

SKRIPSI
**ANALISIS *RETROFITTING* STRUKTUR GEDUNG
BETON BERTULANG 8 LANTAI DENGAN
MENGUNAKAN SISTEM ISOLASI GEMPA JENIS
LEAD RUBBER BEARING (LRB) PADA KOLOM
LANTAI DASAR**



ARI ADRIANTO SURYA TANJAYA
NPM: 6101801011

PEMBIMBING: Lidya Fransisca Tjong, Ir., M.T.

UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

(Terakreditasi berdasarkan SK-BAN PT Nomor: 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X/2021)

BANDUNG

JANUARI 2022

SKRIPSI
**ANALISIS *RETROFITTING* STRUKTUR GEDUNG
BETON BERTULANG 8 LANTAI DENGAN
MENGUNAKAN SISTEM ISOLASI GEMPA JENIS
LEAD RUBBER BEARING (LRB) PADA KOLOM
LANTAI DASAR**



ARI ADRIANTO SURYA TANJAYA
NPM: 6101801011

PEMBIMBING: Lidya Fransisca Tjong, Ir., M.T.

PENGUJI 1: Dr. Johannes Adhijoso Tjondro

PENGUJI 2: Helmy Hermawan Tjahjanto, Ph.D.

UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi berdasarkan SK-BAN PT Nomor: 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X/2021)

BANDUNG
JANUARI 2022

PERNYATAAN

Yang bertandatangan di bawah ini, saya dengan data diri sebagai berikut:

Nama : Ari Adrianto Surya Tanjung

NPM : 6101801011

Program Studi : Teknik Sipil

Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan

Menyatakan bahwa skripsi / ~~tesis / disertasi~~ dengan judul:

Analisis *Retrofitting* Struktur Gedung Beton Bertulang 8 Lantai Dengan Menggunakan Sistem Isolasi Gempa Jenis *Lead Rubber Bearing* (LRB) Pada Kolom Lantai Dasar

adalah benar-benar karya saya sendiri di bawah bimbingan dosen pembimbing. Saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika keilmuan yang berlaku dalam masyarakat keilmuan. Apabila di kemudian hari ditemukan adanya pelanggaran terhadap etika keilmuan dalam karya saya, atau jika ada tuntutan formal atau non formal dari pihak lain berkaitan dengan keaslian karya saya ini, saya siap menanggung segala resiko, akibat, dan/atau sanksi yang dijatuhkan kepada saya, termasuk pembatalan gelar akademik yang saya peroleh dari Universitas Katolik Parahyangan.

Dinyatakan: di Bandung

Tanggal: 10 Januari 2022



Ari Adrianto Surya Tanjung

ANALISIS *RETROFITTING* STRUKTUR GEDUNG BETON BERTULANG 8 LANTAI DENGAN MENGGUNAKAN SISTEM ISOLASI GEMPA JENIS *LEAD RUBBER BEARING* (LRB) PADA KOLOM LANTAI DASAR

**ARI ADRIANTO SURYA TANJAYA
NPM: 6101801011**

Pembimbing: Lidya Fransisca Tjong, Ir., M.T.

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi berdasarkan SK-BAN PT Nomor: 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X/2021)**

**BANDUNG
JANUARI 2022**

ABSTRAK

Adanya perubahan dan pembaruan peta gempa di Indonesia membuat SNI 1726 harus ikut diperbaharui. SNI 1726-2012 dan SNI 1726-2019 terdapat perbedaan pada peta gempa, *response spectrum*, koefisien situs, dan penskalaan sehingga gedung harus dievaluasi menggunakan SNI 1726-2019. Pada skripsi ini dilakukan *retrofitting* pada model eksisting yang dievaluasi menggunakan SNI 1726-2019 dan analisis perbandingan posisi *Lead Rubber Bearing* (LRB) yaitu di bagian atas, tengah, dan bawah kolom lantai dasar. Posisi LRB pada kolom akan mempengaruhi kebutuhan tulangan dari elemen struktur khususnya pada balok. Semakin jauh posisi LRB pada kolom terhadap balok maka kebutuhan luas tulangan balok akan semakin meningkat dan juga sebaliknya. Hal ini terjadi dikarenakan pembesaran momen yang diterima oleh balok. Berdasarkan hasil analisis respons spektrum pada gedung *retrofitting* paling optimal dengan posisi LRB di bagian atas kolom (model 3A) mengalami penurunan rata-rata gaya geser tiap lantai sebesar 59,97%, simpangan antar tingkat sebesar 87,39% dari model 2 dan tidak terjadi kegagalan pada elemen struktur kolom dan balok. Adanya momen tambahan akibat eksentrisitas yang terjadi pada bagian kolom lantai dasar mengakibatkan peningkatan nilai reaksi perletakan pada model 3A dan peningkatan nilai *demand/capacity ratio* kolom bagian bawah LRB dengan rata-rata sebesar 22%. Percepatan rekaman gempa yang digunakan adalah Gempa Kobe, Gempa El Centro, dan Gempa Chichi. Gedung *retrofitting* (model 3A) dianalisis dengan riwayat waktu linier sesuai dengan ketentuan SNI 1726-2019 untuk gedung dengan sistem isolasi gempa, menunjukkan simpangan antar tingkat yang terjadi lebih kecil dari ketentuan ijinnya.

Kata Kunci: *Retrofitting*, *Lead Rubber Bearing*, Analisis Respons Spektrum, Analisis Linier Riwayat Waktu.

ANALYSIS OF RETROFITTING 8 STOREY REINFORCED CONCRETE BUILDING USING SEISMIC ISOLATION SYSTEM LEAD RUBBER BEARING (LRB) TYPE ON GROUND FLOOR COLUMNS

**ARI ADRIANTO SURYA TANJAYA
NPM: 6101801011**

Advisor: Lidya Fransisca Tjong, Ir., M.T.

**PARAHYANGAN CATHOLIC UNIVERSITY
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
(Accredited by SK-BAN PT Nomor: 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X/2021)
BANDUNG**

JANUARY 2022

ABSTRACT

The change and renewal of the seismic hazard map in Indonesia made SNI 1726 must be updated. SNI 1726-2012 and SNI 1726-2019 There is a difference in the seismic hazard map, response spectrum, site coefficient, and scaling so that the building must be evaluated using SNI 1726-2019. In this thesis, a retrofitting was carried out on the existing model evaluated using SNI 1726-2019 and analysis of the comparison of the lead rubber bearing (LRB) position was at the top, center, and under the ground floor column. The position of LRB in the column will affect the reinforcement needs of the structural element, especially on the beam. The further the position of the LRB in the column against the beam, the requirement of the beam reinforcement will increase and vice versa. This happens due to magnification of moments received by the beam. Based on the results of the spectrum response analysis in the most optimal retrofitting building with the LRB position at the top of the column (Model 3A) experiencing a decrease in the average shear force of each floor of 59.97%, inter-storey drift of 87.39% of Model 2 and does not occur failure to the elements of column and beam structures. The existence of additional moments due to the eccentricity that occurs in the part of the ground floor column resulted in an increase in the value of the base reaction to the 3A model and an increase in the demand / capacity ratio of the lower part of the LRB with an average of 22%. The acceleration of the earthquake record used was the Kobe earthquake, El Centro earthquake, and Chichi earthquake. Retrofitting Building (Model 3A) was analyzed by linear time history in accordance with the provisions of SNI 1726-2019 for buildings with a seismic isolation system, indicating inter-storey drift that occur smaller than the terms of the permission.

Kata Kunci: Retrofitting, Lead Rubber Bearing, Spectrum Response Analysis, Linear Time History Analysis.

PRAKATA

Puji Syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan kasih-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul *Analisis Retrofitting Struktur Gedung Beton Bertulang 8 Lantai Dengan Menggunakan Sistem Isolasi Gempa Jenis Lead Rubber Bearing (LRB) Pada Kolom Lantai Dasar*. Skripsi ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat S-1 di Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil, Universitas Katolik Parahyangan.

Penulisan skripsi ini tidak lepas dari tantangan dan hambatan teknis maupun non-teknis yang penulis alami, sehingga dalam menyelesaikan skripsi ini tidak terlepas dari saran, kritik, nasihat, doa, dan dukungan dari banyak pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Tuhan Yesus Kristus atas berkat penyertaan roh kudus yang begitu besar dan tempat penulis untuk mencurahkan isi hati dan pikiran.
2. Mamah Tercinta di Surga atas seluruh bantuan doa kepada Tuhan dan menjadi pendengar bagi penulis untuk bercerita.
3. Seluruh anggota keluarga yaitu papah dan saudara/i yang selalu memberikan dukungan dan doa sehingga skripsi ini dapat selesai.
4. Ibu Lidya Fransisca Tjong, Ir., M.T., selaku dosen pembimbing yang dengan sabar membimbing, mendampingi, dan meluangkan waktu untuk penulis dalam segala proses penulisan skripsi hingga penyempurnaan penulisan skripsi penulis.
5. Bapak Dr. Johannes Adhijoso Tjondro dan Bapak Helmy Hermawan Tjahjanto, Ph.D., selaku dosen penguji yang telah memberikan banyak masukan kepada penulis.
6. Dosen-dosen program studi Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan yang telah memberikan ilmu pengetahuan yang berharga bagi penulis.
7. Seluruh staf dan karyawan Fakultas Teknik Universitas Katolik Parahyangan yang telah mendukung penulis selama proses perkuliahan.

8. Teman-teman seperjuangan skripsi yaitu Haris, Taufan, Ivan, Elbert, Eldo, dan Henry yang saling memberikan dukungan selama proses pengerjaan skripsi.
9. Teman-teman DITATA Project yaitu Hanung, Valen, dan Onta yang menjadi teman bisnis yang suportif selama proses pengerjaan skripsi.
10. Seluruh teman baik di Cirebon yang selalu menemani penulis mencari hiburan dan memberikan dukungan.
11. Seluruh Angkatan 2018 dan Masyarakat Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan atas momen kebersamaan dan dukungannya.
12. Semua pihak yang telah membantu, memberi dukungan, dan semangat selama penulisan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna mengingat keterbatasan waktu dan kemampuan penulis. Penulis sangat menerima saran dan kritik yang membangun agar dapat memperbaikinya di masa yang akan datang.

Akhir kata penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi mahasiswa lainnya dan dunia pendidikan khususnya di bidang Teknik Sipil. Terima kasih.

Bandung, Januari 2022



Ari Adrianto Surya Tanjaya

6101801011

DAFTAR ISI

ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
PRAKATA	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL	xx
DAFTAR LAMPIRAN	xxiv
BAB 1 PENDAHULUAN	1-1
1.1 Latar Belakang Permasalahan.....	1-1
1.2 Inti Permasalahan.....	1-3
1.3 Tujuan Penelitian.....	1-3
1.4 Pembatasan Masalah.....	1-4
1.5 Metode Penelitian.....	1-8
1.6 Diagram Alir.....	1-8
BAB 2 DASAR TEORI.....	2-1
2.1 <i>Retrofitting</i> Bangunan (FEMA 356).....	2-1
2.1.1 Target <i>Retrofitting</i>	2-2
2.2 Sistem Isolasi Gempa	2-2
2.3 Tipe Sistem Isolasi Gempa	2-3
2.3.1 <i>Elastomeric Isolation Systems</i>	2-3
2.3.2 <i>Sliding Isolation Systems</i>	2-5
2.4 Pemodelan Sistem Isolasi Gempa.....	2-6
2.4.1 Lokasi Sistem Isolasi Gempa Pada Kolom	2-8
2.5 Faktor Keutamaan dan Kategori Risiko Struktur Bangunan	2-8
2.6 Kombinasi Pembebanan	2-11
2.7 Pengaruh Beban Seismik	2-12
2.8 Faktor Redundansi	2-13
2.9 Peta Gempa.....	2-14
2.10 Koefisien Situs F_a dan F_v	2-17
2.11 Respons Spektrum	2-19
2.12 Kategori Desain Seismik	2-20

2.13	Struktur Penahan Gaya Seismik	2-20
2.14	Ketidakteraturan Struktur	2-21
2.14.1	Ketidakteraturan Horisontal	2-21
2.14.2	Ketidakteraturan Vertikal	2-23
2.14.3	Batasan dan Persyaratan Tambahan	2-28
2.15	Kriteria Pemodelan	2-29
2.16	Periode Alami Struktur	2-31
2.17	Simpangan Antar Tingkat	2-32
2.18	Jumlah Ragam	2-33
2.19	Faktor Skala Gaya	2-34
2.20	Beban Hidup Minimum	2-34
2.21	Struktur dengan Sistem Isolasi Gempa	2-35
2.21.1	Faktor Keutamaan Gempa	2-35
2.21.2	Faktor Redundansi	2-35
2.21.3	Stabilitas Beban Vertikal	2-35
2.21.4	Pengaruh Beban Seismik dan Kombinasi Beban Vertikal	2-36
2.21.5	Properti Sistem Isolasi pada Perpindahan Maksimum	2-36
2.22	Analisis Gaya Lateral Ekuivalen dengan Sistem Isolasi Gempa	2-36
2.23	Analisis Respons Spektrum dengan Sistem Isolasi Gempa	2-37
2.24	Analisis Riwayat Waktu dengan Sistem Isolasi Gempa	2-37
2.24.1	Batasan Simpangan Antar Tingkat	2-38
2.24.2	Rekaman Percepatan Gempa	2-38
2.24.3	Penskalaan Percepatan Gempa	2-38
2.24.4	Analisis Riwayat Waktu Linier	2-39
BAB 3	STUDI KASUS	3-1
3.1	Model Gedung	3-1
3.2	Data Gedung	3-1
3.3	Data Material	3-1
3.4	Pembebanan	3-2
3.4.1	Beban Mati (DL)	3-2
3.4.2	Beban Mati Tambahan (SIDL)	3-2
3.4.3	Beban Hidup (LL)	3-3
3.4.4	Beban Gempa	3-3
3.4.5	Kombinasi Pembebanan	3-3

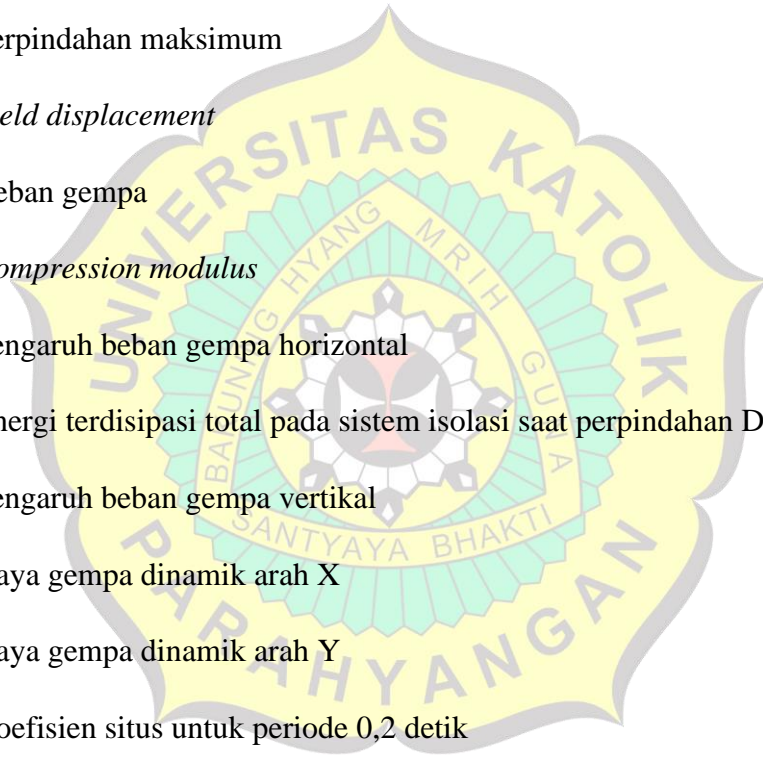
3.5	Elemen Struktur	3-4
3.6	Data <i>Lead Rubber Bearing</i>	3-5
3.7	Analisis Riwayat Waktu	3-5
3.7.1	Penskalaan Percepatan Rekaman Gempa.....	3-6
3.7.2	Metode <i>Time History Analysis</i>	3-6
BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....		4-1
4.1	Analisis Respons Spektrum Model 1 Berdasarkan SNI 1726 – 2012	4-1
4.1.1	Gerak Dominan Gedung.....	4-1
4.1.2	Ragam Getar dan Periode Getar	4-1
4.1.3	Gaya Geser Tiap Lantai.....	4-2
4.1.4	Simpangan Antar Tingkat	4-4
4.1.5	Perpindahan.....	4-6
4.1.6	Ketidakteraturan Horizontal	4-7
4.1.7	Ketidakteraturan Vertikal	4-9
4.1.8	Tulangan Kolom.....	4-11
4.1.9	Tulangan Balok	4-11
4.1.10	<i>Demand/Capacity Ratio</i>	4-12
4.1.11	<i>Beam/Column Capacity Ratio</i>	4-13
4.2	Analisis Respons Spektrum Model 2 Berdasarkan SNI 1726 – 2019	4-15
4.2.1	Gerak Dominan Gedung.....	4-15
4.2.2	Ragam Getar dan Periode Getar	4-15
4.2.3	Gaya Geser Tiap Lantai.....	4-16
4.2.4	Simpangan Antar Tingkat	4-18
4.2.5	Perpindahan.....	4-20
4.2.6	Ketidakteraturan Horizontal	4-21
4.2.7	Ketidakteraturan Vertikal	4-23
4.2.8	<i>Demand/Capacity Ratio</i>	4-25
4.2.9	<i>Beam/Column Capacity Ratio</i>	4-26
4.2.10	Perbandingan Luas Tulangan Balok	4-28
4.3	Analisis Respons Spektrum Model 3A Berdasarkan SNI 1726 – 2019 ...	4-34
4.3.1	Gerak Dominan Gedung.....	4-34
4.3.2	Ragam Getar dan Periode Getar	4-34
4.3.3	Gaya Geser Tiap Lantai.....	4-35
4.3.4	Simpangan Antar Tingkat	4-37

4.3.5	Perpindahan	4-39
4.3.6	<i>Demand/Capacity Ratio</i>	4-40
4.3.7	<i>Beam/Column Capacity Ratio</i>	4-41
4.3.8	Luas Tulangan Balok	4-43
4.4	Analisis Respons Spektrum Model 3B Berdasarkan SNI 1726 – 2019 ...	4-44
4.4.1	Gerak Dominan Gedung.....	4-44
4.4.2	Ragam Getar dan Periode Getar.....	4-44
4.4.3	Gaya Geser Tiap Lantai.....	4-45
4.4.4	Simpangan Antar Tingkat	4-47
4.4.5	Perpindahan.....	4-49
4.4.6	<i>Demand/Capacity Ratio</i>	4-50
4.4.7	<i>Beam/Column Capacity Ratio</i>	4-51
4.4.8	Luas Tulangan Balok	4-53
4.5	Analisis Respons Spektrum Model 3C Berdasarkan SNI 1726 – 2019 ...	4-54
4.5.1	Gerak Dominan Gedung.....	4-54
4.5.2	Ragam Getar dan Periode Getar.....	4-54
4.5.3	Gaya Geser Tiap Lantai.....	4-55
4.5.4	Simpangan Antar Tingkat	4-57
4.5.5	Perpindahan.....	4-59
4.5.6	<i>Demand/Capacity Ratio</i>	4-60
4.5.7	<i>Beam/Column Capacity Ratio</i>	4-61
4.5.8	Luas Tulangan Balok	4-63
4.6	Perbandingan Hasil Respons Struktur Model 3A, 3B, dan 3C.....	4-64
4.6.1	Gaya Geser Tiap Lantai.....	4-64
4.6.2	Simpangan Antar Tingkat	4-66
4.6.3	Perpindahan.....	4-68
4.6.4	Luas Tulangan Balok	4-70
4.6.5	Penentuan Model 3 yang Optimal.....	4-71
4.6.6	Pengaruh Eksentrisitas Pada Reaksi Perletakan.....	4-71
4.6.7	Pengaruh Eksentrisitas Pada Kolom Bawah	4-73
4.7	Perbandingan Hasil Respons Struktur Model 2 dan Model 3A.....	4-74
4.7.1	Periode Getar.....	4-74
4.7.2	Gaya Geser Tiap Lantai.....	4-75
4.7.3	Simpangan Antar Tingkat	4-77

4.7.4	Perpindahan.....	4-78
4.8	Analisis Linier Riwayat Waktu Model 3A	4-80
4.8.1	Gaya Geser Tiap Lantai.....	4-80
4.8.2	Simpangan Antar Tingkat	4-83
4.8.3	Perpindahan.....	4-85
4.8.4	<i>Demand/Capacity Ratio</i>	4-87
4.8.5	<i>Beam/Column Capacity Ratio</i>	4-90
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....		5-1
5.1	Kesimpulan.....	5-1
5.2	Saran	5-2
DAFTAR PUSTAKA		xxi
LAMPIRAN 1.....		L1-1
LAMPIRAN 2.....		L2-1
LAMPIRAN 3.....		L3-1
LAMPIRAN 4.....		L4-1
LAMPIRAN 5.....		L5-1
LAMPIRAN 6.....		L6-1



DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN



A_{LRB}	: Luas <i>lead rubber bearing</i>
C_d	: Koefisien amplifikasi defleksi
C_t	: Parameter untuk periode fundamental pendekatan
C_u	: Koefisien untuk batas atas periode yang dihitung
D	: Beban mati
D_M	: Perpindahan maksimum
D_y	: <i>Yield displacement</i>
E	: Beban gempa
E_c	: <i>Compression modulus</i>
E_h	: Pengaruh beban gempa horizontal
E_M	: Energi terdisipasi total pada sistem isolasi saat perpindahan D_M
E_v	: Pengaruh beban gempa vertikal
E_X	: Gaya gempa dinamik arah X
E_Y	: Gaya gempa dinamik arah Y
F_a	: Koefisien situs untuk periode 0,2 detik
f_c'	: Kuat tekan beton
FEMA	: <i>Federal Emergency Management Agency</i>
F_v	: Koefisien situs untuk periode 1,0 detik
f_y	: Tegangan leleh material baja
F_y	: <i>Yield strength</i> dari <i>lead plug</i>
g	: Percepatan gravitasi

- G : *Shear modulus* karet
- h_{sx} : Tinggi tingkat dibawah tingkat x
- I_e : Faktor keutamaan gempa
- K_1 : Kekakuan awal *lead rubber bearing*
- K_2 : Kekakuan pasca leleh *lead rubber bearing*
- K_H : Kekakuan arah horizontal *lead rubber bearing*
- K_M : Kekakuan efektif sistem isolasi pada perindahan maksimum D_M
- K_V : Kekakuan arah vertikal *lead rubber bearing*
- L : Beban hidup
- L_r : Beban hidup pada atap
- LRB : *Lead rubber bearing*
- MCE_R : *Risk-Targeted Maximum Considered Earthquake*
- n : *Post yield stiffness to pre yield stiffness ratio of rubber*
- Q_d : *Characteristic strength*
- Q_E : Gaya seismic horizontal
- R : Koefisien modifikasi respons
- SNI : Standar Nasional Indonesia
- S_a : Spektrum respons percepatan desain
- S_{D1} : Parameter percepatan respons spectral pada periode 1 detik, redaman 5%
- S_{DS} : Parameter percepatan respons spectral pada periode pendek, redaman 5%
- S_{M1} : Parameter percepatan respons spectral MCE pada periode 1 detik yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs.
- S_{MS} : Parameter percepatan respons spectral MCE pada periode pendek yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs.

- S_1 : Parameter percepatan respons spectral MCE dari peta gempa pada periode 1 detik, redaman 5%
- S_s : Parameter percepatan respons spectral MCE dari peta gempa pada periode pendek, redaman 5%
- T : Periode fundamental bangunan
- T_a : Periode fundamental pendekatan
- T_M : Periode efektif struktur yang terisolasi pada perpindahan maksimum D_M
- T_s, T_0 : Parameter periode untuk respons spektrum desain elastic
- t_r : *Total thickness of rubber*
- V : Gaya lateral dinamik
- W : Berat seismik efektif
- x : Parameter untuk periode fundamental pendekatan
- β_M : Redaman efektif dari sistem isolasi pada perpindahan maksimum D_M
- Δ_i : Simpangan antar tingkat di tingkat-x
- Δ_{ijin} : Simpangan antar tingkat ijin
- δ_x : Perpindahan lantai arah x yang diperbesar
- δ_y : Perpindahan lantai arah y yang diperbesar
- ρ : Faktor redundansi
- Ω_0 : Faktor kuat lebih

DAFTAR GAMBAR

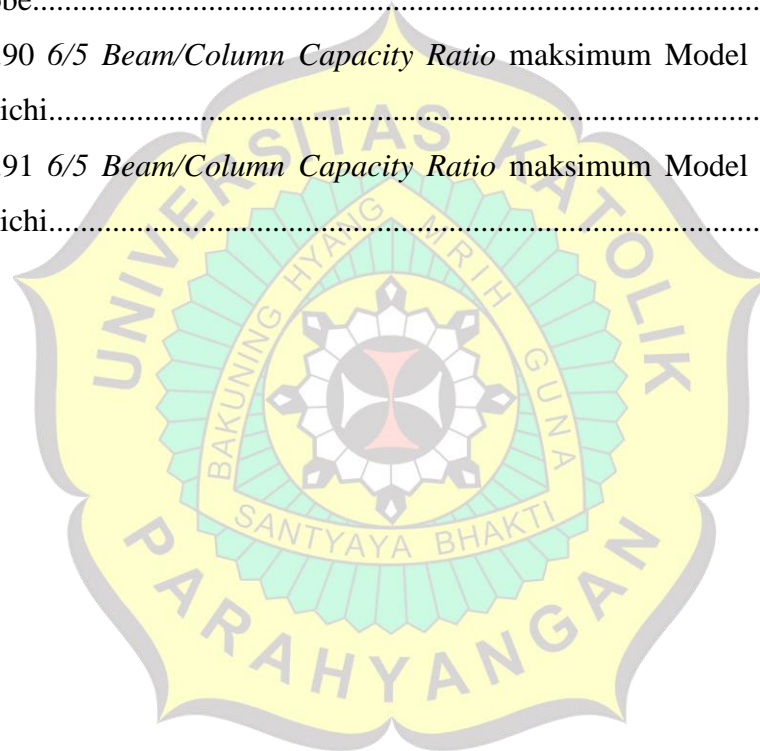
Gambar 1.1 <i>Lead Rubber Bearing (LRB)</i> (bridgestone.com)	1-2
Gambar 1.2 Perbandingan <i>Elastomeric Isolation Systems</i> (freyssinet.com).....	1-3
Gambar 1.3 Denah Model Struktur 1, 2, dan 3A-3C	1-5
Gambar 1.4 Tampak 3 Dimensi Struktur Model 1 dan 2.....	1-5
Gambar 1.5 Potongan Model 1 dan 2 As A – As F	1-6
Gambar 1.6 Potongan Model 1 dan 2 As 1 – As 4.....	1-6
Gambar 1.7 Tampak 3 Dimensi Struktur Model 3A.....	1-7
Gambar 1.8 Tampak 3 Dimensi Struktur Model 3B	1-7
Gambar 1.9 Tampak 3 Dimensi Struktur Model 3C	1-8
Gambar 2.1 <i>High Damping Rubber Bearing</i> (www.bridgestone.com)	2-4
Gambar 2.2 <i>Low Damping Rubber Bearing</i> (www.bridgestone.com)	2-4
Gambar 2.3 <i>Flat Slider Bearing</i> (www.pipingtech.com).....	2-5
Gambar 2.4 <i>Pendulum System Bearing</i> (www.researchgate.net)	2-6
Gambar 2.5 S_s , Gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R), kelas situs SB (SNI 1726-2012).....	2-15
Gambar 2.6 Parameter gerak tanah S_s , gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) wilayah Indonesia untuk spektrum respons 0,2-detik (redaman kritis 5%) (SNI 1726-2019)	2-15
Gambar 2.7 Gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R), kelas situs SB (SNI 1726-2012).....	2-16
Gambar 2.8 Parameter gerak tanah S_1 , gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) wilayah Indonesia untuk spektrum respons 1-detik (redaman kritis 5%) (SNI 1726-2019)	2-16
Gambar 2.9 Respons Spektrum SNI 1726-2012	2-19
Gambar 2.10 Respons Spektrum SNI 1726-2019	2-19
Gambar 2.11 Ketidakberaturan Horisontal (Gambar 5 SNI 1726:2019).....	2-26
Gambar 2.12 Ketidakberaturan Vertikal (Gambar 5 SNI 1726:2019).....	2-27
Gambar 3.1 Rekaman Gempa Kobe.....	3-6
Gambar 3.2 Rekaman Gempa El Centro.....	3-6
Gambar 3.3 Rekaman Gempa Chichi.....	3-6
Gambar 4.1 Gaya Geser Tiap Lantai Model 1 Akibat EX.....	4-3

Gambar 4.2 Gaya Geser Tiap Lantai Model 1 Akibat EY.....	4-4
Gambar 4.3 Simpangan Antar Tingkat Model 1 Arah X.....	4-5
Gambar 4.4 Simpangan Antar Tingkat Model 1 Arah Y.....	4-6
Gambar 4.5 Perpindahan pada Model 1	4-7
Gambar 4.6 <i>D/C Ratio</i> maksimum Model 1 Arah X, potongan 2-2	4-13
Gambar 4.7 <i>D/C Ratio</i> maksimum Model 1 Arah Y, potongan E-E	4-13
Gambar 4.8 <i>6/5 Beam/Column Capacity Ratio</i> maksimum Model 1 Arah X, potongan 2-2	4-14
Gambar 4.9 <i>6/5 Beam/Column Capacity Ratio</i> maksimum Model 1 Arah Y, potongan E-E.....	4-14
Gambar 4.10 Gaya Geser Tiap Lantai Model 2 Akibat EX.....	4-17
Gambar 4.11 Gaya Geser Tiap Lantai Model 2 Akibat EY.....	4-18
Gambar 4.12 Simpangan Antar Tingkat Model 2 Arah X.....	4-19
Gambar 4.13 Simpangan Antar Tingkat Model 2 Arah Y.....	4-20
Gambar 4.14 Perpindahan pada Model 2.....	4-21
Gambar 4.15 <i>D/C Ratio</i> maksimum Model 2 Arah X, potongan 2-2	4-26
Gambar 4.16 <i>D/C Ratio</i> maksimum Model 2 Arah Y, potongan E-E	4-26
Gambar 4.17 <i>6/5 Beam/Column Capacity Ratio</i> maksimum Model 2 Arah X, potongan 2-2	4-27
Gambar 4.18 <i>6/5 Beam/Column Capacity Ratio</i> maksimum Model 2 Arah Y, potongan B-B	4-28
Gambar 4.19 Luas Tulangan Terpasang pada As 1 dan 4, Model 1	4-29
Gambar 4.20 Luas Tulangan Perlu pada As 1 dan 4, Model 2	4-29
Gambar 4.21 Luas Tulangan Terpasang pada As 2 dan 3, Model 1	4-30
Gambar 4.22 Luas Tulangan Perlu pada As 2 dan 3, Model 2	4-30
Gambar 4.23 Luas Tulangan Terpasang pada As A dan F, Model 1	4-31
Gambar 4.24 Luas Tulangan Perlu pada As A dan F, Model 2	4-31
Gambar 4.25 Luas Tulangan Terpasang pada As B dan E, Model 1	4-32
Gambar 4.26 Luas Tulangan Perlu pada As B dan E, Model 2	4-32
Gambar 4.27 Luas Tulangan Terpasang pada As C dan D, Model 1.....	4-33
Gambar 4.28 Luas Tulangan Perlu pada As C dan D, Model 2.....	4-33
Gambar 4.29 Gaya Geser Tiap Lantai Model 3A Akibat EX	4-36

Gambar 4.30 Gaya Geser Tiap Lantai Model 3A Akibat EY	4-37
Gambar 4.31 Simpangan Antar Tingkat Model 3A Arah X	4-38
Gambar 4.32 Simpangan Antar Tingkat Model 3A Arah Y	4-39
Gambar 4.33 Perpindahan pada Model 3A	4-40
Gambar 4.34 <i>D/C Ratio</i> maksimum Model 3A Arah X, potongan 2-2	4-41
Gambar 4.35 <i>D/C Ratio</i> maksimum Model 3A Arah Y, potongan E-E	4-41
Gambar 4.36 <i>6/5 Beam/Column Capacity Ratio</i> maksimum Model 3A Arah X, potongan 2-2	4-42
Gambar 4.37 <i>6/5 Beam/Column Capacity Ratio</i> maksimum Model 3A Arah Y, potongan E-E.....	4-42
Gambar 4.38 Luas Tulangan Perlu pada As 2 dan 3, Model 3A	4-43
Gambar 4.39 Luas Tulangan Perlu pada As A dan F, Model 3A	4-43
Gambar 4.40 Gaya Geser Tiap Lantai Model 3B Akibat EX	4-46
Gambar 4.41 Gaya Geser Tiap Lantai Model 3B Akibat EY	4-47
Gambar 4.42 Simpangan Antar Tingkat Model 3B Arah X	4-48
Gambar 4.43 Simpangan Antar Tingkat Model 3B Arah Y	4-49
Gambar 4.44 Perpindahan pada Model 3B	4-50
Gambar 4.45 <i>D/C Ratio</i> maksimum Model 3B Arah X, potongan 2-2.....	4-51
Gambar 4.46 <i>D/C Ratio</i> maksimum Model 3B Arah Y, potongan E-E.....	4-51
Gambar 4.47 <i>6/5 Beam/Column Capacity Ratio</i> maksimum Model 3B Arah X, potongan 2-2	4-52
Gambar 4.48 <i>6/5 Beam/Column Capacity Ratio</i> maksimum Model 3B Arah Y, potongan E-E.....	4-52
Gambar 4.49 Luas Tulangan Perlu pada As 2 dan 3, Model 3B.....	4-53
Gambar 4.50 Luas Tulangan Perlu pada As A dan F, Model 3B.....	4-53
Gambar 4.51 Gaya Geser Tiap Lantai Model 3C Akibat EX	4-56
Gambar 4.52 Gaya Geser Tiap Lantai Model 3C Akibat EY	4-57
Gambar 4.53 Simpangan Antar Tingkat Model 3C Arah X	4-58
Gambar 4.54 Simpangan Antar Tingkat Model 3C Arah Y	4-59
Gambar 4.55 Perpindahan pada Model 3C	4-60
Gambar 4.56 <i>D/C Ratio</i> maksimum Model 3C Arah X, potongan 2-2.....	4-61
Gambar 4.57 <i>D/C Ratio</i> maksimum Model 3C Arah Y, potongan E-E.....	4-61

Gambar 4.58 6/5 <i>Beam/Column Capacity Ratio</i> maksimum Model 3C Arah X, potongan 2-2	4-62
Gambar 4.59 6/5 <i>Beam/Column Capacity Ratio</i> maksimum Model 3C Arah Y, potongan E-E.....	4-62
Gambar 4.60 Luas Tulangan Perlu pada As 2 dan 3, Model 3C.....	4-63
Gambar 4.61 Luas Tulangan Perlu pada As A dan F, Model 3C.....	4-63
Gambar 4.62 Perbandingan Gaya Geser Tiap Lantai Akibat EX	4-65
Gambar 4.63 Perbandingan Gaya Geser Tiap Lantai Akibat EY	4-66
Gambar 4.64 Perbandingan Simpangan Antar Tingkat Arah X	4-67
Gambar 4.65 Perbandingan Simpangan Antar Tingkat Arah Y	4-68
Gambar 4.66 Perbandingan Perpindahan Arah X.....	4-69
Gambar 4.67 Perbandingan Perpindahan Arah Y	4-70
Gambar 4.68 Perbandingan Gaya Geser Tiap Lantai Model 2 dan 3A Akibat EX4-	75
Gambar 4.69 Perbandingan Gaya Geser Tiap Lantai Model 2 dan 3A Akibat EY4-	76
Gambar 4.70 Perbandingan Simpangan Antar Tingkat Model 2 dan 3A Arah X . 4-	77
Gambar 4.71 Perbandingan Simpangan Antar Tingkat Model 2 dan 3A Arah Y . 4-	78
Gambar 4.72 Perbandingan Perpindahan Model 2 dan 3A Arah X.....	4-79
Gambar 4.73 Perbandingan Perpindahan Model 2 dan 3A Arah Y.....	4-80
Gambar 4.74 Gaya Geser Tiap Lantai V_x Model 3A	4-82
Gambar 4.75 Gaya Geser Tiap Lantai V_y Model 3A	4-83
Gambar 4.76 Simpangan Antar Tingkat Model 3A Arah X	4-84
Gambar 4.77 Simpangan Antar Tingkat Model 3A Arah Y	4-85
Gambar 4.78 Perpindahan pada Model 3A Arah X	4-86
Gambar 4.79 Perpindahan pada Model 3A Arah Y	4-87
Gambar 4.80 <i>D/C Ratio</i> maksimum Model 3A Arah X, Gempa El Centro.....	4-87
Gambar 4.81 <i>D/C Ratio</i> maksimum Model 3A Arah Y, Gempa El Centro.....	4-88
Gambar 4.82 <i>D/C Ratio</i> maksimum Model 3A Arah X, Gempa Kobe	4-88
Gambar 4.83 <i>D/C Ratio</i> maksimum Model 3A Arah Y, Gempa Kobe	4-89

Gambar 4.84 <i>D/C Ratio</i> maksimum Model 3A Arah X, Gempa Chichi	4-89
Gambar 4.85 <i>D/C Ratio</i> maksimum Model 3A Arah Y, Gempa Chichi	4-90
Gambar 4.86 <i>6/5 Beam/Column Capacity Ratio</i> maksimum Model 3A Arah X, Gempa El Centro.....	4-91
Gambar 4.87 <i>6/5 Beam/Column Capacity Ratio</i> maksimum Model 3A Arah Y, Gempa El Centro.....	4-91
Gambar 4.88 <i>6/5 Beam/Column Capacity Ratio</i> maksimum Model 3A Arah X, Gempa Kobe.....	4-92
Gambar 4.89 <i>6/5 Beam/Column Capacity Ratio</i> maksimum Model 3A Arah Y, Gempa Kobe.....	4-92
Gambar 4.90 <i>6/5 Beam/Column Capacity Ratio</i> maksimum Model 3A Arah X, Gempa Chichi.....	4-93
Gambar 4.91 <i>6/5 Beam/Column Capacity Ratio</i> maksimum Model 3A Arah Y, Gempa Chichi.....	4-93



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Faktor keutamaan gempa berdasarkan SNI 1726-2012 dan SNI 1726-2019.....	2-8
Tabel 2.2 Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa berdasarkan SNI 1726-2012.....	2-8
Tabel 2.3 Persyaratan Untuk Masing-Masing Tingkat	2-14
Tabel 2.4 Koefisien situs SNI 1726-2012, F_a	2-17
Tabel 2.5 Koefisien situs SNI 1726-2012, F_v	2-17
Tabel 2.6 Koefisien situs SNI 1726-2019, F_a	2-18
Tabel 2.7 Koefisien situs SNI 1726-2019, F_v	2-18
Tabel 2.8 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek	2-20
Tabel 2.9 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik.....	2-20
Tabel 2.10 Faktor R , Ω_0 , dan C_d berdasarkan SNI 1726-2012 dan SNI 1726-2019	2-21
Tabel 2.11 Ketidakberaturan horisontal pada struktur berdasarkan SNI 1726-2012	2-22
Tabel 2.12 Ketidakberaturan vertikal pada struktur berdasarkan SNI 1726-2012. 2-24	2-24
Tabel 2.13 Prosedur analisis yang diizinkan SNI 1726-2012	2-29
Tabel 2.14 Prosedur analisis yang diizinkan SNI 1726-2019	2-30
Tabel 2.15 Nilai parameter perioda pendekatan C_t dan x	2-31
Tabel 2.16 Koefisien untuk batas atas pada perioda yang dihitung, C_u	2-32
Tabel 2.17 Simpangan antar tingkat izin, $\Delta_a^{a,b}$	2-32
Tabel 2.18 Ragam getar berdasarkan SNI 1726-2012 dan SNI 1726-2019.....	2-33
Tabel 2.19 Skala Gaya berdasarkan SNI 1726-2012 dan SNI 1726-2019.....	2-34
Tabel 2.20 Beban hidup merata minimum untuk Gedung Perkantoran.....	2-35
Tabel 3.1 SIDL pada pelat lantai dan atap gedung	3-2
Tabel 3.2 SIDL pada balok	3-3
Tabel 3.3 LL pada pelat lantai dan atap gedung	3-3
Tabel 3.4 Dimensi penampang elemen struktur.....	3-5

Tabel 3.5 Spesifikasi <i>Lead Rubber Bearing</i>	3-5
Tabel 4.1 Pola Gerak Dominan Model 1	4-1
Tabel 4.2 Ragam Getar dan Periode Getar Model 1	4-1
Tabel 4.3 Gaya Geser Tiap Lantai Model 1 Akibat EX.....	4-2
Tabel 4.4 Gaya Geser Tiap Lantai Model 1 Akibat EY.....	4-3
Tabel 4.5 Simpangan Antar Tingkat Model 1 Arah X.....	4-4
Tabel 4.6 Simpangan Antar Tingkat Model 1 Arah Y.....	4-5
Tabel 4.7 Perpindahan pada Model 1.....	4-6
Tabel 4.8 Pemeriksaan Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1A dan 1B Model 1 Arah X.....	4-7
Tabel 4.9 Pemeriksaan Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1A dan 1B Model 1 Arah Y	4-8
Tabel 4.10 Pemeriksaan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1A Model 1 Arah X... 4-9	
Tabel 4.11 Pemeriksaan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1A Model 1 Arah Y... 4-9	
Tabel 4.12 Pemeriksaan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1B Model 1 Arah X... 4-9	
Tabel 4.13 Pemeriksaan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1B Model 1 Arah Y. 4-10	
Tabel 4.14 Pemeriksaan Terhadap Ketidakberaturan Vertikal Tipe 2 Model 1 4-10	
Tabel 4.15 Tipe dan Tulangan Kolom	4-11
Tabel 4.16 Tipe dan Tulangan Balok.....	4-12
Tabel 4.17 Pola Gerak Dominan Model 2	4-15
Tabel 4.18 Ragam Getar dan Periode Getar Model 2	4-15
Tabel 4.19 Gaya Geser Tiap Lantai Model 2 Akibat EX.....	4-16
Tabel 4.20 Gaya Geser Tiap Lantai Model 2 Akibat EY.....	4-17
Tabel 4.21 Simpangan Antar Tingkat Model 2 Arah X.....	4-18
Tabel 4.22 Simpangan Antar Tingkat Model 2 Arah Y.....	4-19
Tabel 4.23 Perpindahan pada Model 2.....	4-20
Tabel 4.24 Pemeriksaan Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1A dan 1B Model 2 Arah X.....	4-21
Tabel 4.25 Pemeriksaan Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1A dan 1B Model 2 Arah Y.....	4-22
Tabel 4.26 Pemeriksaan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1A Model 2 Arah X. 4-23	
Tabel 4.27 Pemeriksaan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1A Model 2 Arah Y. 4-23	

Tabel 4.28 Pemeriksaan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1B Model 2 Arah X	4-23
Tabel 4.29 Pemeriksaan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1B Model 2 Arah Y	4-24
Tabel 4.30 Pemeriksaan Terhadap Ketidakberaturan Vertikal Tipe 2 Model 2	4-24
Tabel 4.31 Kolom yang Mengalami Kegagalan pada Model 2	4-25
Tabel 4.32 Kolom yang tidak Memenuhi SCWB pada Model 2	4-27
Tabel 4.33 Pola Gerak Dominan Model 3A	4-34
Tabel 4.34 Ragam Getar dan Periode Getar Model 3A	4-34
Tabel 4.35 Gaya Geser Tiap Lantai Model 3A Akibat EX	4-35
Tabel 4.36 Gaya Geser Tiap Lantai Model 3A Akibat EY	4-36
Tabel 4.37 Simpangan Antar Tingkat Model 3A Arah X	4-37
Tabel 4.38 Simpangan Antar Tingkat Model 3A Arah Y	4-38
Tabel 4.39 Perpindahan pada Model 3A	4-39
Tabel 4.40 Pola Gerak Dominan Model 3B	4-44
Tabel 4.41 Ragam Getar dan Periode Getar Model 3B	4-44
Tabel 4.42 Gaya Geser Tiap Lantai Model 3B Akibat EX	4-45
Tabel 4.43 Gaya Geser Tiap Lantai Model 3B Akibat EY	4-46
Tabel 4.44 Simpangan Antar Tingkat Model 3B Arah X	4-47
Tabel 4.45 Simpangan Antar Tingkat Model 3B Arah Y	4-48
Tabel 4.46 Perpindahan pada Model 3B	4-49
Tabel 4.47 Kegagalan Luas Tulangan Balok pada Model 3B	4-54
Tabel 4.48 Pola Gerak Dominan Model 3C	4-54
Tabel 4.49 Ragam Getar dan Periode Getar Model 3C	4-54
Tabel 4.50 Gaya Geser Tiap Lantai Model 3C Akibat EX	4-55
Tabel 4.51 Gaya Geser Tiap Lantai Model 3C Akibat EY	4-56
Tabel 4.52 Simpangan Antar Tingkat Model 3C Arah X	4-57
Tabel 4.53 Simpangan Antar Tingkat Model 3C Arah Y	4-58
Tabel 4.54 Perpindahan pada Model 3C	4-59
Tabel 4.55 Kegagalan Luas Tulangan Balok pada Model 3C	4-64
Tabel 4.56 Perbandingan Gaya Geser Tiap Lantai Akibat EX	4-64
Tabel 4.57 Perbandingan Gaya Geser Tiap Lantai Akibat EY	4-65
Tabel 4.58 Perbandingan Simpangan Antar Tingkat Arah X	4-66
Tabel 4.59 Perbandingan Simpangan Antar Tingkat Arah Y	4-67

Tabel 4.60 Perbandingan Perpindahan Arah X.....	4-68
Tabel 4.61 Perbandingan Perpindahan Arah Y	4-69
Tabel 4.62 Perbandingan Kegagalan Luas Tulangan Balok	4-70
Tabel 4.63 Reaksi Perletakan Model 1	4-71
Tabel 4.64 Reaksi Perletakan Model 3A.....	4-72
Tabel 4.65 Pengaruh Eksentrisitas terhadap D/C Ratio Kolom Bagian Bawah LRB	4-73
Tabel 4.66 Perbandingan Periode Getar Model 2 dan 3A	4-74
Tabel 4.67 Perbandingan Gaya Geser Tiap Lantai Model 2 dan 3A Akibat EX4-75	
Tabel 4.68 Perbandingan Gaya Geser Tiap Lantai Model 2 dan 3A Akibat EY4-76	
Tabel 4.69 Perbandingan Simpangan Antar Tingkat Model 2 dan 3A Arah X. 4-77	
Tabel 4.70 Perbandingan Simpangan Antar Tingkat Model 2 dan 3A Arah Y. 4-78	
Tabel 4.71 Perbandingan Perpindahan Model 2 dan 3A Arah X.....	4-79
Tabel 4.72 Perbandingan Perpindahan Model 2 dan 3A Arah Y.....	4-79
Tabel 4.73 Gaya Geser Tiap Lantai Model 3A Akibat Gempa Kobe.....	4-80
Tabel 4.74 Gaya Geser Tiap Lantai Model 3A Akibat Gempa El Centro	4-81
Tabel 4.75 Gaya Geser Tiap Lantai Model 3A Akibat Gempa Chichi.....	4-82
Tabel 4.76 Simpangan Antar Tingkat Model 3A Arah X.....	4-83
Tabel 4.77 Simpangan Antar Tingkat Model 3A Arah Y.....	4-84
Tabel 4.78 Perpindahan pada Model 3A Arah X.....	4-85
Tabel 4.79 Perpindahan pada Model 3A Arah Y.....	4-86
Tabel 4.80 Kolom yang tidak Memenuhi SCWB pada Model 3A, Analisis Linier Riwayat Waktu.....	4-90

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 PRELIMINARY DESIGN ELEMEN STRUKTUR	L1-1
LAMPIRAN 2 PRELIMINARY DESIGN <i>LEAD RUBBER BEARING</i>	L2-1
LAMPIRAN 3 PERHITUNGAN FAKTOR SKALA	L3-1
LAMPIRAN 4 <i>DEMAND/CAPACITY RATIO</i>	L4-1
LAMPIRAN 5 <i>BEAM/COLUMN CAPACITY RATIO</i>	L5-1
LAMPIRAN 6 LUAS TULANGAN BALOK	L6-1



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Permasalahan

Indonesia adalah negara kepulauan yang letak geografisnya berada pada daerah pertemuan antara empat lempeng besar, dimana tiga lempeng diantaranya masih aktif mengalami pergerakan dari waktu ke waktu. Ketiga lempeng tersebut adalah lempeng Pasifik, lempeng Eurasia, dan lempeng Indo-Australia. Selain itu, Indonesia juga berada pada jalur *Ring of Fire* atau Cincin Api Pasifik yang menyebabkan banyak sekali deretan gunung berapi aktif yang tersebar di banyak pulau. Adanya pergerakan dari lempeng-lempeng dan aktivitas gunung berapi akan menyebabkan banyak gempa bumi yang terjadi dari skala kecil hingga besar.

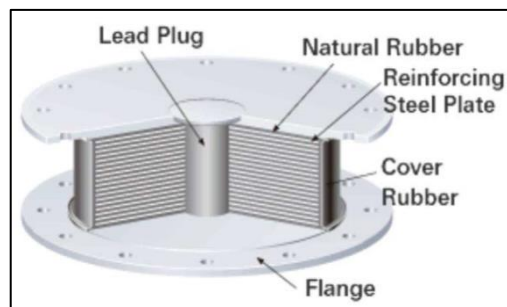
Gempa bumi dapat menyebabkan kerusakan pada struktur bangunan seperti infrastruktur, fasilitas umum serta tempat tinggal yang berdampak pada keselamatan manusia dan kerugian materiel. Oleh karena itu dalam perancangan bangunan gedung di Indonesia harus mengikuti peraturan yang berlaku dalam Standar Nasional Indonesia (SNI), khususnya SNI 1726 yang secara khusus mengatur tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk bangunan gedung dan non gedung. Seiring berjalannya waktu, peraturan tersebut mengalami perubahan dan penyesuaian berdasarkan perubahan peta gempa akibat perkembangan ilmu dan hasil penelitian data dari peristiwa gempa yang baru terjadi. Maka untuk bangunan gedung yang dirancang dan dibangun dengan peraturan gempa lama perlu dievaluasi menggunakan peraturan gempa baru. Untuk meningkatkan respons bangunan gedung agar sesuai dengan peraturan gempa baru maka perlu dilakukan *retrofitting* atau perkuatan struktur.

Retrofitting atau perkuatan struktur terbagi menjadi *retrofitting* global dan *retrofitting* lokal. *Retrofitting* global meliputi pemasangan dinding geser, pemasangan breising, penebalan dinding, reduksi massa, dan pemasangan sistem isolasi gempa. *Retrofitting* lokal meliputi perkuatan pondasi, pembungkusan kolom atau balok, dan penambahan tulangan pada balok. Pada skripsi ini akan digunakan *retrofitting* global dengan pemasangan sistem isolasi gempa pada bangunan gedung eksisting.

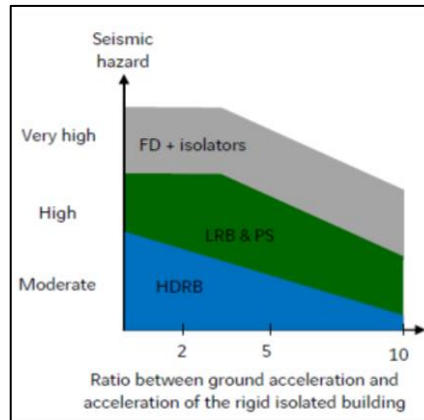
Sistem isolasi gempa merupakan bagian dari sistem kontrol pasif dengan mendisipasi energi gempa dan mengisolasi karakteristik dinamik sehingga periode struktur bergeser dari periode pendek menjadi periode panjang sehingga terlindung dari efek kerusakan pada bangunan gedung akibat gempa yang terjadi. Adapun jenis sistem isolasi gempa terdiri dari *elastomeric isolation systems* dan *sliding isolation systems*. Jenis *elastomeric isolation systems* sendiri sudah cukup banyak digunakan untuk perancangan gedung baru dengan *base isolation* namun masih sedikit digunakan untuk memperkuat struktur gedung eksisting. Contoh dari *elastomeric isolation systems* antara lain *High Damping Rubber Bearing (HDRB)*, *Lead Rubber Bearing (LRB)*, dan *Pendulum System Bearing (PS)*.

Skripsi ini akan membahas *retrofitting* dengan menggunakan *Lead Rubber Bearing (LRB)* seperti pada Gambar 1.1 yang menggunakan *lead* berbahan timah pada bagian tengah yang dilapisi dengan lapisan karet yang membuat pergerakan ke seluruh arah horizontal dan lapisan baja yang menahan beban secara aksial. Pemilihan dari *Lead Rubber Bearing (LRB)* didasari kemampuannya untuk mengisolasi dan mendisipasi energi untuk efek gempa yang tinggi dibandingkan dengan *elastomeric isolation systems* lainnya seperti pada Gambar 1.2.

Menurut analisis yang dilakukan oleh Massimiliano Ferraioli dan Alberto Mandara (2017) pada bangunan rumah sakit 5 lantai diperoleh bahwa dengan melakukan *retrofitting* menggunakan *Lead Rubber Bearing (LRB)* pada kolom mampu meningkatkan kapasitas struktur dalam hal kekuatan, kekakuan, dan daktilitas serta mengurangi efek gaya gempa dengan tetap mempertahankan fungsionalitas dan arsitektur dari bangunan gedung eksisting.



Gambar 1.1 *Lead Rubber Bearing (LRB)* (bridgestone.com)



Gambar 1.2 Perbandingan *Elastomeric Isolation Systems* (freyssinet.com)

1.2 Inti Permasalahan

Pergerakan lempeng tektonik dari waktu ke waktu dan aktivitas gunung berapi yang dinamis di Indonesia menyebabkan adanya perubahan dan pembaruan peta gempa di Indonesia. SNI 1726-2012 menggunakan peta gempa tahun 2010, sedangkan SNI 1726-2019 menggunakan peta gempa tahun 2017. Dengan adanya perubahan pada peta gempa, maka beban gempa pada gedung juga akan berubah. Hal ini menyebabkan gedung yang didesain menggunakan SNI 1726-2012 harus dievaluasi menggunakan SNI 1726-2019 sebagai peraturan terbaru yang berlaku saat ini untuk menentukan apakah perlu dilakukan *retrofitting*.

1.3 Tujuan Penelitian

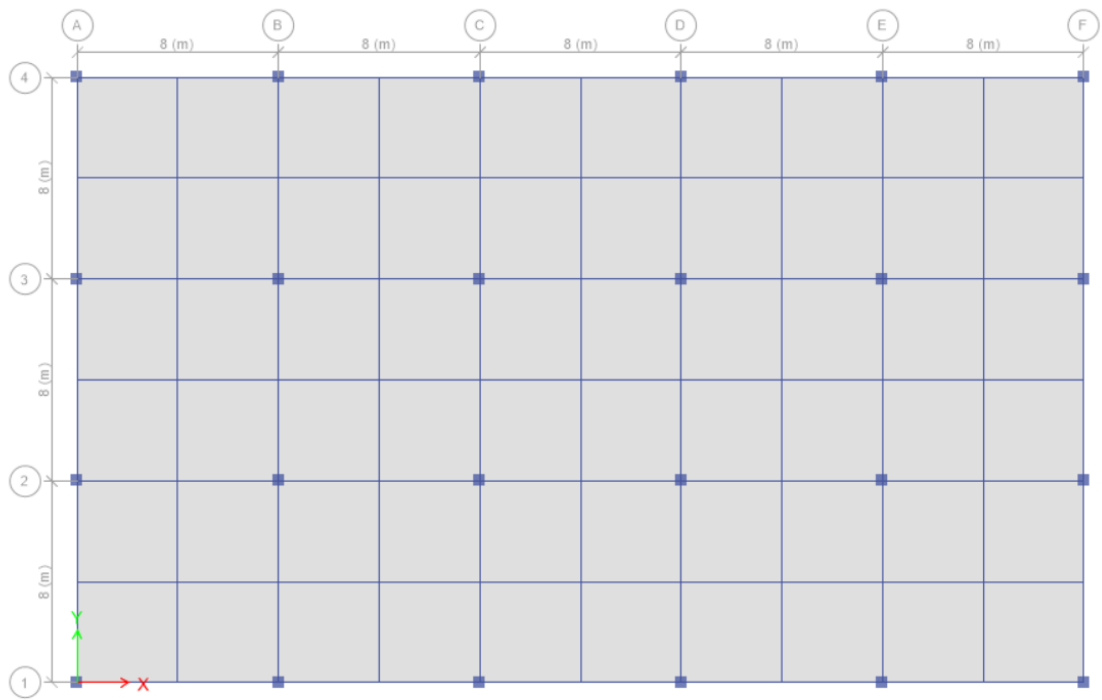
Tujuan penelitian pada skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis dan mengevaluasi gedung yang didesain dengan beban gempa menurut SNI 1726-2012 terhadap SNI 1726-2019.
2. Meningkatkan karakteristik dinamik gedung eksisting agar sesuai dengan peraturan gempa baru dengan melakukan *retrofitting* pada kolom lantai dasar yang dipasang *Lead Rubber Bearing* (LRB).
3. Mengetahui pengaruh letak *Lead Rubber Bearing* (LRB) terhadap respons struktur dengan melakukan variasi posisi (atas, tengah, dan bawah) pada kolom lantai dasar.
4. Membandingkan respons struktur sebelum dan setelah mengalami *retrofitting*.

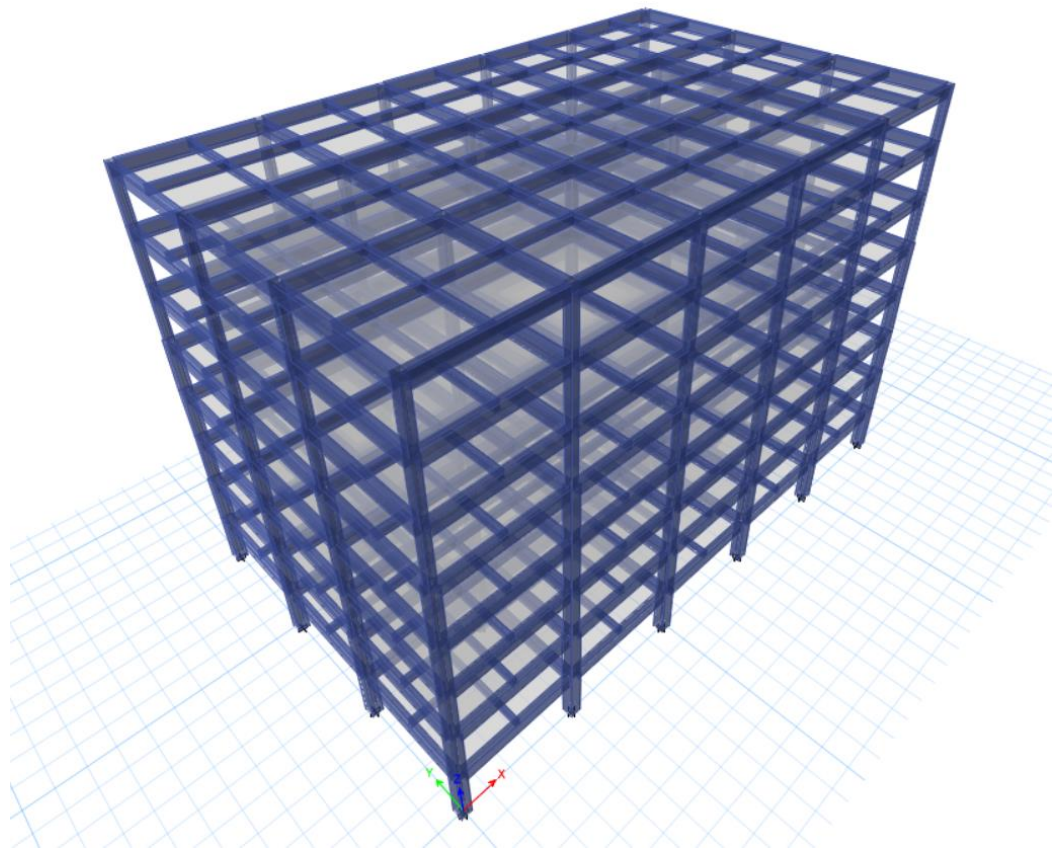
1.4 Pembatasan Masalah

Pembatasan masalah pada skripsi ini adalah sebagai berikut:

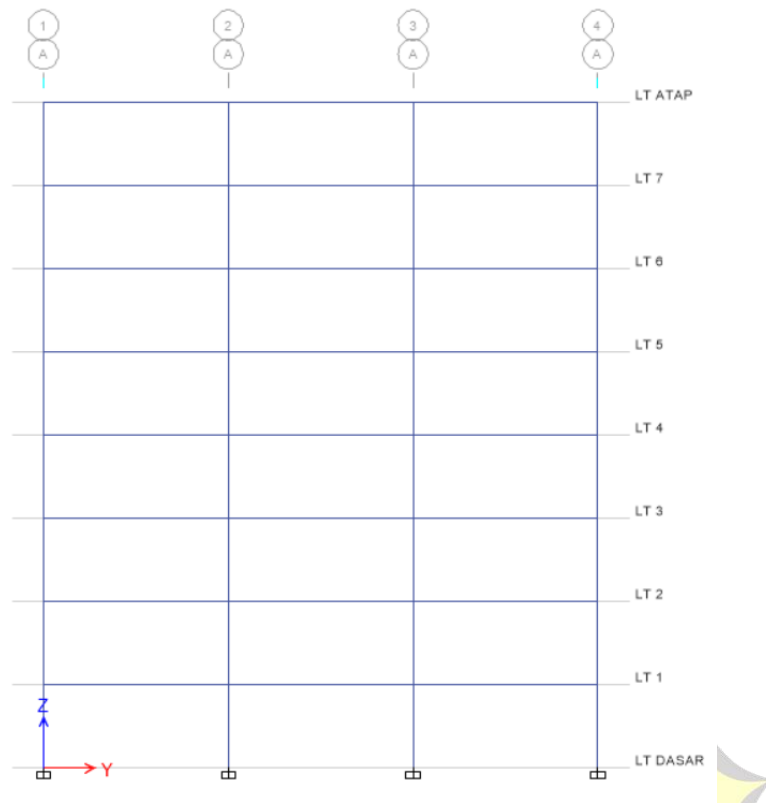
1. Gedung struktur beton bertulang dengan jumlah tingkat 8 lantai. Ketinggian masing-masing tingkat 3,6 meter. Pemodelan gedung terdapat pada Gambar 1.3 sampai dengan Gambar 1.9.
2. Fungsi bangunan gedung adalah Perkantoran.
3. Bangunan gedung terletak di Kota Jakarta dengan *site class* D (tanah sedang).
4. Bangunan eksisting didesain berdasarkan peraturan gempa SNI 1726-2012.
5. Mutu beton yang digunakan adalah $f_c' = 30$ MPa serta mutu tulangan baja yang digunakan adalah $f_y = 420$ MPa.
6. Sistem isolasi gempa yang digunakan adalah *Lead Rubber Bearing* (LRB).
7. **Model 1** adalah gedung eksisting berdasarkan SNI 1726-2012, **Model 2** adalah gedung eksisting yang dianalisis berdasarkan SNI 1726-2019, **Model 3A** adalah gedung *retrofitting* dengan LRB di bagian atas kolom (Gambar 1.7), **Model 3B** adalah gedung *retrofitting* dengan LRB di bagian tengah kolom (Gambar 1.8), **Model 3C** adalah gedung *retrofitting* dengan LRB di bagian bawah kolom (Gambar 1.9).
8. Sistem struktur adalah Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).
9. Analisis yang dipergunakan analisis respons spektrum, dan analisis linier riwayat waktu.
10. Perancangan dan perhitungan pondasi tidak dilakukan.
11. Peraturan yang digunakan adalah:
 - SNI 1726-2012 Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung.
 - SNI 1726-2019 Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung.
 - SNI 1727-2013 Beban minimum untuk perancangan gedung dan struktur lain.
 - SNI 2847-2013 Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung.



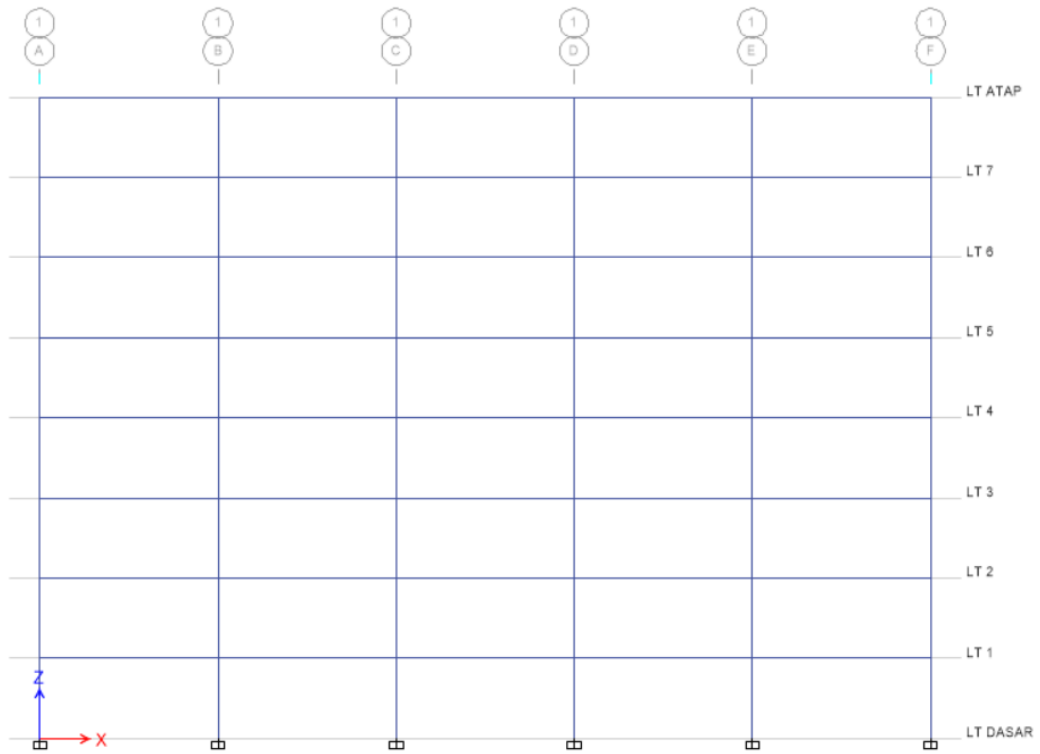
Gambar 1.3 Denah Model Struktur 1, 2, dan 3A-3C



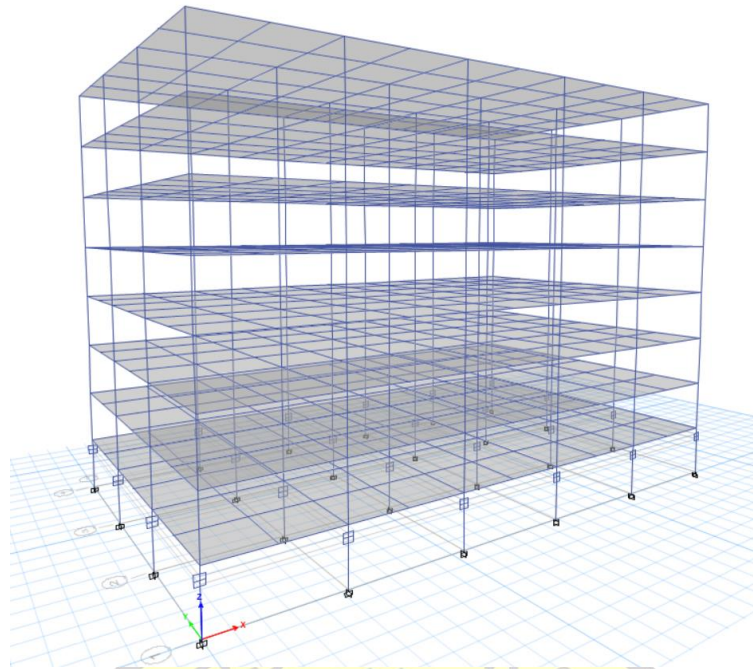
Gambar 1.4 Tampak 3 Dimensi Struktur Model 1 dan 2



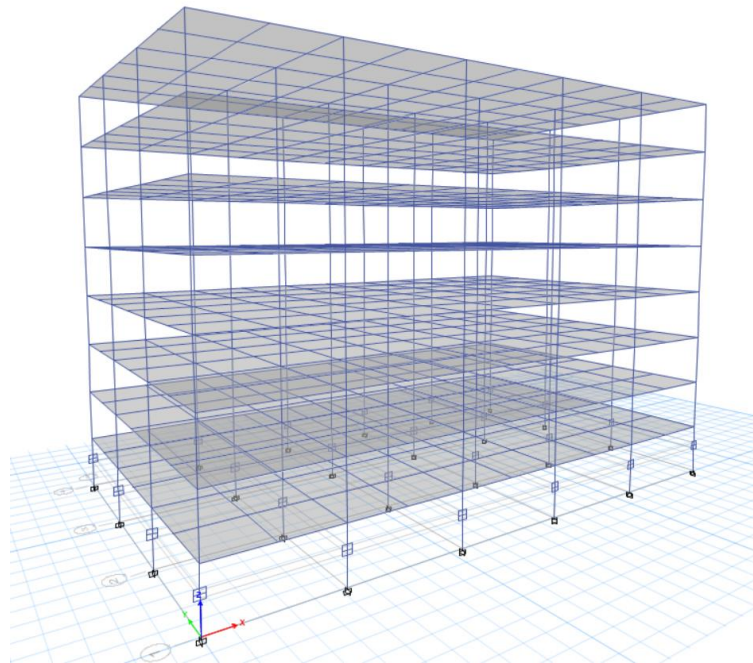
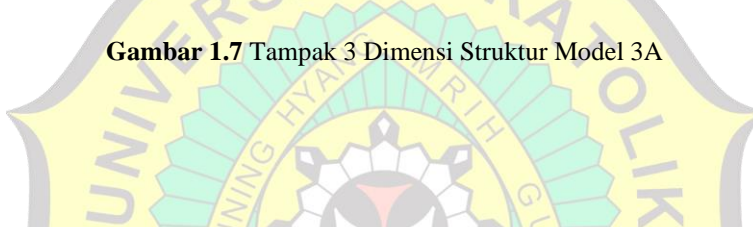
Gambar 1.5 Potongan Model 1 dan 2 As A – As F



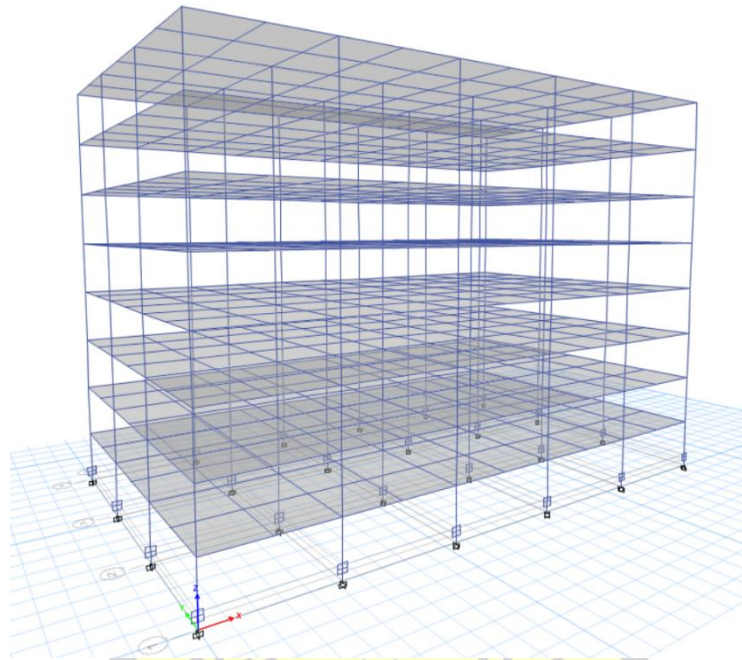
Gambar 1.6 Potongan Model 1 dan 2 As 1 – As 4



Gambar 1.7 Tampak 3 Dimensi Struktur Model 3A



Gambar 1.8 Tampak 3 Dimensi Struktur Model 3B



Gambar 1.9 Tampak 3 Dimensi Struktur Model 3C

1.5 Metode Penelitian

Penulisan penelitian dilakukan dengan dua metode, yaitu:

1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan agar memperoleh pemahaman secara matang mengenai topik pembahasan. Sumber-sumber yang digunakan dalam penulisan ini berasal dari buku-buku, jurnal, peraturan yang berlaku, dan artikel atau tulisan yang terdapat di internet.

2. Studi Analisis

Studi analisis dilakukan untuk membantu proses perencanaan terhadap bangunan gedung yang sedang diteliti. Program yang digunakan untuk pemodelan, analisis, dan desain struktur bangunan adalah ETABS, Mathcad, dan Microsoft Excel.

1.6 Diagram Alir

Pembuatan diagram alir bertujuan untuk menunjukkan proses penelitian yang akan dilakukan untuk menyelesaikan skripsi ini.

