dalam arah sumbu-y di tingkat dasar struktur gedung tidak beraturan.
$V_I$	Gaya geser dasar nominal yang bekerja di tingkat dasar struktur gedung tidak beraturan dengan tingkat daktilitas umum, dihitung berdasarkan waktu getar alami fundamental struktur gedung.
$W_t$	Berat total gedung, termasuk beban hidup yang sesuai.

$x$	Jarak garis netral dari bagian bawah konsol
$z$	tinggi lengan tuas
$\rho$	Rasio tulangan tarik non-prategang
$\rho'$	Rasio tulangan tekan non-prategang
$\phi$	Faktor reduksi kekuatan
$\xi$	Faktor ketergantungan waktu untuk beban yang bersifat tetap dalam jangka waktu yang panjang
$\varepsilon_s$	Regangan tulangan baja

## DAFTAR LAMPIRAN

L.1	Spesifikasi <i>Stressing Anchorage VSL Type E</i> .....	211
L.2	Brosur <i>Lift Hyundai</i> .....	213
L.3	Grafik Hubungan $d$ dan $\rho$ .....	215
L.4	Grafik Hubungan $v/f_{cu}$ dan $a_v/d$ .....	217
L.5	Persentase Beban Lateral yang Diterima <i>Shearwall</i> .....	219
L.6	Perhitungan Beton Prategang Dengan Dimensi yang Sama Dengan Beton .... Bertulang	223
L.7	Pemodelan Gedung Dengan Menggunakan ETABS .....	235
L.8	Nilai Eksentrisitas .....	255