

SKRIPSI

**STUDI PERILAKU DINAMIK INELASTIK RANGKA
BETON PEMIKUL MOMEN KHUSUS YANG MEMILIKI
KETIDAKBERATURAN TORSI DENGAN BASE
ISOLATION TIPE LEAD RUBBER BEARING**



**MICHAEL EZRANOVALDI
NPM : 6101901022**

PEMBIMBING: Dr. Johannes Adhijoso Tjondro

KO-PEMBIMBING: Liyanto Eddy, Ph.D.

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X/2021)
BANDUNG
JANUARI 2023**

THESIS

**STUDY ON INELASTIC DYNAMIC BEHAVIOR OF
SPECIAL MOMENT RESISTING CONCRETE FRAME
WITH TORSIONAL IRREGULARITY AND LEAD
RUBBER BEARING BASE ISOLATION**



**MICHAEL EZRANOVALDI
NPM : 6101901022**

ADVISOR: Dr. Johannes Adhijoso Tjondro

CO-ADVISOR: Liyanto Eddy, Ph.D.

**PARAHYANGAN CATHOLIC UNIVERSITY
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
BACHELOR PROGRAM**

(Accredited by SK BAN-PT Nomor: 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X/2021)

**BANDUNG
JANUARI 2023**

SKRIPSI

**STUDI PERILAKU DINAMIK INELASTIK RANGKA
BETON PEMIKUL MOMEN KHUSUS YANG MEMILIKI
KETIDAKBERATURAN TORSI DENGAN BASE
ISOLATION TIPE LEAD RUBBER BEARING**



**MICHAEL EZRANOVALDI
NPM : 6101901022**

BANDUNG, 23 JANUARI 2023

PEMBIMBING:

KO-PEMBIMBING:

Dr. Johannes Adhijoso Tjondro

Liyanto Eddy, Ph.D.

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X/2021)
BANDUNG
JANUARI 2023**

SKRIPSI

**STUDI PERILAKU DINAMIK INELASTIK RANGKA
BETON PEMIKUL MOMEN KHUSUS YANG MEMILIKI
KETIDAKBERATURAN TORSI DENGAN BASE
ISOLATION TIPE LEAD RUBBER BEARING**



NAMA: MICHAEL EZRANOVALDI

NPM: 6101901022

PEMBIMBING: Dr. Johannes Adhijoso Tjondro

KO-PEMBIMBING: Liyanto Eddy, Ph.D.

PENGUJI 1: Lidya Fransisca Tjong, Ir., MT.

PENGUJI 2: Helmy Hermawan Tjahjanto, Ph.D.

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X/2021)
BANDUNG
JANUARI 2023**

LEMBAR PERNYATAAN

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

Nama : Michael Ezranovaldi

NPM : 6101901022

Program Studi : Teknik Sipil

Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan

Menyatakan bahwa skripsi / tesis / disertasi^{*)} dengan judul:

STUDI PERILAKU DINAMIK INELASTIK RANGKA BETON PEMIKUL MOMEN KHUSUS YANG MEMILIKI KETIDAKBERATURAN TORSI DENGAN BASE ISOLATION TIPE LEAD RUBBER BEARING

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: 7 Januari 2023



Michael Ezranovaldi

STUDI PERILAKU DINAMIK INELASTIK RANGKA BETON PEMIKUL MOMEN KHUSUS YANG MEMILIKI KETIDAKBERATURAN TORSI DENGAN BASE ISOLATION TIPE LEAD RUBBER BEARING

Michael Ezranovaldi
NPM: 6101901022

Pembimbing: Dr. Johannes Adhijoso Tjondro
Ko-Pembimbing: Liyanto Eddy, Ph.D.

UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X/2021)
BANDUNG
JANUARI 2023

ABSTRAK

Kebutuhan akan gedung bertingkat yang meningkat di Indonesia dengan bentuk dan fungsi bangunan yang beragam dapat menyebabkan ketidakberaturan torsi. Keberadaan ketidakberaturan torsi pada bangunan perlu dipelajari untuk melihat perilaku dinamik dari bangunan dengan ketidakberaturan torsi yang berbeda dengan bangunan yang beraturan. Lokasi geografis Indonesia menyebabkan Indonesia sangat rawan terhadap gempa. Untuk mereduksi gaya gempa dapat dilakukan dengan menggunakan sistem *base isolation* dengan memisahkan struktur bangunan atas dari struktur pondasi untuk mencegah gaya gempa ditransfer ke struktur utama. Pada skripsi ini, akan dilakukan studi perbandingan gedung *fixed base* dan gedung dengan *base isolation* tipe *lead rubber bearing* dengan variasi koefisien modifikasi respon (R) sebesar 2 dan 5. Analisis akan dilakukan dengan metode analisis spektrum respons dan analisis riwayat waktu respons nonlinier dengan 5 rekaman percepatan gempa. Nilai koefisien $R = 2$ untuk bangunan dengan sistem isolasi yang disyaratkan SNI membuat dimensi elemen struktur dan kebutuhan tulangan menjadi sangat besar. Hal ini kontradiksi dengan tujuan penggunaan *base isolation* untuk mengurangi gaya gempa yang bekerja pada bangunan. Hasil analisis juga menunjukkan penggunaan *base isolation* pada model gedung *base isolated* dengan $R = 2$ tidak menghasilkan peningkatan signifikan periode getar fundamental struktur gedung dan pengurangan ketidakberaturan torsi pada gedung. Ketidakberaturan torsi pada gedung menyebabkan sendi plastis terbentuk pertama kali pada elemen struktur kolom yang terletak terjauh dari pusat rotasi gedung.

Kata Kunci: analisis riwayat waktu respons nonlinier, analisis spektrum respons, *base isolation*, ketidakberaturan torsi, koefisien modifikasi respon (R), *lead rubber bearing*

STUDY ON INELASTIC DYNAMIC BEHAVIOR OF SPECIAL MOMENT RESISTING CONCRETE FRAME WITH TORSIONAL IRREGULARITY AND LEAD RUBBER BEARING BASE ISOLATION

Michael Ezranovaldi
NPM: 6101901022

Advisor: Dr. Johannes Adhijoso Tjondro
Co-Advisor: Liyanto Eddy, Ph.D.

PARAHYANGAN CATHOLIC UNIVERSITY
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
BACHELOR PROGRAM
(Accredited by SK BAN-PT Nomor: 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X/2021)
BANDUNG
JANUARI 2023

ABSTRACT

The demand for high-rise buildings is increasing in Indonesia with various form and function of buildings that can cause torsional irregularities. The existence of torsional irregularities in buildings needs to be analyzed to understand the dynamic behavior of buildings with torsional irregularities that are different from regular buildings. The geographical location of Indonesia is very prone to earthquakes. To reduce the earthquake forces is to use a base isolation system with separating the upper building from the foundation structure to prevent earthquake forces from being transferred to the main structure. In this thesis, a comparative study of a fixed base building and a building with lead rubber bearing type base isolation and variation of response modification factor (R) of 2 and 5 will be conducted. The analysis will be conducted using response spectrum analysis and nonlinear time-history analysis with 5 ground acceleration records. The coefficient $R = 2$ for buildings with isolation systems, which is a required by SNI, makes the dimensions of structural elements and reinforcement very large. This contradicts the purpose of using base isolation to reduce the earthquake forces acting on the building. The results of the analysis also show that the use of base isolation in the model with coefficient $R = 2$ does not result in a significant increase in the fundamental vibration period of the building structure and a reduction in torsional irregularities in the building. The torsional irregularities in the building cause plastic hinges to form first in the column that are farthest from the building's center of rotation.

Keywords: base isolation, nonlinear time-history analysis, response modification factor (R), torsional irregularity

PRAKATA

Puji Syukur Kepada Tuhan Yesus Kristus atas segala berkat dan karunia-Nya yang senantiasa memberikan kesehatan, perlindungan, kekuatan, dan perlindungan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul Studi Perilaku Dinamik Inelastik Rangka Beton Pemikul Momen Khusus Yang Memiliki Ketidakberaturan Torsi Dengan Base Isolation Tipe Lead Rubber Bearing. Skripsi ini dibuat sebagai pemenuhan salah satu syarat akademik untuk memperoleh gelar sarjana di Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil, Universitas Katolik Parahyangan.

Selama penulisan dan penyusunan skripsi ini, penulis menemui dan mengalami banyak rintangan, masalah, serta hambatan baik dalam skala yang besar maupun yang kecil. Penulis sangat bersyukur karena dikelilingi oleh orang-orang yang senantiasa memberikan dukungan, bantuan, dan motivasi sehingga penulis dapat melewati semua hambatan serta dapat menyelesaikan skripsi dengan baik. Oleh sebab itu, penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Tuhan Yesus Kristus atas segala berkat dan kekuatan yang dilimpahkan sehingga penulisan skripsi dapat diselesaikan dengan baik.
2. Seluruh anggota keluarga yaitu kedua orang tua mama dan papa serta kakak yang tidak pernah lupa memberikan dukungan dalam bentuk doa, semangat, dan kasih sayang untuk penulis sehingga penulis dapat melewati masa-masa sulit ketika menyelesaikan skripsi ini.
3. Bapak Dr. Johannes Adhijoso Tjondro selaku dosen pembimbing dengan penuh kesabaran selalu menyediakan waktu untuk memberikan bimbingan serta masukan ketika penulis menemui kesulitan dalam penyusunan skripsi.
4. Bapak Liyanto Eddy, Ph.D. selaku dosen ko-pembimbing yang selalu meluangkan waktu dan menyumbangkan pemikirannya ketika berdiskusi serta membagikan ilmunya demi kelancaran penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
5. Dosen-dosen pengajar di program studi Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan yang telah memberikan ilmu pengetahuan serta saran dan masukan sehingga skripsi ini dapat menjadi lebih baik.

6. Calvin Hindarto, Linda, dan Nicholas Tjandra sebagai teman sepembimbingan dalam topik skripsi analisis struktur yang selalu meluangkan waktu untuk bertukar pikiran dan berdiskusi serta memberikan jawaban atas pertanyaan penulis.
7. Antoni Lovendio, Adela Amabel, Marchel Hartono, Temmy Dwi Ananda Noor, dan Andreas Lukito selaku teman main yang selalu memberikan hiburan dan meluangkan waktu untuk dapat bermain bersama sehingga penulis dapat menghilangkan kepenatan.
8. Aldynova Suryadi, Aurelius Adrienne, dan Kelvin Mario selaku teman SMA yang tetap menjadi teman main penulis sejak awal perkuliahan hingga masa penyusunan skripsi yang selalu memberikan hiburan dan dukungan.
9. Ernest Giovanni selaku teman SMP selaku teman yang juga dalam penyusunan skripsi karena selalu bersedia dalam memberikan masukan dan berdiskusi mengenai penyusunan skripsi.
10. Seluruh teman-teman Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan Angkatan 2019 atas segala kebersamaan, doa, dan dukungannya.
11. Seluruh pihak yang telah membantu penulis dalam penyusunan skripsi ini baik secara langsung maupun tidak langsung selama penulisan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini jauh dari sempurna dengan segala kekurangan, kelemahan, dan ketidaksempurnaan mengingat keterbatasan yang dimiliki penulis. Oleh karenanya, penulis sangat terbuka atas segala masukan dan kritikan dari pembaca agar penulis dapat terus bertumbuh. Penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada pembaca dan berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi orang yang membacanya.

Bandung, 22 Desember 2022



Michael Ezranovaldi

6101901022

DAFTAR ISI

LEMBAR PERNYATAAN	vii
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
PRAKATA	x
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR NOTASI	xix
DAFTAR GAMBAR.....	xxii
DAFTAR TABEL	xxvii
DAFTAR LAMPIRAN	xxxiii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1-1
1.1 Latar Belakang.....	1-1
1.2 Inti Permasalahan	1-3
1.3 Tujuan Penelitian.....	1-3
1.4 Pembatasan Masalah.....	1-4
1.5 Metode Penulisan	1-6
1.6 Diagram Alir.....	1-7
1.7 Sistematika Penulisan	1-9
BAB 2 DASAR TEORI.....	2-1
2.1 Perbandingan Desain Konvensional dengan Konsep Base Isolation	2-1
2.2 <i>Base Isolation</i>	2-1
2.3 Tipe <i>Base Isolation</i>	2-2
2.3.1 <i>Elastomeric-based system</i>	2-2
2.3.2 <i>Isolation System Based on Sliding</i>	2-3
2.3.3 <i>Spring-type system</i>	2-4

2.4	Pemodelan <i>Base Isolation</i>	2-5
2.4.1	<i>Preliminary Design Lead Rubber Bearing (LRB)</i>	2-5
2.4.2	<i>Preliminary Design Lanjutan Lead Rubber Bearing (LRB)</i>	2-7
2.5	SNI 1726:2019	2-12
2.5.1	Gempa Rencana	2-12
2.5.2	Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Faktor Keutamaan Gempa	2-12
2.5.3	Kombinasi Pembebanan.....	2-13
2.5.4	Kombinasai Pembebanan dengan Pengaruh Beban Seismik	2-13
2.5.5	Klasifikasi Situs	2-15
2.5.6	Koefisien-Koefisien Situs dan Paramater-Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget (MCE_R).....	2-16
2.5.7	Parameter Percepatan Spektral Desain.....	2-17
2.5.8	Spektrum Respons Desain	2-17
2.5.9	Kategori Desain Seismik.....	2-19
2.5.10	Sistem Struktur Pemikul Gaya Seismik	2-20
2.5.11	Ketidakteraturan Struktur.....	2-21
2.5.12	Ketidakteraturan Torsi.....	2-22
2.5.13	Faktor Redundansi	2-22
2.5.14	Penentuan Periode	2-23
2.5.15	Pembesaran Momen Torsi Tak Terduga.....	2-24
2.5.16	Simpangan Antar Tingkat	2-25
2.5.17	Penskalaan Gaya	2-26
2.6	Struktur dengan Isolasi Dasar	2-27
2.6.1	Faktor Keutamaan Gempa.....	2-27
2.6.2	Konfigurasi.....	2-27

2.6.3 Redundansi Struktur dengan Isolasi Dasar	2-27
2.6.4 Stabilitas Beban Vertikal	2-27
2.6.5 Properti Sistem Isolasi pada Perpindahan Maksimum	2-28
2.6.6 Koefisien Modifikasi Respon pada Struktur dengan Isolasi Dasar ...	2-28
2.6.7 Batas Simpangan Antar Tingkat.....	2-28
2.7 Pemilihan Prosedur Analisis pada Struktur dengan Isolasi Dasar.....	2-29
2.7.1 Prosedur Gaya Lateral Ekuivalen	2-29
2.7.2 Prosedur Spektrum Respons	2-30
2.7.3 Prosedur Riwayat Respons	2-30
2.8 Prosedur Gaya Lateral Ekuivalen pada Struktur dengan Isolasi Dasar	2-30
2.8.1 Perpindahan Maksimum	2-30
2.8.2 Periode Efektif pada Saat Perpindahan Maksimum	2-31
2.8.3 Perpindahan Maksimum Total	2-31
2.8.4 Sistem Isolasi dan elemen-elemen Struktural di Bawah Tingkat Dasar	2-32
2.8.5 Elemen Struktural di Atas Tingkat Dasar	2-33
2.8.6 Batas v_s	2-34
2.9 Prosedur Analisis Dinamik.....	2-34
2.9.1 Respons Spektra dan Parameter Percepatan Respons Spektral MCE_R .	2-34
2.9.2 Batasan Simpangan antar Tingkat	2-34
2.10 Analisis Riwayat Waktu Respons Nonlinier	2-35
2.10.1 Beban Gravitasi	2-35
2.10.2 Efek P-Delta	2-35
2.10.3 Simpangan Antar Tingkat.....	2-35
2.10.4 Rekaman Percepatan Gempa	2-36

2.10.5 Penskalaan Percepatan Gempa.....	2-36
2.10.6 Sendi Plastis	2-37
2.10.7 Tingkat Kinerja Struktur	2-38
BAB 3 STUDI KASUS.....	3-1
3.1 Model Gedung.....	3-1
3.2 Data Gedung.....	3-2
3.3 Spesifikasi Material.....	3-3
3.3.1 Beton	3-3
3.3.2 Baja Tulangan	3-3
3.4 Pembebanan	3-3
3.4.1 Beban Mati	3-3
3.4.2 Beban Mati Tambahan	3-3
3.4.3 Beban Hidup	3-4
3.4.4 Beban Gempa.....	3-4
3.5 Kombinasi Pembebanan.....	3-5
3.6 Elemen Struktur	3-6
3.7 Pemodelan dan Spesifikasi <i>Lead Rubber Bearing</i>	3-6
3.8 Analisis Riwayat Waktu.....	3-7
3.9 Pemodelan Sendir Plastis	3-9
BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN	4-1
4.1 Analisis Modal dengan Respons Spektrum Gedung <i>Fixed Base</i>	4-1
4.1.1 Dimensi Elemen Struktur dan Kebutuhan Tulangan	4-1
4.1.2 Gerak Dominan Gedung	4-2
4.1.3 Ragam Getar dan Periode Getar Fundamental.....	4-2
4.1.4 Gaya Geser Dasar.....	4-3
4.1.5 Simpangan Antar Tingkat	4-3

4.1.6 Perpindahan (<i>Story Displacement</i>)	4-4
4.1.7 Pengecekan Ketidakberaturan Horizontal	4-5
4.1.8 Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal	4-7
4.2 Analisis Modal dengan Respons Spektrum Gedung <i>Base Isolated</i> dengan $R = 5$ dan $R = 2$	4-11
4.2.1 Dimensi Elemen Struktur dan Kebutuhan Tulangan	4-11
4.2.2 Gerak Dominan Gedung	4-13
4.2.3 Ragam Getar dan Periode Getar Fundamental	4-13
4.2.4 Gaya Geser Dasar	4-15
4.2.5 Simpangan Antar Tingkat	4-15
4.2.6 Perpindahan (<i>Story Displacement</i>)	4-17
4.2.7 Pengecekan Ketidakberaturan Torsi	4-17
4.3 Analisis Riwayat Waktu Respons Nonlinear Gedung <i>Fixed Base</i>	4-19
4.3.1 Gaya Geser Dasar dan Faktor Kuat Lebih	4-19
4.3.2 Rasio Simpangan Antar Tingkat (<i>Story Drift</i>)	4-20
4.3.3 Simpangan Antar Tingkat (<i>Story Drift</i>)	4-21
4.3.4 Perpindahan (<i>Story Displacement</i>)	4-22
4.3.5 Sendi Plastis	4-23
4.3.6 Tingkat Kinerja Struktur	4-26
4.4 Analisis Riwayat Waktu Respons Nonlinear Gedung <i>Base Isolated</i> dengan $R = 5$ dan $R = 2$	4-27
4.4.1 Gaya Geser Dasar dan Faktor Kuat Lebih	4-27
4.4.2 Rasio Simpangan Antar Tingkat (<i>Story Drift</i>)	4-28
4.4.3 Simpangan Antar Tingkat (<i>Story Drift</i>)	4-30
4.4.4 Perpindahan (<i>Story Displacement</i>)	4-32
4.4.5 Sendi Plastis	4-34

4.4.6 Tingkat Kinerja Struktur	4-39
4.4.7 Kurva Histerisis.....	4-39
4.5 Perbandingan Model Gedung <i>Fixed Base</i> dengan <i>Base Isolated</i>	4-44
4.5.1 Periode Getar Fundamental.....	4-44
4.5.2 Gaya Geser Dasar.....	4-45
4.5.3 Simpangan Antar Tingkat (<i>Story Drift</i>)	4-46
4.5.4 Grafik Perbandingan Simpangan Antar Tingkat Gedung <i>Fixed Based</i> dan <i>Base Isolated</i>	<i>Fixed</i> 4-48
4.5.5 Perpindahan (<i>Story Displacement</i>).....	4-51
4.5.6 Grafik Perbandingan Perpindahan Gedung <i>Fixed Based</i> dan <i>Base Isolated</i>	4-53
4.5.7 Sendi Plastis	4-56
4.5.8 Perbandingan Ketidakberaturan Torsi.....	4-57
4.5.9 Dimensi Struktur dan Kebutuhan Tulangan.....	4-58
4.6 Pengaruh Ketidakberaturan Torsi terhadap Perilaku Gerak Lantai	4-59
4.7 Pengaruh Ketidakberaturan Torsi terhadap Perilaku Gedung.....	4-62
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	5-1
5.1 Kesimpulan	5-1
5.2 Saran.....	5-2
DAFTAR PUSTAKA	xxviii
LAMPIRAN 1 PRELIMINARY DESIGN ELEMEN STRUKTUR.....	L1-1
LAMPIRAN 2 PRELIMINARY DESIGN LEAD RUBBER BEARING (LRB) R = 2	L2-1
LAMPIRAN 3 PRELIMINARY DESIGN LANJUTAN LEAD RUBBER BEARING (LRB) R = 2.....	L3-1
LAMPIRAN 4 PRELIMINARY DESIGN LEAD RUBBER BEARING (LRB) R = 5	L4-1

LAMPIRAN 5 PRELIMINARY DESIGN LANJUTAN LEAD RUBBER BEARING (LRB) R = 5 L5-1

LAMPIRAN 6 SPESIFIKASI LEAD RUBBER BEARING MODEL GEDUNG BASE ISOLATED R = 2 L6-1

LAMPIRAN 7 SPESIFIKASI LEAD RUBBER BEARING MODEL GEDUNG BASE ISOLATED R = 5 L7-1

LAMPIRAN 8 PENGECEKAN GAYA GESER DASAR BASE ISOLATORL8-1



DAFTAR NOTASI

Tuliskan seluruh notasi (terutama yang tidak umum) yang Anda gunakan dalam penulisan skripsi ini. Urutkan sesuai abjad dan notasi berupa simbol latin diletakkan pada posisi paling akhir.

A_{LP} : Luas *lead plug* dari *lead rubber bearing* (mm^2)

A_{LRB} : Luas *lead rubber bearing* (mm^2)

b : Ukuran denah struktur terpendek diukur tegak lurus terhadap d

B_M : Koefisien numerik terkait dengan redaman efektif sistem isolasi pada perpindahan maksimum (β_M)

C_d : Faktor pembesaran simpangan lateral

C_t : Koefisien C_t , berdasarkan nilai pada tabel 2.12

C_u : Koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung, berdasarkan Tabel 2.11

D : Perpindahan struktur (mm)

d : Ukuran terpanjang denah struktur

d_{LP} : Diameter *lead plug* dari *lead rubber bearing* (mm)

d_{LRB} : Diameter *lead rubber bearing* (mm)

D_M : Perpindahan maksimum di titik pusat kekakuan sistem isolasi di arah yang ditinjau

e : eksentrisitas sesungguhnya diukur dari denah antara titik pusat massa struktur di atas batas pemisahan isolasi dan titik pusat kekakuan sistem isolasi, ditambah dengan eksentrisitas tak terduga, dalam mm, diambil sebesar 5% dari ukuran maksimum bangunan tegak lurus untuk arah gaya yang ditinjau

G : Shear modulus dari karet (kN/m^2)

g : Percepatan gravitasi (m/s^2)

h_{sx} : Tinggi tingkat di bawah tingkat-x yang ditinjau

I_e : Faktor keutamaan gempa

K_1 : Kekakuan awal dari *lead rubber bearing* (kN/m)

K_2 : Kekakuan pasca leleh dari *lead rubber bearing* (kN/m)

K_{eff} : Kekakuan efektif dari *lead rubber bearing* (kN/m^2)

- k_M : Kekakuan efektif minimum sistem isolasi pada perpindahan rencana (kN/m)
- N : Jumlah unit isolasi
- P_T : Rasio dari periode translasi efektif sistem isolasi terhadap periode torsional efektif sistem isolasi, yang dihitung dengan analisis dinamik atau sesuai Persamaan (2.40) tetapi tidak perlu kurang dari 1,0
- Q_d : *characteristic strength* dari *lead* (kN)
- Q_E : Pengaruh gaya seismik horizontal dari V atau F_p .
- R_I : Koefisien modifikasi respon pada struktur dengan isolasi dasar seperti yang ditentukan pada Subbab 2.6.6.
- r_I : Jari-jari girasi dari sistem isolasi (mm), yang sama dengan $\left(\frac{b^2+d^2}{12}\right)^{1/2}$ untuk sistem isolasi dengan ukuran denah persegi $b \times d$
- S_{DI} : Parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik
- S_{DS} : Nilai *reduced variate* dari variat x
- S_{MI} : Parameter percepatan spektral gempa maksimum yang dipertimbangan dengan redaman 5% pada periode 1 detik (g)
- S_S : Periode getar fundamental struktur
- T : Periode fundamental struktur
- T_a : Periode fundamental struktur berdasarkan hasil analisis
- T_{eff} : Periode efektif dari *lead rubber bearing* (detik)
- T_M : Periode efektif struktur dengan isolasi seismik (dalam detik)
- t_r : Total tebal *rubber* dari *lead rubber bearing* (mm)
- V : Gaya geser dasar hasil metode statik ekuivalen
- V_{st} : Gaya rencana seismik lateral tak tereduksi atau geser pada elemen-elemen di atas tingkat dasar (kN/m) seperti yang ditentukan pada persamaan (2.43)
- V_i : Gaya geser dasar hasil analisis ragam
- W : Berat seismik efektif struktur di atas sistem isolator dasar (kN)
- W_D : Total energi terdisipasi per siklus (kNm)
- W_{ext} : Berat seismik total dari struktur di atas sistem isolasi (kN)
- W_s : Berat seismik efektif struktur di atas sistem isolasi tidak termasuk berat seismik efektif pada tingkat dasar (kN)
- x : Berdasarkan nilai pada tabel 2.12

x_i, y_i : Jarak horizontal antara pusat massa terhadap unit isolasi ke-I dalam dua sumbu horizontal sistem isolasi (mm)

y : Jarak antara titik pusat kekakuan sistem isolasi dan elemen yang diinginkan, diukur tegak lurus terhadap arah beban seismik yang ditinjau

β_{eff} : Redaman efektif dari *lead rubber bearing* (%)

δ_{avg} : Rata-rata perpindahan di titik-titik terjauh di suatu tingkat x (mm) yang dihitung dengan asumsi $A_x = 1$ (mm)

δ_{max} : Perpindahan maksimum di suatu tingkat x (mm) yang dihitung dengan asumsi $A_x = 1$ (mm)

δ_{xe} : Simpangan di tingkat-x yang ditentukan dengan analisis elastik

ρ : Faktor redundansi.

ΣE_M : Energi terdisipasi total pada sistem isolasi selama respons satu siklus penuh pada perpindahan maksimum (kN-mm)

ΣE_M^- : Jumlah total nilai absolut gaya pada perpindahan negatif sama dengan perpindahan maksimum (kN)

ΣF_M^+ : Jumlah total nilai absolut gaya pada perpindahan positif sama dengan perpindahan maksimum (kN)

Ω_0 : Faktor kuat lebih

DAFTAR GAMBAR

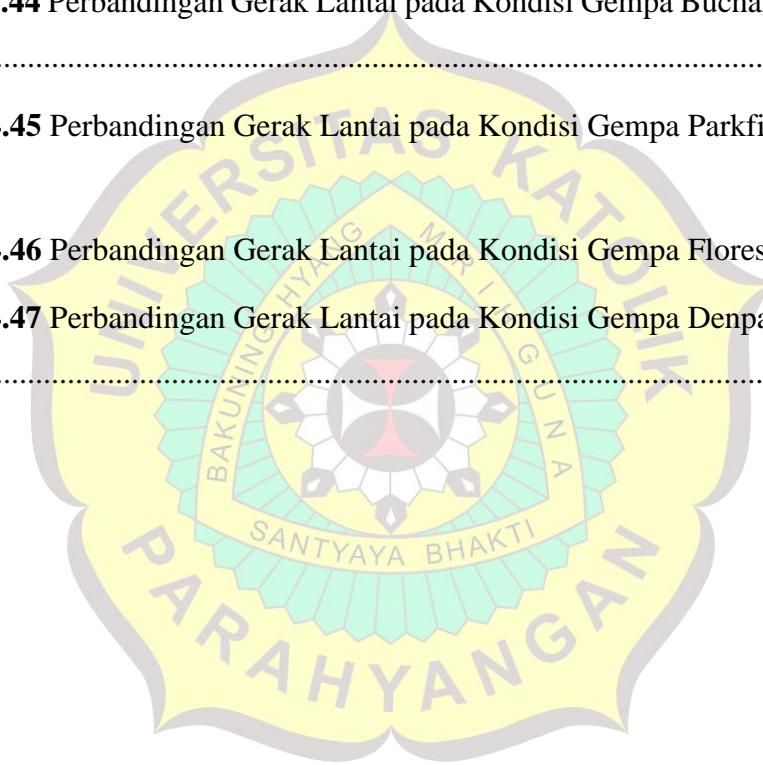
Gambar 1.1 Lead Rubber Bearing	1-3
Gambar 1.2 Denah Model Struktur.....	1-4
Gambar 1.3 Tampak 3 Dimensi Model Struktur	1-5
Gambar 1.4 Diagram Alir	1-8
Gambar 2.1 Prinsip bangunan konvensional dan dengan isolasi dasar (sumber : https://www.researchgate.net/publication/292982602_Seismic_Isolation_Systems_in_Structures-the_State_of_Art_Review)	2-2
Gambar 2.2 Friction pendulum system (FPS) (sumber : https://www.researchgate.net/figure/Scheme-of-the-Friction-Pendulum-System-FPS_fig4_210109277).....	2-4
Gambar 2.3 <i>Spring Vibration Isolators</i> (sumber : https://kineticsnoise.com/spring-vibration-isolators)	2-4
Gambar 2.4 Estimasi Perpindahan Struktur Berdasarkan Periode Efektif (sumber : IBC SEAOC Structural/Seismic Design Manual Volume 5 (2012))	2-5
Gambar 2.5 Diagram Alir <i>Preliminary Design Lead Rubber Bearing</i>	2-10
Gambar 2.6 Diagram Alir <i>Preliminary Design Lanjutan Lead Rubber Bearing</i> ..	2-11
Gambar 2.7 Spektrum respons desain (sumber : Gambar 3 SNI 1727:2019)...	2-18
Gambar 2.8 Peta transisi periode panjang (T_L), wilayah Indonesia (sumber : Gambar 20 SNI 1727:2019)	2-18
Gambar 2.9 Faktor pembesaran torsi (A_x) (sumber : Gambar 9 SNI 1727:2019)..	2-25
Gambar 2.10 Kurva Tegangan-Regangan.....	2-37
Gambar 2.11 Mekanisme Keruntuhan Ideal Suatu Struktur Gedung (Sumber : Gambar P.3. SNI 03-1726:2019).....	2-38
Gambar 2.12 Tingkat Kinerja Struktur Terhadap Gaya Geser dan Perpindahan (sumber : Figure C7-3-ASCE 41-2017)	2-39

Gambar 3.1 Model gedung 3D	3-1
Gambar 3.2 Model Perletakan <i>Fixed Base</i>	3-1
Gambar 3.3 Model Perletakan <i>Base Isolated</i>	3-2
Gambar 3.4 Parameter-parameter Beban Gempa	3-5
Gambar 3.5 Rekaman Percepatan Gempa El Centro 1940 N-S	3-8
Gambar 3.6 Rekaman Percepatan Gempa Bucharest 1977 N-S.....	3-8
Gambar 3.7 Rekaman Percepatan Gempa Parkfield 1966 N65SE.....	3-8
Gambar 3.8 Rekaman Percepatan Gempa Flores 1922	3-9
Gambar 3.9 Rekaman Percepatan Gempa 1979 B-T.....	3-9
Gambar 3.10 Pemodelan Sendi Plastis Model Gedung <i>Fixed Base</i>	3-9
Gambar 3.11 Pemodelan Sendir Plastis Model Gedung <i>Base Isolated</i>	3-10
Gambar 4.1 Simpangan Antar Tingkat Mode Gedung <i>Fixed Base</i>	4-4
Gambar 4.2 Simpangan Antar Tingkat Model Gedung base isolated dengan $R = 2$	4-16
Gambar 4.3 Simpangan Antar Tingkat Model Gedung Base Isolated dengan $R = 5$	4-16
Gambar 4.4 Rasio Simpangan Antar Tingkat Model gedung <i>Fixed Base</i>	4-21
Gambar 4.5 Simpangan Antar Tingkat Model gedung <i>Fixed Base</i>	4-22
Gambar 4.6 Perpindahan Lantai Model Gedung <i>Fixed Base</i>	4-23
Gambar 4.7 (a) Lokasi Sendi Plastis pada Detik ke-1,4 (b) Lokasi Sendi Plastis pada Detik Terakhir Gempa El Centro 1940 N-S pada Model Gedung <i>Fixed Base</i>	4-24
Gambar 4.8 (a) Lokasi Sendi Plastis pada Detik ke-3,5 (b) Lokasi Sendi Plastis pada Detik Terakhir Gempa Bucharest 1977 N-S pada Model Gedung <i>Fixed Base</i>	4-24

Gambar 4.9 (a) Lokasi Sendi Plastis pada Detik ke-3,9 (b) Lokasi Sendi Plastis pada Detik Terakhir Gempa Parkfield 1966 N65SE pada Model Gedung <i>Fixed Base</i>	4-25
Gambar 4.10 (a) Lokasi Sendi Plastis pada Detik ke-9,5 (b) Lokasi Sendi Plastis pada Detik Terakhir Gempa Flores 1922 pada Model Gedung <i>Fixed Base</i>	4-25
Gambar 4.11 (a) Lokasi Sendi Plastis pada Detik ke-12,3 (b) Lokasi Sendi Plastis pada Detik Terakhir Gempa Denpasar 1979 B-T pada Model Gedung <i>Fixed Base</i>	4-26
Gambar 4.12 Rasio Simpangan Antar Tingkat Model Gedung <i>Base Isolated</i> $R = 2$	4-29
Gambar 4.13 Rasio Simpangan Antar Tingkat Model Gedung <i>Base Isolated</i> $R = 5$	4-30
Gambar 4.14 Simpangan Antar Tingkat Model Gedung <i>Base Isolated</i> $R = 2$.	4-31
Gambar 4.15 Simpangan Antar Tingkat Model Gedung <i>Base Isolated</i> $R = 5$.	4-32
Gambar 4.16 Perpindahan Model Gedung <i>Base Isolated</i> $R = 2$	4-33
Gambar 4.17 Perpindahan Model gedung <i>Base Isolated</i> $R = 5$	4-34
Gambar 4.18 (a) Lokasi Sendi Plastis pada Detik ke-1,6 (b) Lokasi Sendi Plastis pada Detik Terakhir Gempa El Centro 1940 N-S pada Model Gedung <i>Base Isolated</i> $R = 5$	4-36
Gambar 4.19 (a) Lokasi Sendi Plastis pada Detik ke-3,6 (b) Lokasi Sendi Plastis pada Detik Terakhir Gempa Bucharest 1977 N-S pada Model Gedung <i>Base Isolated</i> $R = 5$	4-36
Gambar 4.20 (a) Lokasi Sendi Plastis pada Detik ke-4,1 (b) Lokasi Sendi Plastis pada Detik Terakhir Gempa Parkfield 1966 N65SE pada Model Gedung <i>Base Isolated</i> $R = 5$	4-37
Gambar 4.21 (a) Lokasi Sendi Plastis pada Detik ke-13,9 (b) Lokasi Sendi Plastis pada Detik Terakhir Gempa Flores 1922 pada Model Gedung <i>Base Isolated</i> $R = 5$	4-37

Gambar 4.22 (a) Lokasi Sendi Plastis pada Detik ke-12,7 (b) Lokasi Sendi Plastis pada Detik Terakhir Gempa Denpasar 1979 B-T pada Model Gedung <i>Base Isolated</i> R = 5.....	4-38
Gambar 4.23 Kurva Histerisis LRB dengan R = 2 (Gempa El Centro)	4-40
Gambar 4.24 Kurva Histerisis LRB dengan R = 2 (Gempa Bucharest).....	4-40
Gambar 4.25 Kurva Histerisis LRB dengan R = 2 (Gempa Parkfield)	4-41
Gambar 4.26 Kurva Histerisis LRB dengan R = 2 (Gempa Flores).....	4-41
Gambar 4.27 Kurva Histerisis LRB dengan R = 2 (Gempa Denpasar).....	4-42
Gambar 4.28 Kurva Histerisis LRB dengan R = 5 (Gempa El Centro)	4-42
Gambar 4.29 Kurva Histerisis LRB dengan R = 5 (Gempa Bucharest).....	4-43
Gambar 4.30 Kurva Histerisis LRB dengan R = 5 (Gempa Parkfield)	4-43
Gambar 4.31 Kurva Histerisis LRB dengan R = 5 (Gempa Flores).....	4-44
Gambar 4.32 Kurva Histerisis LRB dengan R = 5 (Gempa Denpasar).....	4-44
Gambar 4.33 Perbandingan Simpangan Antar Tingkat Hasil Analisis Modal Riwayat Waktu Respons Nonlinier Akibat Gempa El Centro 1940 N-S.....	4-49
Gambar 4.34 Perbandingan Simpangan Antar Tingkat Hasil Analisis Modal Riwayat Waktu Respons Nonlinier Akibat Gempa Bucharest 1977 N-S	4-49
Gambar 4.35 Perbandingan Simpangan Antar Tingkat Hasil Analisis Modal Riwayat Waktu Respons Nonlinier Akibat Gempa Parkfield 1966 N65SE	4-50
Gambar 4.36 Perbandingan Simpangan Antar Tingkat Hasil Analisis Modal Riwayat Waktu Respons Nonlinier Akibat Gempa Flores 1922	4-50
Gambar 4.37 Perbandingan Simpangan Antar Tingkat Hasil Analisis Modal Riwayat Waktu Respons Nonlinier Akibat Gempa Denpasar 1979 B-T.....	4-51
Gambar 4.38 Perbandingan Perpindahan Hasil Analisis Modal Riwayat Waktu Respons Nonlinier Akibat Gempa El Centro 1940 N-S	4-54
Gambar 4.39 Perbandingan Perpindahan Hasil Analisis Modal Riwayat Waktu Respons Nonlinier Akibat Gempa Bucharest 1977 N-S.....	4-54

Gambar 4.40 Perbandingan Perpindahan Hasil Analisis Modal Riwayat Waktu Respons Nonlinier Akibat Gempa Parkfield 1966 N65SE.....	4-55
Gambar 4.41 Perbandingan Perpindahan Hasil Analisis Modal Riwayat Waktu Respons Nonlinier Akibat Gempa Flores 1922.....	4-55
Gambar 4.42 Perbandingan Perpindahan Hasil Analisis Modal Riwayat Waktu Respons Nonlinier Akibat Gempa Denpasar 1979 B-T	4-56
Gambar 4.43 Perbandingan Gerak Lantai pada Kondisi Gempa El Centro 1940 N-S.....	4-60
Gambar 4.44 Perbandingan Gerak Lantai pada Kondisi Gempa Bucharest 1977 N-S.....	4-60
Gambar 4.45 Perbandingan Gerak Lantai pada Kondisi Gempa Parkfield 1966 .4-61	
Gambar 4.46 Perbandingan Gerak Lantai pada Kondisi Gempa Flores 1922..4-61	
Gambar 4.47 Perbandingan Gerak Lantai pada Kondisi Gempa Denpasar 1979 B-T.....	4-62



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Faktor Redaman (B_M)	2-9
Tabel 2.2 Kategori risiko bangunan gedung dan nongedung untuk beban gempa (sumber : Tabel 3 SNI 1726:2019).....	2-12
Tabel 2.3 Faktor keutamaan gempa (sumber : Tabel 4 SNI 1726:2019)	2-13
Tabel 2.4 Klasifikasi situs (sumber : Tabel 5 SNI 1726:2019).....	2-15
Tabel 2.5 Koefisien situs, F_a (sumber : Tabel 6 SNI 1726:2019).....	2-16
Tabel 2.6 Koefisien situs, F_v (sumber : Tabel 7 SNI 1726:2019)	2-17
Tabel 2.7 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek (sumber : Tabel 8 SNI 1726:2019).....	2-19
Tabel 2.8 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik (sumber : Tabel 9 SNI 1726:2019).....	2-20
Tabel 2.9 Faktor R , C_d , dan Ω_0 untuk sistem pemikul gaya seismik (sumber : Tabel 12 SNI 1726:2019).....	2-21
Tabel 2.10 Persyaratan untuk masing-masing tingkat yang menahan lebih dari 35% gaya geser dasar (sumber : Tabel 15 SNI 1726:2019).....	2-23
Tabel 2.11 Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung (sumber : Tabel 17 SNI 1726:2019).....	2-24
Tabel 2.12 Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung (sumber : Tabel 18 SNI 1726:2019).....	2-24
Tabel 2.13 Simpangan antar tingkat izin, Δ_a (sumber : Tabel 20 SNI 1726:2019).....	2-26
Tabel 2.14 Faktor redaman, B_M (sumber : Tabel 36 SNI 1726:2019).....	2-31
Tabel 2.15 Batasan <i>Roof Drift Ratio</i> berdasarkan FEMA 356.....	2-40
Tabel 3.1 Beban mati tambahan pada pelat dan atap gedung.....	3-4
Tabel 3.2 Beban mati tambahan pada balok.....	3-4
Tabel 3.3 Beban hidup.....	3-4

Tabel 3.4 Spesifikasi <i>Base Isolation</i> tipe <i>Lead Rubber Bearing</i> dengan $R = 2$...	3-7
Tabel 3.5 Spesifikasi <i>Base Isolation</i> tipe <i>Lead Rubber Bearing</i> dengan $R = 5$...	3-7
Tabel 4.1 Dimensi Elemen Struktur Bangunan <i>Fixed Base</i>	4-1
Tabel 4.2 Kebutuhan Tulangan Balok dan Kolom Bangunan <i>Fixed Base</i>	4-1
Tabel 4.3 Gerak Dominan Gedung Bangunan <i>Fixed Base</i>	4-2
Tabel 4.4 Ragam Getar dan Periode Getar Fundamental Model Gedung <i>Fixed Base</i>	4-2
Tabel 4.5 Gaya Geser Dasar Model Gedung <i>Fixed Base</i>	4-3
Tabel 4.6 Simpangan Antar Tingkat Model Gedung <i>Fixed Based</i>	4-4
Tabel 4.7 Perpindahan Lantai Model Gedung <i>Fixed Base</i>	4-5
Tabel 4.8 Pengecekan ketidakberaturan horizontal 1a dan 1b arah-X gedung <i>Fixed Base</i>	4-5
Tabel 4.9 Pengecekan ketidakberaturan horizontal tipe 1a dan 1b arah-Y gedung <i>Fixed Base</i>	4-6
Tabel 4.10 Pengecekan ketidakberaturan horizontal tipe 2 gedung <i>Fixed Base</i> ..	4-6
Tabel 4.11 Pengecekan ketidakberaturan vertikal 1a gedung <i>Fixed Base</i>	4-7
Tabel 4.12 Pengecekan ketidakberaturan vertikal 1b gedung <i>Fixed Base</i>	4-8
Tabel 4.13 Pengecekan ketidakberaturan vertikal tipe 2 gedung <i>Fixed Base</i>	4-8
Tabel 4.14 Pengecekan ketidakberaturan vertikal tipe 5a gedung <i>Fixed Base</i>	4-9
Tabel 4.15 Pengecekan ketidakberaturan vertikal tipe 5b gedung <i>Fixed Base</i> ..	4-10
Tabel 4.16 Dimensi Elemen Struktur Bangunan <i>base isolated</i> dengan $R = 2$...	4-11
Tabel 4.17 Dimensi Elemen Struktur Bangunan <i>base isolated</i> dengan $R = 5$...	4-11
Tabel 4.18 Kebutuhan Tulangan Balok dan Kolom Bangunan <i>base isolated</i> dengan $R = 2$	4-12
Tabel 4.19 Kebutuhan Tulangan Balok dan Kolom Bangunan <i>base isolated</i> dengan $R = 5$	4-12
Tabel 4.20 Gerak Dominan Gedung Bangunan <i>base isolated</i> dengan $R = 5$	4-13

Tabel 4.21 Gerak Dominan Gedung Bangunan <i>base isolated</i> dengan $R = 2$	4-13
Tabel 4.22 Ragam Getar dan Periode Getar Fundamental Model Gedung <i>base isolated</i> dengan $R = 2$	4-13
Tabel 4.23 Ragam Getar dan Periode Getar Fundamental Model Gedung <i>base isolated</i> dengan $R = 5$	4-14
Tabel 4.24 Gaya Geser Dasar Model Gedung <i>base isolated</i> dengan $R = 5$ dan $R = 2$	4-15
Tabel 4.25 Simpangan Antar Tingkat Model Gedung <i>Base Isolated</i> dengan $R = 5$ dan $R = 2$	4-15
Tabel 4.26 Perpindahan Lantai Model Gedung <i>Base Isolated</i> dengan $R = 5$ dan $R = 2$	4-17
Tabel 4.27 Pengecekan ketidakberaturan horizontal 1a dan 1b arah-X gedung <i>Base Isolated</i> dengan $R = 2$	4-17
Tabel 4.28 Pengecekan ketidakberaturan horizontal tipe 1a dan 1b arah-Y gedung <i>Base Isolated</i> dengan $R = 2$	4-18
Tabel 4.29 Pengecekan ketidakberaturan horizontal 1a dan 1b arah-X gedung <i>Base Isolated</i> dengan $R = 5$	4-18
Tabel 4.30 Pengecekan ketidakberaturan horizontal tipe 1a dan 1b arah-Y gedung <i>Base Isolated</i> dengan $R = 5$	4-18
Tabel 4.31 Gaya Geser Dasar dan Faktor Kuat Lebih Model Gedung <i>Fixed Base</i>	4-19
Tabel 4.32 Rasio Simpangan Antar Tingkat Model gedung <i>Fixed Base</i>	4-20
Tabel 4.33 Simpangan Antar Tingkat Model gedung <i>Fixed Base</i>	4-21
Tabel 4.34 Perpindahan Lantai Model gedung <i>Fixed Base</i>	4-22
Tabel 4.35 Waktu Sendi Plastis Pertama Terjadi pada Model Gedung <i>Fixed Base</i>	4-23
Tabel 4.36 Jumlah Sendi Plastis yang Terbantuk pada Model Gedung <i>Fixed Base</i>	4-24

Tabel 4.37 Tingkat Kinerja Struktur Model Gedung <i>Fixed Base</i>	4-26
Tabel 4.38 Gaya Geser Dasar dan Faktor Kuat Lebih Model Gedung <i>Base Isolated</i> R = 2	4-27
Tabel 4.39 Gaya Geser Dasar dan Faktor Kuat Lebih Model Gedung <i>Base Isolated</i> R = 5	4-28
Tabel 4.40 Rasio Simpangan Antar Tingkat Model Gedung <i>Base Isolated</i> R = 2 4- 28	
Tabel 4.41 Rasio Simpangan Antar Tingkat Model Gedung <i>Base Isolated</i> R = 5 4- 29	
Tabel 4.42 Simpangan Antar Tingkat Model Gedung <i>Base Isolated</i> R = 24-30	
Tabel 4.43 Simpangan Antar Tingkat Model Gedung <i>Base Isolated</i> R = 54-31	
Tabel 4.44 Perpindahan Model Gedung <i>Base Isolated</i> R = 2.....4-32	
Tabel 4.45 Perpindahan Model Gedung <i>Base Isolated</i> R = 5.....4-33	
Tabel 4.46 Waktu Sendi Plastis Pertama Terjadi pada Model Gedung <i>Base Isolated</i> dengan R = 2.....	4-35
Tabel 4.47 Jumlah Sendi Plastis yang Terbentuk pada Model Gedung <i>Base Isolated</i> dengan R = 2.....	4-35
Tabel 4.48 Waktu Sendi Plastis Pertama Terjadi pada Model Gedung <i>Base Isolated</i> dengan R = 5.....	4-35
Tabel 4.49 Jumlah Sendi Plastis yang Terbentuk pada Model Gedung <i>Base Isolated</i> dengan R = 5.....	4-35
Tabel 4.50 Tingkat Kinerja Struktur Model Gedung <i>Base Isolated</i> dengan R = 24- 39	
Tabel 4.51 Tingkat Kinerja Struktur Model Gedung <i>Base Isolated</i> dengan R = 54- 39	
Tabel 4.52 Perbandingan Periode Getar Fundamental Model Gedung	4-44
Tabel 4.53 Perbandingan Gaya Geser Dasar Model Gedung Hasil Analisis Modal Respons Spektrum	4-46

Tabel 4.54 Perbandingan Gaya Geser Dasar Model Gedung Hasil Analisis Modal Riwayat Waktu Respons Nonlinier	4-46
Tabel 4.55 Perbandingan Simpangan Antar Tingkat Hasil Analisis Modal Riwayat Waktu Respons Nonlinier Akibat Gempa El Centro 1940 N-S	4-47
Tabel 4.56 Perbandingan Simpangan Antar Tingkat Hasil Analisis Modal Riwayat Waktu Respons Nonlinier Akibat Gempa Bucharest 1977 N-S	4-47
Tabel 4.57 Perbandingan Simpangan Antar Tingkat Hasil Analisis Modal Riwayat Waktu Respons Nonlinier Akibat Gempa Parkfield 1966 N65SE.....	4-47
Tabel 4.58 Perbandingan Simpangan Antar Tingkat Hasil Analisis Modal Riwayat Waktu Respons Nonlinier Akibat Gempa Flores 1922.....	4-48
Tabel 4.59 Perbandingan Simpangan Antar Tingkat Hasil Analisis Modal Riwayat Waktu Respons Nonlinier Akibat Gempa Denpasar 1979 B-T	4-48
Tabel 4.60 Perbandingan Perpindahan Hasil Analisis Modal Riwayat Waktu Respons Nonlinier Akibat Gempa El Centro 1940 N-S	4-51
Tabel 4.61 Perbandingan Perpindahan Hasil Analisis Modal Riwayat Waktu Respons Nonlinier Akibat Gempa Bucharest 1977 N-S.....	4-52
Tabel 4.62 Perbandingan Perpindahan Analisis Modal Riwayat Waktu Respons Nonlinier Akibat Gempa Parkfield 1966 N65SE.....	4-52
Tabel 4.63 Perbandingan Perpindahan Analisis Modal Riwayat Waktu Respons Nonlinier Akibat Gempa Flores 1922.....	4-52
Tabel 4.64 Perbandingan Perpindahan Hasil Analisis Modal Riwayat Waktu Respons Nonlinier Akibat Gempa Denpasar 1979 B-T.....	4-53
Tabel 4.65 Perbandingan Sendi Plastis Hasil Analisis Modal Riwayat Waktu Respons Nonlinier.....	4-56
Tabel 4.66 Rasio Simpangan Antar Tingkat Model Gedung <i>Fixed Base</i>	4-57
Tabel 4.67 Rasio Simpangan Antar Tingkat Model Gedung <i>Base Isolated</i> dengan $R = 2$	4-57
Tabel 4.68 Rasio Simpangan Antar Tingkat Model Gedung <i>Base Isolated</i> dengan $R = 5$	4-58

Tabel 4.69 Perbandingan Dimensi Elemen Struktur.....4-58
Tabel 4.70 Perbandingan Kebutuhan Tulangan Balok4-58
Tabel 4.71 Perbandingan Kebutuhan Tulangan Kolom.....4-59



DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 PRELIMINARY DESIGN ELEMEN STRUKTUR.....	1-1
LAMPIRAN 2 PRELIMINARY DESIGN LEAD RUBBER BEARING (LRB) R = 2	2-1
LAMPIRAN 3 PRELIMINARY DESIGN LANJUTAN LEAD RUBBER BEARING (LRB) R = 2.....	3-1
LAMPIRAN 4 PRELIMINARY DESIGN LEAD RUBBER BEARING (LRB) R = 5	4-1
LAMPIRAN 5 PRELIMINARY DESIGN LANJUTAN LEAD RUBBER BEARING (LRB) R = 5.....	5-1
LAMPIRAN 6 SPESIFIKASI LEAD RUBBER BEARING MODEL GEDUNG BASE ISOLATED R = 2	6-1
LAMPIRAN 7 SPESIFIKASI LEAD RUBBER BEARING MODEL GEDUNG BASE ISOLATED R = 5	7-1
LAMPIRAN 8 PENGECEKAN GAYA GESER DASAR BASE ISOLATOR .	8-1

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

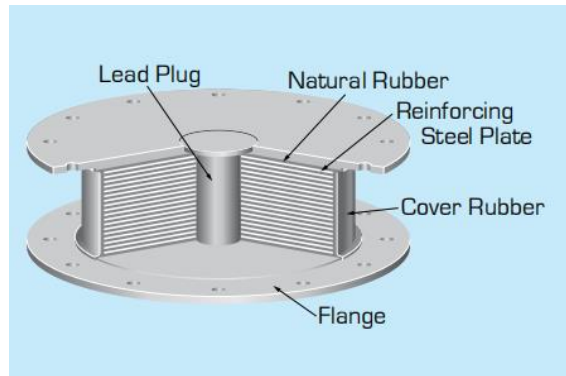
Seiring dengan perkembangan zaman dan pertumbuhan penduduk, kebutuhan akan infrastruktur semakin meningkat di Indonesia. Infrastruktur diharapkan dapat mendukung kegiatan dan memenuhi kebutuhan manusia. Gedung bertingkat menjadi salah satu infrastruktur yang dijadikan pilihan pembangunan karena kegunaannya yang dapat digunakan untuk berbagai macam kebutuhan manusia. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 16 Tahun 2001 Pasal 4 Ayat 1 dijelaskan bahwa bangunan gedung memiliki 5 fungsi meliputi fungsi hunian, fungsi keagamaan, fungsi usaha, fungsi sosial dan budaya, dan fungsi khusus. Fungsi dari bangunan gedung yang bermacam-macam membuat desain dan bentuk dari bangunan menjadi semakin beragam menyesuaikan fungsi dari bangunan tersebut. Hal ini menyebabkan kemungkinan terjadinya ketidakberaturan horizontal ataupun vertikal terjadi pada bangunan gedung bertingkat. Salah satu ketidakberaturan horizontal tersebut adalah ketidakberaturan torsi yang berdasarkan Standar Nasional Indonesia 1726:2019 didefinisikan sebagai adanya simpangan antar tingkat maksimum, yang dihitung termasuk torsi tak terduga dengan $A_x = 1,0$, di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,2 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Ketidakberaturan torsi pada umumnya terjadi pada bangunan berbentuk T seperti yang akan dimodelkan pada skripsi ini.

Letak geografis Indonesia yang diapit oleh tiga lempeng utama di dunia, yaitu lempeng Australis, lempeng Eurasia, dan lempeng Pasifik menyebabkan sebagian besar wilayah Indonesia menjadi sangat rawan terhadap terjadinya bencana gempa bumi. Kondisi ini menimbulkan ancaman terhadap keselamatan masyarakat dan keamanan bangunan di Indonesia apabila kondisi wilayah Indonesia yang rawan akan bencana gempa bumi tidak di tangani dengan baik. Apabila gedung bertingkat tidak dirancang dengan baik dan tidak tahan gempa, bangunan bertingkat dapat menjadi ancaman keselamatan bagi penggunanya ketika terjadi gempa bumi. Salah

satu solusi yang dapat digunakan untuk membuat suatu gedung bertingkat menjadi tahan gempa adalah dengan menggunakan teknologi tahan gempa seperti sistem isolasi dasar (*base isolation*).

Konsep dari penggunaan *base isolation* pada suatu struktur bangunan pada dasarnya cukup sederhana. Sistem *base isolation* bekerja dengan memisahkan struktur bangunan atas dari struktur pondasi yang berada di bawahnya. Struktur dari *base isolator* diletakkan diantara struktur atas dengan struktur pondasi sehingga beban eksternal seperti gempa bumi dapat diserap oleh struktur *base isolator* agar beban tersebut tidak ditransfer secara langsung ke struktur utama. Hal ini dimaksudkan untuk mengurangi gaya gempa yang akan diterima oleh struktur bangunan. Fleksibilitas dari *base isolator* yang besar menyebabkan pergerakan pada tanah ketika terjadi gempa bumi dapat diserap sehingga pergerakan tersebut tidak langsung ditransfer ke struktur atas.

Pada umumnya *base isolator* terbuat dari karet alami maupun sintesis beserta dengan pelat baja yang mengikat karet tersebut. Terdapat beberapa jenis *base isolator* yang dapat digunakan dengan karakteristik yang berbeda-beda seperti *elastomeric-based system* yang terdiri dari *low-damping rubber bearing* (LDRB), *high-damping rubber bearing* (HDRB), dan *lead rubber bearing* (LRB). *Elastomeric-based system* merupakan bentuk yang paling umum dengan dibedakan kemampuan dari karet yang digunakan serta penambahan timbal pada bagian tengah seperti pada LRB yang terlihat pada Gambar 1. Terdapat pula *base isolator* yang berjenis *friction pendulum system* (FPS). Pada skripsi ini akan digunakan *base isolator* dengan jenis *lead rubber bearing* dalam pemodelan. Pemilihan penggunaan LRB dikarenakan jenis ini paling salah satu jenis *base isolator* yang paling sering digunakan serta referensi dan jurnal ilmiah yang membahas mengenai LRB lebih banyak dan mudah ditemukan.



Gambar 1.1 Lead Rubber Bearing

Lead rubber bearing (LRB) terdiri dari batang timbal yang dilapisi oleh karet di sekitarnya dan kemudian diapit oleh pelat baja di bagian atas dan bawah. Karet pada LRB akan memiliki kekakuan yang tinggi pada arah vertikal untuk menahan beban struktur dari atas. Inti yang terbuat dari timbal berfungsi untuk menghasilkan redaman energi ketika mengalami kelelahan pada tegangan sekitar 10 MPa.

1.2 Inti Permasalahan

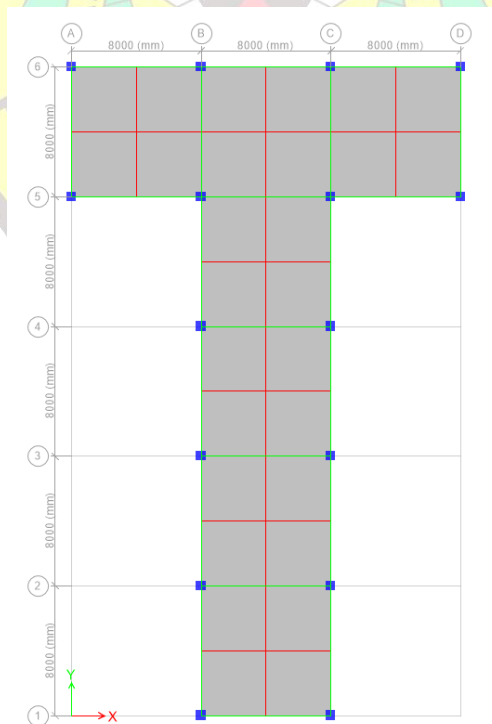
Penggunaan LRB pada bangunan tahan gempa perlu dipelajari untuk mengetahui pengaruhnya terhadap struktur dengan ketidakberaturan torsi yang pada umumnya terjadi pada struktur bangunan berbentuk T. Pada skripsi ini akan dipelajari perilaku dinamik struktur pada struktur yang memiliki ketidakberaturan torsi dengan dan tanpa adanya base isolation serta mempelajari kinerja dari struktur bangunan.

1.3 Tujuan Penelitian

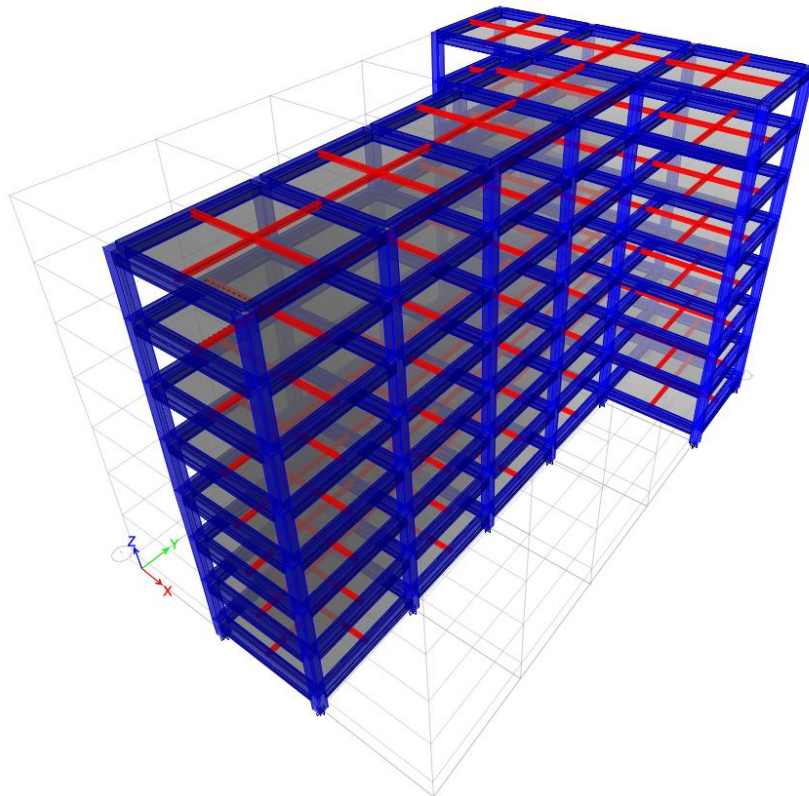
Tujuan dari penulisan skripsi ini adalah untuk mempelajari dan membandingkan perilaku dinamik struktur bangunan dengan dan tanpa LRB pada struktur bangunan berbentuk dengan ketidakberaturan torsi yang umumnya terjadi pada bangunan T. Pada skripsi ini pula, akan dipelajari pengaruh dari variasi koefisien modifikasi respons (R) yang divariasikan nilainya antara 2 dan 5.

1.4 Pembatasan Masalah

1. Pemodelan gedung struktur beton dan analisis dilakukan dengan menggunakan *software* ETABS 16
2. Gedung memiliki ketidakberaturan torsi yang pada umumnya terjadi pada struktur berbentuk T dengan sistem struktur Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).
3. Gedung terdiri dari 8 lantai dengan tinggi lantai tipikal 3,6 m dan jarak antar bentang 8 m seperti yang terlihat pada **Gambar 1.1** dan **Gambar 1.2**.
4. Menggunakan *base isolation* tipe *lead rubber bearing* (LRB).
5. Bangunan gedung berfungsi sebagai gedung perkantoran dengan *site class* D (tanah sedang).
6. Terdapat 4 model bangunan gedung, yaitu sebagai berikut :
 - Gedung tanpa LRB (*fixed base*) dengan nilai $R = 8$
 - Gedung dengan LRB dengan variasi nilai $R = 2$ dan 5
7. Mutu beton yang digunakan memiliki kuat tekan $f'_c = 35$ MPa dengan mutu tulangan baja sebesar $f_y = 420$ MPa.



Gambar 1.2 Denah Model Struktur



Gambar 1.3 Tampak 3 Dimensi Model Struktur

8. Rekaman gempa yang digunakan dalam analisis adalah sebagai berikut:
 - El-Centro N-S tahun 1940
 - Denpasar B-T tahun 1979
 - Flores tahun 1992
 - Parkfield N65E tahun 1966
 - Bucharest N-S tahun 1977
9. Perancangan dan perhitungan pondasi tidak dilakukan
10. Peraturan yang digunakan sebagai acuan adalah sebagai berikut :
 - SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung
 - SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung
 - SNI 1727:2020 tentang Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain

1.5 Metode Penulisan

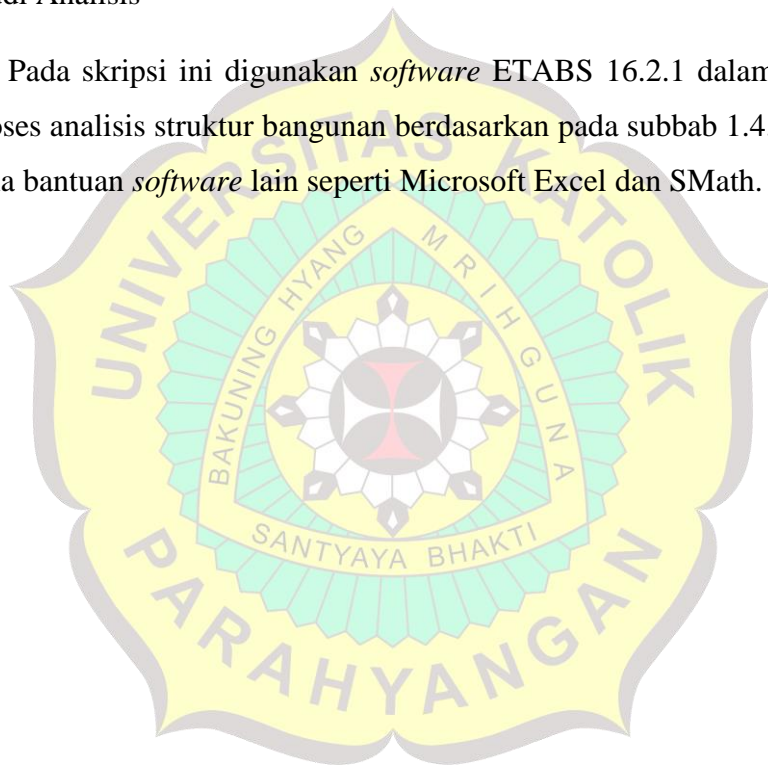
Metode yang digunakan dalam penulisan skripsi ini sebagai berikut :

1. Studi Literatur

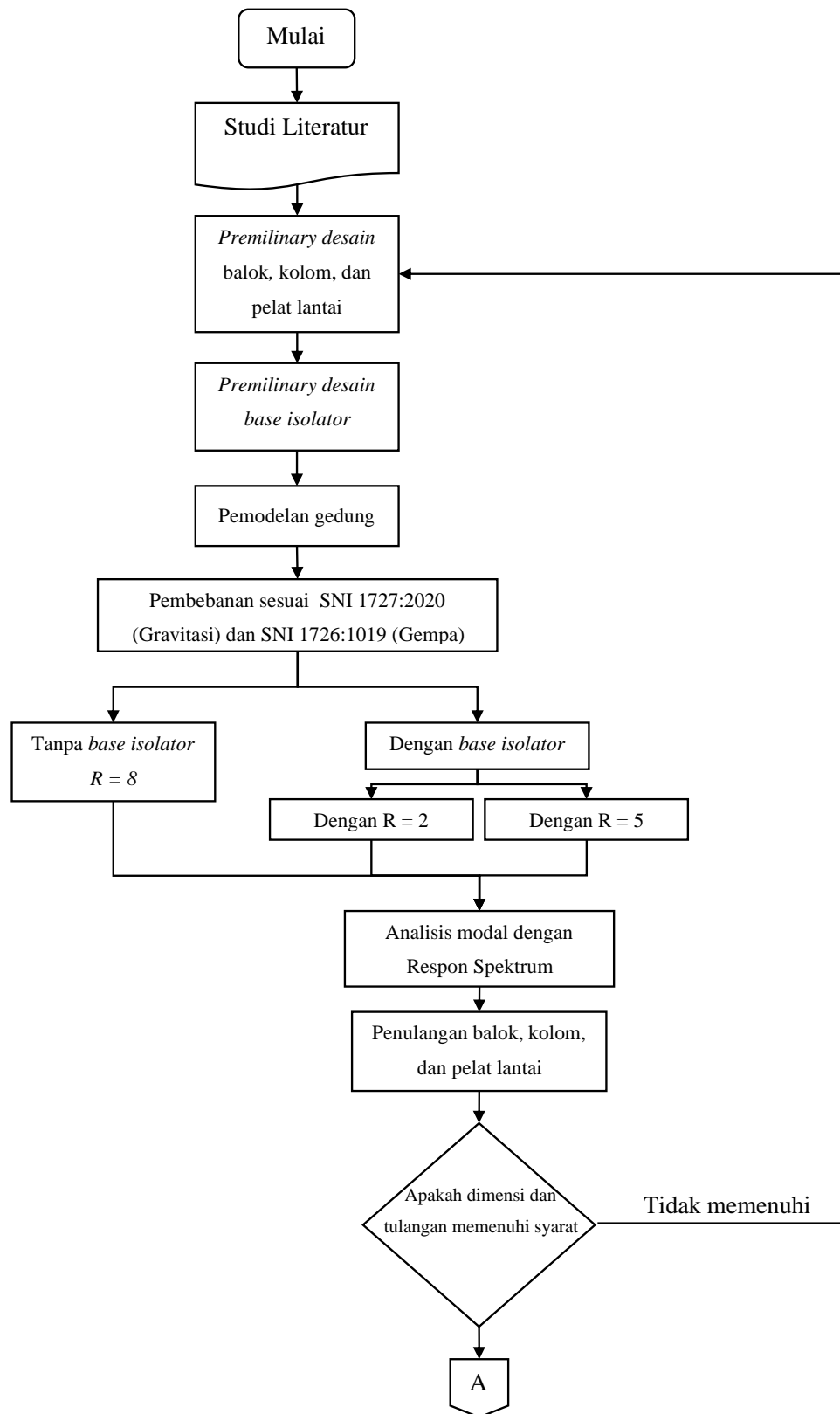
Studi literatur merupakan teknik pengumpulan data yang berdasarkan dari tulisan-tulisan berupa jurnal ilmiah, buku teks, materi perkuliahan, peraturan ataupun *code* yang berlaku yang berguna untuk meningkatkan pemahaman dan pengetahuan seputar topik yang akan dibahas dalam skripsi ini.

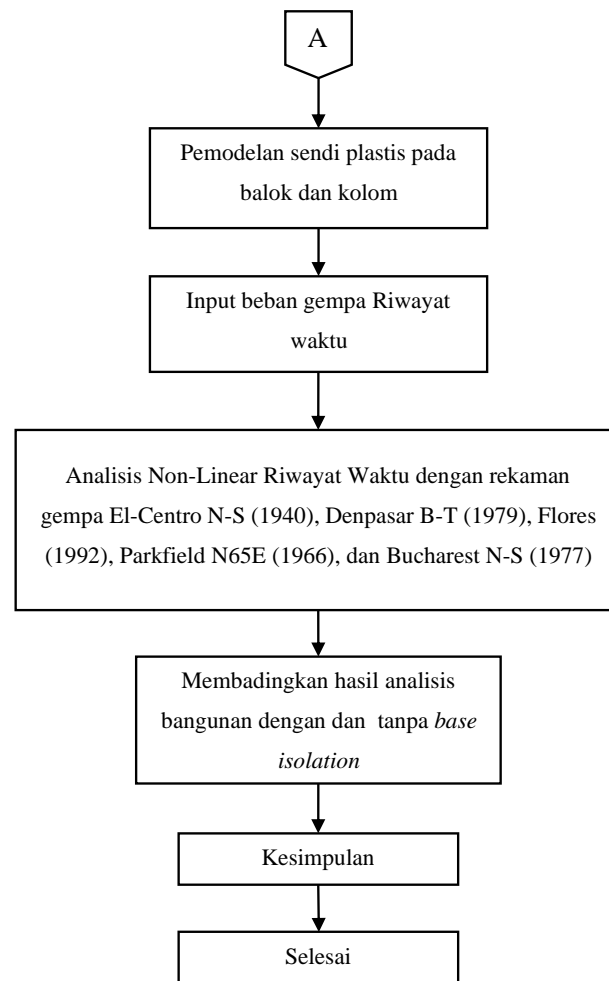
2. Studi Analisis

Pada skripsi ini digunakan *software* ETABS 16.2.1 dalam membantu proses analisis struktur bangunan berdasarkan pada subbab 1.4. Digunakan pula bantuan *software* lain seperti Microsoft Excel dan SMath.



1.6 Diagram Alir





Gambar 1.4 Diagram Alir

1.7 Sistematika Penulisan

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini terdiri dari beberapa subbab di dalamnya yaitu latar belakang, inti permasalahan, tujuan penulisan, pembatasan masalah, metode penulisan, diagram alir, dan sistematikan penulisan skripsi.

BAB 2 STUDI PUSTAKA

Bab ini berisi uraian mengenai tinjauan teori dan peraturan yang didapat dari jurnal ilmiah dan buku teks yang dijadikan pedoman dalam penulisan skripsi ini.

BAB 3 DESAIN DAN PEMODELAN STRUKTUR

Bab ini berisi desain dan pemodelan struktur awal bangunan gedung yang dibuat di dalam *software* ETABS sesuai dengan pembatasan masalah pada Subbab 1.4.

BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi hasil dan pembahasan dari analisis dinamik yang sudah dilakukan terhadap struktur gedung dengan ketidakberaturan torsi dan menggunakan *base isolation* tipe *Lead Rubber Bearing*.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan akhir dari analisis yang sudah dilakukan di dalam skripsi ini serta berisi saran berdasarkan penelitian ini.