

SKRIPSI

**STUDI PENGARUH SISTEM BASE ISOLATION TIPE
LEAD RUBBER BEARING TERHADAP PERILAKU
BANGUNAN GEDUNG DENGAN SOFT STORY**



KIMI DANIEL SAMUEL

NPM: 2017410213

PEMBIMBING : Dr. Johannes Adhijoso Tjondro

KO PEMBIMBING : Liyanto Eddy, 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

SKRIPSI
STUDI PENGARUH SISTEM BASE ISOLATION TIPE
LEAD RUBBER BEARING TERHADAP PERILAKU
BANGUNAN GEDUNG DENGAN SOFT STORY



NAMA: Kimi Daniel Samuel
NPM: 2017410213

PEMBIMBING: Dr. Johannes Adhijoso Tjondro.

KO-PEMBIMBING: Liyanto Eddy, Ph.D

PENGUJI 1: Helmy Hermawan Tjahjanto, Ph.D.

PENGUJI 2: Lidya Fransisca Tjong, MT.

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 : Kimi Daniel Samuel
NPM : .2017410213
Program Studi : .Teknik Sipil
Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan

Menyatakan bahwa skripsi dengan judul:

STUDI PENGARUH SISTEM BASE ISOLATION TIPE LEAD RUBBER BEARING TERHADAP PERILAKU BANGUNAN GEDUNG DENGAN SOFT STORY

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 Manado

12 Januari 2022



(Kimi Daniel Samuel)

STUDI PENGARUH SISTEM BASE ISOLATION TIPE LEAD RUBBER BEARING TERHADAP PERILAKU BANGUNAN GEDUNG DENGAN SOFT STORY

Kimi Daniel Samuel

NPM: 2017410213

Pembimbing: Dr. Johannes Adhijoso Tjondro

Ko-Pembimbing: Liyanto Eddy, Ph.D.

UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN

FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

(Terakreditasi Berdasarkan Keputusan BAN-PT No. 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X/2021)

BANDUNG

JANUARI 2022

ABSTRAK

Pesatnya perkembangan penduduk di Indonesia mengakibatkan pembangunan infrastruktur juga ikut berkembang. Pembangunan infrastruktur baru membutuhkan lahan kosong, sehingga mengakibatkan lahan yang ada di kota-kota besar semakin berkurang. Salah satu solusi untuk mengurangi kebutuhan akan lahan kosong adalah dengan membangun gedung bertingkat. Pembangunan gedung bertingkat dengan salah satu fungsi seperti gedung perkantoran merupakan contoh konstruksi yang umum pada saat ini. Ketidakberaturan struktur pada gedung bertingkat dapat diakibatkan oleh fungsi lantai yang tidak sama antara lantai yang satu dengan lantai yang lainnya. Pada skripsi ini, dilakukan analisis bangunan gedung dengan *soft story* dengan perletakan *fixed base* dan gedung dengan struktur *base isolation* (tipe *lead rubber bearing*) dengan nilai koefisien modifikasi respons yang berbeda yaitu 5 dan 8. Percepatan rekaman gempa yang digunakan adalah gempa El Centro N-S tahun 1940, gempa Denpasar B-T tahun 1979, gempa Parkfield 1966 N65E, gempa Bucharest 1977 N-S dan gempa Flores tahun 1992. Berdasarkan hasil analisis non-linear riwayat waktu diketahui bahwa penggunaan *base isolation* dapat mereduksi gaya geser sebuah gedung sebesar 59,52% dan menambah periode getar sebesar 175% tetapi gedung menjadi lebih fleksibel sehingga perpindahan lantai menjadi semakin besar. Namun *base isolation* tidak dapat dijadikan sebagai solusi untuk mengatasi ketidakberaturan vertikal. Struktur *base isolation* dipengaruhi oleh nilai koefisien modifikasi respons (R) yang mempengaruhi respons dari model gedung dimana semakin kecil nilai koefisien modifikasi respons maka gaya geser dasar, simpangan antar tingkat, perpindahan lantai, dan kebutuhan tulangan longitudinal akan menjadi semakin besar.

Kata kunci: *Base isolation*, *Lead rubber Bearing*, Analisis Modal dengan Respon Spektrum, Analisis

Riwayat waktu



STUDY THE EFFECT OF LEAD RUBBER BEARING BASE ISOLATION ON THE BEHAVIOUR OF BUILDING WITH SOFT STORY

Kimi Daniel Samuel

NPM: 2017410213

Advisor : Dr. Johannes Adhijoso Tjondro

Co-Advisor: Liyanto Eddy, Ph.D.

PARAHYANGAN CATHOLIC UNIVERSITY

FACULTY OF ENGINEERING

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

(Accredited by SK-BAN PT No. 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X/2021)

BANDUNG

JANUARI 2022

ABSTRACT

The rapid development of the population in Indonesia has resulted in the development of infrastructure as well. New infrastructure development requires vacant land, resulting in less land in big cities. One solution to reduce the need for vacant land is to build high-rise buildings. The construction of a multi-storey building with one function such as an office building is an example of a common construction at this time. Structural irregularities in high-rise buildings can be caused by unequal floor functions from one floor to another. In this thesis, an analysis of the building is carried out between the fixed base building and the building with a base isolation structure with lead rubber bearing with different response modification coefficient values, namely 5 and 8. The acceleration of the earthquake recording used is the El Centro NS earthquake in 1940, the 1979 Denpasar earthquake, 1966 N65E Parkfield earthquake, 1977 NS Bucharest earthquake and 1992 Flores earthquake. Based on the non-linear time history analysis, it is known that the use of base isolation can reduce the shearing force of a building by 59,52% and increase the vibration period by 175% , using *Base isolation* results in the building becomes more flexible so that the floor displacement becomes greater. However, base isolation cannot be used as a solution to overcome vertical irregularity. The base isolation structure is influenced by the response modification coefficient value (R) which affects the response of the building model where the smaller the response modification coefficient value, the basic shear force, inter-story drift, displacement floor, and the need for longitudinal reinforcement will be even greater.

Keywords : Base isolation, Lead rubber bearing, Response spectrum analysis, Time history analysis

PRAKATA

Puji Syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa berkat kasih karunia-Nya yang senantiasa memberikan kesehatan dan kekuatan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul *Studi Pengaruh Soft Story Terhadap Gedung Dengan Sistem Base Isolation Tipe Lead Rubber Bearing*. Skripsi ini merupakan salah satu syarat akademik untuk memperoleh gelar sarjana di Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil, Universitas Katolik Parahyangan.

Dalam menyusun skripsi ini, penulis mengalami banyak hambatan baik yang bersifat fisik maupun emosional. Namun, penulis bersyukur karena mendapatkan banyak bantuan berupa saran, kritik, doa, nasihat dari banyak pihak sehingga skripsi ini dapat diselesaikan. Oleh sebab itu, penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Tuhan Yesus Kristus atas kekuatan dan peneguhan secara rohani sehingga penulisan skripsi dapat diselesaikan dengan baik.
2. Anggota keluarga yaitu papa, adik dan oma penulis yang selalu memberikan dukungan berupa doa, kasih sayang dan kesabaran bagi penulis sehingga skripsi ini dapat selesai.
3. Bapak Dr. Johannes Adhijoso Tjondro selaku dosen pembimbing dengan penuh kesabaran, juga kebaikan dalam memberikan waktu dan tenaga untuk membimbing penulis selama dua semester dalam penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Liyanto Eddy, Ph.D selaku dosen ko-pembimbing dengan sabar meluangkan waktu untuk berdiskusi, dan selalu membantu kapan pun waktunya, juga memberikan saran untuk penyusunan skripsi ini.
5. Dosen-dosen program studi Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan yang telah memberikan bekal ilmu pengetahuan yang beragam kepada penulis.

6. Teman-teman SMA saya yang selalu menemani saya di pada saat pandemi: Utu,Belang,Chris,Jason,David,Koperoh,Eli,Mayaut,Jesu,Vilia,Taci,Mella,Indah, Sinta,Gisel dan yang tidak sempat disebutkan.
7. Teman SMP sebagai teman bermain dan bercengkrama saya yang selalu menghibur saya: Jason,Brian,Jimbo,Raja.David,Jason,Julian.
8. Charles Maxwelliem, Ary Yudhistira, Benjamin Soerja, Julianus Indrawan, Davit Milano, Yitzhak Andana, Rio Samuel, Mikha Tjhai, Natanael Eduardo, Reggie Hariadi, Demo Maulana dan Benedictus Ivan selaku teman belajar dan bermain selama masa perkuliahan.
9. Teman-teman dan kakak-kakak dari SMA Lokon yang juga kuliah di kota Bandung yang selalu setia menemani dan membimbing saya: Hess, Pijoh, Waraney, Polce, Simbar, Ferrel, dan teman-teman yang lain juga.
10. Tan, Jason Tanujaya dan Budi Setiawan, serta Jason selaku teman – teman seperjuangan skripsi selama dua semester ini.
11. Seluruh teman-teman Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan Angkatan 2017 atas kebersamaan. bantuan dan doanya.
12. Staff dan karyawan Fakultas Teknik Universitas Katolik Parahyangan yang telah menyediakan sarana dan prasana selama masa perkuliahan.
13. Semua pihak yang tidak sempat diucapkan yang telah membantu, memberi dukungan dan semangat selama penulisan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini jauh dari sempurna mengingat kondisi dan kemampuan penulis. Karena itu, penulis masih membutuhkan saran dan kritik yang bersifat membangun agar dapat lebih baik lagi ke depannya. Terima Kasih.

Manado, 18 Januari 2022



Kimi Daniel Samuel

2017410213

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
PRAKATA	iv
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL.....	xviii
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 Penelitian.....	1-5
1.6 Diagram Alir	1-6
1.7 Sistematika Penulisan.....	1-7
BAB 2 STUDI PUSTAKA	2-1
2.1 Perbedaan dari konvensional dengan desain menggunakan Base Isolation.	2-1
2.2 Base Isolation	2-2
2.3 Tipe Base Isolation	2-3
2.3.1 Elastomeric Isolation Systems	2-3
2.3.2 Sliding Isolation Systems	2-4
2.4 Pemodelan Base Isolation.....	2-5
2.4.1 Properti Histeresis Rubber Isolator dalam ETABS.....	2-5
2.4.2 Preliminary Desain awal Lead Rubber Bearing (LRB)	2-10
2.4.3 Preliminary Desain Lanjutan Lead Rubber Bearing (LRB).....	2-13

2.5	SNI 1726:2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan gedung Gedung dan Non Gedung	2-18
2.5.1	Kategori Risiko Bangunan gedung dan Faktor Keutamaan Gempa.....	2-18
2.5.2	Kombinasi Pembebanan.....	2-19
2.5.3	Kombinasi Pembebanan dengan Pengaruh Beban Seismik dan Pengaruh Beban Gempa.....	2-19
2.5.4	Klasifikasi Situs.....	2-20
2.5.5	Koefisien Situs dan Parameter – Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko – Tertarget (MCER)	2-21
2.5.6	Parameter Percepatan Spektral Desain.....	2-24
2.5.7	Spektrum Respons Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko –Tertarget (Risk – Targeted Maximum Considered Earthquake/ MCER).....	2-24
2.5.8	Kategori Desain Seismik.....	2-24
2.5.9	Sistem Struktur.....	2-25
2.5.10	Faktor Redundansi	2-25
2.5.11	Penentuan Periode	2-26
2.5.12	Simpangan Antar Tingkat.....	2-28
2.5.13	Jumlah Ragam	2-28
2.5.14	Penskalaan Gaya.....	2-29
2.6	Struktur dengan Isolasi Dasar	2-29
2.6.1	Faktor Keutamaan Gempa.....	2-29
2.6.2	Redundansi	2-29
2.6.3	Properti Sistem Isolasi pada Perpindahan Maksimum	2-29
2.7	Pemilihan Prosedur Analisis untuk Struktur dengan Isolasi Dasar ...	2-29
2.7.1	Prosedur Gaya Lateral Ekuivalen.....	2-29
2.7.2	Prosedur Riwayat Respons	2-30

2.8	Prosedur Gaya Lateral Ekvivalen untuk Struktur dengan Isolasi Dasar.....	2-31
2.8.1	Perpindahan Maksimum.....	2-31
2.8.2	Periode Efektif pada Saat Perpindahan Maksimum	2-32
2.8.3	Perpindahan Maksimum Total	2-32
2.8.4	Gaya Lateral Minimum untuk Sistem Isolasi dan Elemen – Elemen Struktural di Bawah Tingkat Dasar.....	2-33
2.8.5	Gaya Lateral Minimum untuk Elemen Struktural di Atas Tingkat Dasar.....	2-34
2.8.6	Batas simpangan antar tingkat.....	2-34
2.9	Ketidakteraturan vertical	2-34
2.10	Analisis Riwayat Waktu non linear.....	2-36
2.10.1	Rekaman Percepatan Gempa	2-36
2.10.2	Penskalaan Percepatan Gempa.....	2-38
2.10.3	Sendi Plastis	2-39
2.10.4	Tingkat Kinerja Struktur.....	2-39
<u>BAB 3</u>	<u>STUDI KASUS</u>	3-1
3.1	Model Gedung	3-1
3.2	Data Gedung	3-2
3.3	Data Material	3-3
3.4	Pembebanan.....	3-3
3.4.1	Beban Mati (DL)	3-4
3.4.2	Beban Mati Tambahan (SIDL).....	3-4
3.4.3	Beban Hidup (LL)	3-5
3.4.4	Beban Gempa	3-5
3.4.5	Kombinasi Pembebanan	3-5
3.5	Elemen Struktur.....	3-6
3.6	Penulangan Struktur	3-6

3.7 Data Base Isolation Lead Rubber Bearing	3-7
3.8 Analisis Riwayat Respons	3-8
3.8.1 Penskalaan Percepatan Rekaman Gempa.....	3-8
3.8.2 Beban Gravitasi	3-8
3.8.3 Direct Integration Time History Analysis	3-8
3.8.4 Pemodelan Sendi Plastis	3-8

BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....4-1

4.1 Analisis Modal dengan Respon Spektrum Gedung Tanpa Base Isolation.....	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 Dasar	4-2
4.1.4 Simpangan Antar Tingkat (Story Drift)	4-2
4.1.5 Perpindahan (<i>Displacement</i>)	4-3
4.2 Analisis Modal dengan Respon Spektrum Gedung Dengan <i>Base Isolation</i>	4-4
4.2.1 Gerak Dominan Gedung.....	4-4
4.2.2 Ragam Getar dan Periode Getar	4-5
4.2.3 Gaya Geser Dasar	4-5
4.2.4 Simpangan Antar Tingkat (<i>Story Drift</i>).....	4-6
4.2.5 Perpindahan (<i>Displacement</i>)	4-8
4.3 Analisis Riwayat Respons Non Linier Gedung Tanpa Base Isolation. 4-9	
4.3.1 Gaya Geser Dasar dan Faktor Kuat Lebih.....	4-9
4.3.2 Rasio Simpangan Antar Tingkat	4-10
4.3.3 Simpangan Antar Tingkat (<i>Story Drift</i>).....	4-11
4.3.4 Perpindahan (<i>Displacement</i>)	4-12
4.3.5 Sendi Plastis	4-13

4.3.6 Tingkat Kinerja Struktur	4-13
4.4 Analisis Riwayat Respons Non Linier Gedung Dengan <i>Base Isolation</i>	4-13
4.4.1 Gaya Geser Dasar dan Faktor Kuat Lebih.....	4-14
4.4.2 Rasio Simpangan Antar Tingkat	4-15
4.4.3 Simpangan Antar Tingkat (<i>Story Drift</i>).....	4-17
4.4.4 Perpindahan (<i>Displacement</i>)	4-18
4.4.5 Kurva Histeresis <i>Base Isolation</i>	4-20
4.4.6 Sendi Plastis	4-25
4.5 Perbandingan Model Gedung <i>Fixed Base</i> dan Model Gedung Dengan <i>Base isolation</i>	45-26
4.5.1 Periode Getar.....	45-26
4.5.2 Gaya Geser Dasar	46-27
4.5.3 Perpindahan (<i>Displacement</i>)	47-28
4.5.4 Story Drift Ratio.....	48-29
4.5.5 Sendi Plastis	48-29
4.5.6 Pengecekan dan pengaruh ketidakberaturan <i>soft story</i> terhadap perilaku gedung dengan <i>base isolation</i>	4-33
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	5-1
5.1 Kesimpulan.....	55-1
5.2 Saran.....	57-2
DAFTAR PUSTAKA	xx
LAMPIRAN 1 PRELIMINARY DESIGN ELEMEN STRUKTUR.....	L1-1
LAMPIRAN 2 PRELIMINARY DESIGN AWAL <i>LEAD RUBBER</i> <i>BEARING</i>	L2-1
LAMPIRAN 3 <i>PRELIMINARY DESIGN LANJUTAN LEAD RUBBER</i> <i>BEARING</i>	L3-1

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

A_{LRB}	: Luas <i>lead rubber bearing</i>
A_p	: Luas <i>lead plug</i>
B_M	: Koefisien numerik terkait dengan redaman efektif sistem isolasi pada perpindahan maksimum
C_d	: Koefisien amplifikasi defleksi
C_s	: Koefisien respons seismik
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
EDC	: <i>Energy dissipated per cycle</i>
E_h	: Pengaruh beban gempa horizontal
E_M	: energi terdisipasi total pada sistem isolasi selama respon satu siklus penuh pada perpindahan D_M
E_v	: Pengaruh beban gempa vertikal
F_a	: Koefisien situs untuk periode 0.2 detik
f_c'	: Kuat tekan beton
F_v	: Koefisien situs untuk periode 1 detik
f_y	: Tegangan leleh material baja
F_y	: <i>Yield strength</i> dari <i>lead</i>
g	: Percepatan gravitasi
G	: <i>shear modulus</i> karet
I_e	: Faktor keutamaan gempa
IO	: <i>Immediate Occupancy</i>
K_1	: Kekakuan awal <i>lead Rubber Bearing</i>

K_2	: Kekakuan pasca leleh <i>lead rubber bearing</i>
K_{eff}	: Kekakuan efektif <i>lead rubber bearing</i>
K_M	: Kekakuan efektif sistem isolasi pada perpindahan maksimum
K_{Mmax}	: Kekakuan efektif maksimum sistem isolasi pada perpindahan maksimum
K_{Mmin}	: Kekakuan efektif minimum sistem isolasi pada perpindahan maksimum
L	: Beban hidup
L_r	: Beban hidup pada atap
MCE_R	: <i>Risk-Targeted Maximum Considered Earthquake</i>
n	: <i>Post yield stiffness to pre yield stiffness ratio of rubber</i>
Q_d	: <i>Characteristic strength</i>
R	: Koefisien modifikasi respons
S_a	: Spektrum respons percepatan desain
S_{D1}	: Parameter percepatan respons spektral pada periode 1 detik, redaman 5 persen
S_{DS}	: Parameter percepatan respons spektral pada periode pendek, redaman 5 persen
S_{M1}	: Parameter percepatan respons spektral MCE pada periode pendek yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs
S_{MS}	: Parameter percepatan respons spektral MCE pada periode 1 detik yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs
S_1	: Parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada periode 1 detik, redaman 5 persen
S_s	: Parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada periode pendek, redaman 5 persen
T	: Periode fundamental bangunan
T_a	: Periode fundamental pendekatan
T_{eff}	: Periode efektif
T_M	: Periode efektif struktur yang terisolasi pada saat perpindahan maksimum
T_s, T_0	: Parameter periode untuk respons spektrum desain elastik

T_r	: Total thickness of rubber
V	: Gaya lateral dinamik
W	: Berat seismik efektif
X	: Parameter untuk perioda fundamental pendekatan
B_{eff}	: Redaman efektif <i>lead rubber bearing</i>
βM	: Redaman efektif dari sistem isolasi pada perpindahan maksimum
δ_x	: Simpangan pusat massa di tingkat- x
δ_{xe}	: Simpangan di tingkat- x yang ditentukan dengan analisis elastik
ρ	: Faktor redudansi
Ω_0	: Faktor kuat lebih
Δ_{izin}	: Simpangan izin antar lantai



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	<i>Lead Rubber Bearing</i>	1-3
Gambar 1.2	Tampak atas bangunan	1-4
Gambar 1.3	Diagram alir.....	1-7
Gambar 1.3	Diagram alir.....	1-7
Gambar 2.1	Perbedaan perilaku bangunan gedung Fixed base dan base Isolation dalam menerima gaya gempa	2-2
Gambar 2.2	Low damping natural rubber bearing	2-3
Gambar 2.3	Lead rubber bearing	2-4
Gambar 2.4	Elastic sliding bearing	2-5
Gambar 2.5	Property histeresis isolator untuk biaxial shear deformation	2-6
Gambar 2.6	Link property data dalam program ETABS	2-8
Gambar 2.7	Link support directional properties U_1	2-9
Gambar 2.8	Link support directional properties U_2 dan U_3	2-9
Gambar 2.9	Diagram alir preliminary design awal lead rubber bearing.....	2-16
Gambar 2.10	Diagram alir preliminary design lanjutan lead rubber bearing....	2-17
Gambar 2.11	Parameter gerak tanah S_s , gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko tetarget (MCE_R) wilayah Indonesia untuk spektrum respons 0,2-detik (redaman kritis 5%).....	2-23
Gambar 2.12	Parameter gerak tanah S_1 , gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko tetarget (MCE_R) wilayah Indonesia untuk spektrum respons 0,2-detik (redaman kritis 5%).....	2-23
Gambar 2.13	Spektrum respons desain.....	2-24
Gambar 2.14	Rekaman gempa Bucharest	2-37
Gambar 2.15	Rekaman gempa Denpasar	2-37
Gambar 2.16	Rekaman gempa El-centro	2-37
Gambar 2.17	Rekaman gempa Flores	2-38
Gambar 2.18	Rekaman gempa Park.....	2-38
Gambar 3.1	Model gedung <i>fixed base</i> dalam 3 dimensi	3-1

Gambar 3.2	Model gedung dengan fixed base.....	3-1
Gambar 3.3	Model gedung <i>Base Isolation</i> dalam 3 dimensi	3-2
Gambar 3.4	Model Jenis Perletakan <i>Base Isolation</i>	3-2
Gambar 4.1	Simpangan antar tingkat pada model gedung fixed base	4-3
Gambar 4.2	Simpangan antar tingkat pada model gedung dengan base isolation	4-7
Gambar 4.3	Hasil analisis non linier simpangan antar tingkat pada model gedung dengan base isolation.....	4-10
Gambar 4.4	Grafik hasil analisis non linier perpindahan pada gedung model fixed base	4-12
Gambar 4.5	Rasio simpangan antar tingkat pada model gedung dengan base isolation R=8	4-15
Gambar 4.6	Rasio simpangan antar tingkat pada model gedung dengan base isolation R=5	4-16
Gambar 4.7	Grafik Perpindahan <i>base isolation</i> (R=8).....	4-19
Gambar 4.8	Grafik Perpindahan <i>base isolation</i> (R=5).....	4-20
Gambar 4.9	Kurva histeresis bearing akibat gempa El Centro 1940-N-S pada model gedung dengan base isolation (R=5)	4-20
Gambar 4.10	Kurva hysteresis lead rubber bearing akibat gempa Denpasar 1979-B-T pada model gedung dengan base isolation (R=5)	4-21
Gambar 4.11	Kurva hysteresis lead rubber bearing akibat gempa Flores 1992 pada model gedung dengan base isolation (R=5)	4-21
Gambar 4.12	Kurva hysteresis lead rubber bearing akibat gempa Parkfield 1966 N65 SE pada model gedung dengan base isolation (R=5)	4-22
Gambar 4.13	Kurva hysteresis lead rubber bearing akibat gempa Bucharest 1977 N-S pada model gedung dengan base isolation (R=5)	4-22
Gambar 4.14	Kurva histeresis lead rubber bearing akibat gempa El centro 1940 N-S pada model gedung dengan base isolation (R=8).....	4-23
Gambar 4.15	Kurva histeresis lead rubber bearing akibat gempa Denpasar 1979 B-T pada model gedung dengan base isolation (R=8).....	4-23

Gambar 4.16	Kurva histeresis lead rubber bearing akibat gempa Flores 1992 pada model gedung dengan base isolation ($R=8$).....	4-24
Gambar 4.17	Kurva hysteresis lead rubber bearing akibat gempa Parkfield 1966 N65SE pada model gedung dengan base isolation ($R=8$).....	4-24
Gambar 4.18	Kurva hysteresis lead rubber bearing akibat gempa Bucharest 1977 N-S pada model gedung dengan base isolation ($R=8$).....	4-25
Gambar 4.19	Grafik Perbandingan perpindahan pada gempa EL-Centro 1940 N-S	4-28
Gambar 4.20	Grafik Perbandingan <i>story drift ratio</i> pada gempa EL-Centro 1940 N-S	4-29
Gambar 4.21	Model gedung <i>fixed base</i> saat pertama terjadi sendi plastis pada detik ke 30,4 s untuk rekaman gempa Denpasar 1979 B-T	4-30
Gambar 4.22	Model gedung <i>base isolation</i> saat terjadi sendi plastis pada detik ke 30,4 s untuk rekaman gempa Denpasar 1979 B-T	4-31
Gambar 4.23	Model gedung <i>base isolation</i> saat terjadi sendi plastis pada detik ke 30,4 s untuk rekaman gempa Denpasar 1979 B-T.....	4-32



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Kategori risiko bangunan gedung gedung dan non gedung untuk beban gempa	2-18
Tabel 2.2	Faktor keutamaan gempa	2-19
Tabel 2.3	Klasifikasi situs	2-21
Tabel 2.4	Koefisien situs F_a	2-22
Tabel 2.5	Koefisien situs F_v	2-22
Tabel 2.6	Kategori Desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek	2-24
Tabel 2.7	Kategori Desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik	2-25
Tabel 2.8	Faktor R , C_d dan Ω_0 untuk system pemikul gaya seismik	2-25
Tabel 2.9	Persyaratan untuk masing-masing tingkat yang menahan lebih dari 35% gaya geser dasar	2-26
Tabel 2.10	Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung	2-26
Tabel 2.11	Nilai parameter periode pendekatan C_t dan X	2-27
Tabel 2.12	Simpangan izin antar lantai	2-28
Tabel 2.13	Faktor Redaman	2-31
Tabel 2.14	Kriteria ketidakberaturan vertikal	2-35
Tabel 2.15	Persyaratan <i>Roof Drift Ratio</i>	2-40
Tabel 3.1	Beban mati tambahan	3-4
Tabel 3.2	Beban hidup	3-5
Tabel 3.3	Dimensi penampang elemen struktur	3-6
Tabel 3.4	Penulangan Struktur	3-6
Tabel 3.5	Spesifikasi Base Isolation Lead Rubber Bearing	3-7
Tabel 4.1	Pola gerak dominan model gedung	4-1

Tabel 4.2	Ragam getar dan Periode getar pada model gedung <i>Fixed Base</i> ...	4-1
Tabel 4.3	Gaya geser dasar pada model gedung	4-2
Tabel 4.4	Simpangan antar tingkat pada model gedung <i>Fixed Base</i>	4-3
Tabel 4.5	Perpindahan pada model gedung <i>Fixed Base</i>	4-4
Tabel 4.6	Pola gerak dominan model gedung dengan <i>Base Isolation</i>	4-4
Tabel 4.7	Ragam getar dan Periode getar pada model gedung dengan Base Isolation.....	4-5
Tabel 4.8	Gaya geser dasar pada model gedung dengan <i>Base Isolation</i>	4-6
Tabel 4.9a	Simpangan antar tingkat arah X dan Y pada model gedung dengan Base Isolation (R=8)	4-6
Tabel 4.9b	Simpangan antar tingkat arah X dan Y pada model gedung dengan Base Isolation (R=5)	4-7
Tabel 4.10	Perpindahan pada model gedung dengan <i>Base Isolation</i> (R=8)	4-8
Tabel 4.11	Perpindahan pada model gedung dengan <i>Base Isolation</i> (R=5)	4-8
Tabel 4.12	Hasil analisis non linear gaya geser dasar dan faktor kuat lebih pada model gedung <i>Fixed Base</i>	4-9
Tabel 4.13	Hasil analisis linear ratio simpangan antar pada model gedung <i>Fixed Base</i>	4-10
Tabel 4.14	Simpangan antar tingkat pada model gedung <i>Fixed Base</i>	4-11
Tabel 4.15	Hasil analisis non linear perpindahan pada model <i>Fixed Base</i>	4-12
Tabel 4.16	Detik pertama terjadi sendi plastis pada model <i>Fixed Base</i>	4-13
Tabel 4.17	Tingkat Kinerja Struktur	4-13
Tabel 4.18	Gaya geser dasar dan faktor kuat lebih pada model gedung dengan <i>Base Isolation</i> (R=8).....	4-14
Tabel 4.19	Gaya geser dasar dan faktor kuat lebih pada model gedung dengan <i>Base Isolation</i> (R=5).....	4-14
Tabel 4.20	Ratio simpangan antar tingkat pada model gedung dengan <i>Base Isolation</i> (R=8).....	4-15
Tabel 4.21	Ratio simpangan antar tingkat pada model gedung dengan <i>Base Isolation</i> (R=5).....	4-16

Tabel 4.22 Simpangan antar tingkat pada model gedung dengan <i>Base Isolation</i> ($R=8$).....	4-17
Tabel 4.23 Simpangan antar tingkat pada model gedung dengan <i>Base Isolation</i> ($R=5$).....	4-18
Tabel 4.24 Perpindahan pada model gedung dengan <i>Base Isolation</i> ($R=8$) ..	4-18
Tabel 4.25 Perpindahan pada model gedung dengan <i>Base Isolation</i> ($R=5$) ..	4-19
Tabel 4.26 Detik pertama terjadi sendi plastis pada model gedung dengan <i>Base Isolation</i> ($R=8$).....	4-25
Tabel 4.27 Detik pertama terjadi sendi plastis pada model gedung dengan <i>Base Isolation</i> ($R=5$).....	4-25
Tabel 4.28 Perbandingan Periode Getar	4-26
Tabel 4.29 Perbandingan gaya geser dasar untuk analisis non-linear riwayat waktu	4-27
Tabel 4.30 Perbandingan detik pertama terjadinya sendi plastis	4-29
Tabel 4.31 Pengecekan ketidakberaturan tipe 1a, arah X pada gedung <i>Fixed Base</i>	4-33
Tabel 4.32 Pengecekan ketidakberaturan tipe 1a, arah Y pada gedung <i>Fixed Base</i>	4-33
Tabel 4.33 Pengecekan ketidakberaturan tipe 1a, arah X pada gedung dengan <i>Base Isolation</i>	4-33
Tabel 4.34 Pengecekan ketidakberaturan tipe 1a, arah Y pada gedung dengan <i>Base Isolation</i>	4-34
Tabel 4.35 Pengecekan ketidakberaturan tipe 1b, arah X pada gedung dengan <i>Fixed Base</i>	4-34
Tabel 4.36 Pengecekan ketidakberaturan tipe 1b, arah Y pada gedung dengan <i>Fixed Base</i>	4-34
Tabel 4.37 Pengecekan ketidakberaturan tipe 1b, arah X pada gedung dengan <i>Base Isolation</i>	4-35
Tabel 4.38 Pengecekan ketidakberaturan tipe 1b, arah Y pada gedung dengan <i>Base Isolation</i>	4-35

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pesatnya perkembangan penduduk di Indonesia mengakibatkan pembangunan infrastruktur juga ikut berkembang. Pembangunan infrastruktur baru membutuhkan lahan kosong, sehingga mengakibatkan lahan yang ada di kota-kota besar semakin berkurang. Salah satu solusi untuk mengurangi kebutuhan akan lahan kosong adalah dengan membangun gedung bertingkat. Pembangunan gedung bertingkat dengan salah satu fungsi seperti gedung perkantoran merupakan contoh konstruksi yang umum pada saat ini.

Ketidakteraturan struktur pada gedung bertingkat dapat diakibatkan oleh fungsi lantai yang tidak sama antara lantai yang satu dengan lantai yang lainnya. Sebagai contoh, lantai yang difungsikan sebagai *lobby* membutuhkan ruang yang lebih tinggi dibandingkan lantai yang lainnya, lantai yang difungsikan sebagai kolam renang memiliki masa yang lebih besar dibandingkan dengan lantai yang lainnya. Ketidakteraturan tersebut dapat dikategorikan menjadi ketidakteraturan vertikal dan ketidakteraturan horizontal. Kriteria dari bangunan yang memiliki ketidakteraturan dapat dilihat dari kriteria yang ada pada Standar Nasional Indonesia 1726:2019 mengenai Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. Salah satu contoh ketidakteraturan vertikal yang mungkin terjadi pada struktur gedung bertingkat adalah ketidakteraturan vertikal tingkat lunak atau sering disebut dengan *soft story*. *Soft story* ini dapat berpotensi mengakibatkan keruntuhan pada struktur.

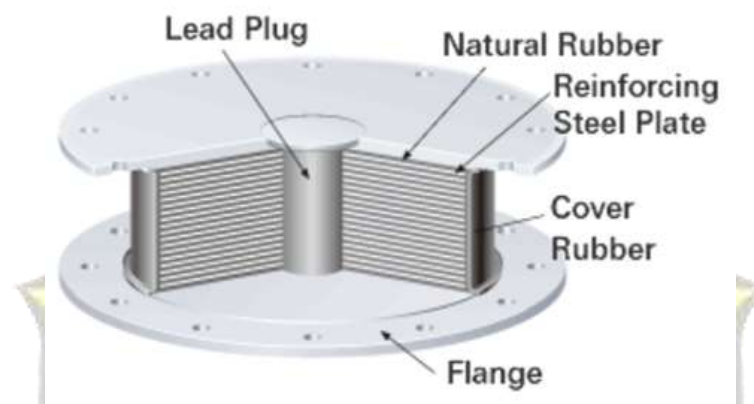
Seiring berkembangnya teknologi pada bidang konstruksi khususnya teknologi anti gempa, maka beberapa solusi dikembangkan untuk mengurangi gaya gempa, salah satunya dengan sistem isolasi dasar (*base isolation*). *Base isolation* menggunakan material khusus peredam getaran *seismic isolator* yang terletak diantara bangunan dengan pondasi dasar untuk mencegah getaran gempa langsung mengenai struktur. Tujuan dari *base isolation* adalah untuk memperbesar waktu getar alami struktur (T) akibat gempa, sehingga beban gempa yang mengenai struktur menjadi lebih kecil dan tidak membahayakan struktur

beserta isinya (Tjokrodimuljo, 1993). Pada dasarnya *base isolation* membuat sebuah gedung yang dibangun terisolasi dari tanah asli dengan menambahkan struktur *base isolation* di dasar gedung. *Base isolation* sendiri memiliki beberapa tipe *isolation system component* yang pertama adalah: *Elastomeric-based system*. Dan pada *elastomeric-based system* sendiri memiliki beberapa tipe seperti: *low-damping natural and synthetic rubber bearing*, *lead-plug bearing* dsb. Contoh *isolation system component* yang kedua adalah *friction pendulum system* di mana prinsip dari sistem ini adalah menggunakan prinsip geometri dan gravitasi untuk mencapai isolasi seismik yang diinginkan. Hal ini dicapai dengan menggunakan prinsip gerakan pendulum. Struktur yang didukung oleh *friction pendulum system* menanggapi gerakan gempa dengan gerakan pendulum kecil. Dan karena peredaman gesekan menyerap maka sebagian energi gempa bisa terserap.

Tipe *base isolation system* yang paling umum digunakan untuk struktur gedung pada era sekarang ini adalah *elastomeric-bearing* dan *lead rubber bearing*. *Elastomeric bearing* sendiri dapat dijelaskan dengan *base isolation* yang terdiri dari lapisan yang terbuat dari karet alam atau sintetis yang diapit di antara pelat baja ringan. Ini bersama-sama bertindak sebagai satu kesatuan. Pelat baja ini membantu lapisan karet agar tidak menggebu saat terjadi gempa. Unit atas dan bawah dari *base isolation system* ini memiliki pelat baja pemasangan tebal yang memungkinkan untuk terhubung dengan kuat ke struktur gedung di atas dan pondasi di bawah.

Tipe kedua adalah *Lead rubber bearing*, yang dipilih sebagai *base isolation system* dalam pemodelan dan analisis struktur gedung pada skripsi ini. Dapat dilihat bahwa pada *base isolation* tipe ini terdiri dari beberapa komponen utama berupa: timah hitam (*lead*) bantalan karet dan lempengan plat baja. Timah hitam (*lead*) digunakan untuk menyerap energi dari gempa dan untuk menahan beban angin. Pada Gambar 1.2 dibawah dapat terlihat bahwa lapisan karet dan baja dari sistem *lead rubber bearing* serta *lead* (perunggu) terletak di bagian tengah. Lapisan karet inilah yang membuat *base isolator* dapat bergerak ke seluruh arah horizontal sedangkan lapisan baja berfungsi untuk menahan beban aksial. Mengapa dalam penulisan skripsi ini *Lead Rubber Bearing* menjadi *base isolation system* yang dipilih dibandingkan dengan *elastomeric isolation systems* yang lain

adalah kehadiran dari *lead* (perunggu) di tengah karena akan menyebabkan terjadinya disipasi energi ketika terdapat beban lateral yang besar seperti beban gempa dan memberikan kekakuan yang cukup untuk menahan beban servis. Dalam kata lain, *lead* (perunggu) ini nantinya yang akan menyerap energi dari gempa sehingga dapat memperkecil gaya gempa serta perpindahan. Kelebihan lain dari *Lead Rubber Bearing* adalah sistemnya yang memiliki banyak kegunaan seperti memiliki kapasitas redaman yang tinggi (*high damping capacity*) tetapi juga memiliki kekakuan vertikal yang baik sehingga dapat menahan beban servis serta fleksibilitas yang dapat menahan beban gempa



Gambar 1. 1 *Lead Rubber Bearing* (Sumber: www.bridgestone.com)

1.2 Inti Permasalahan

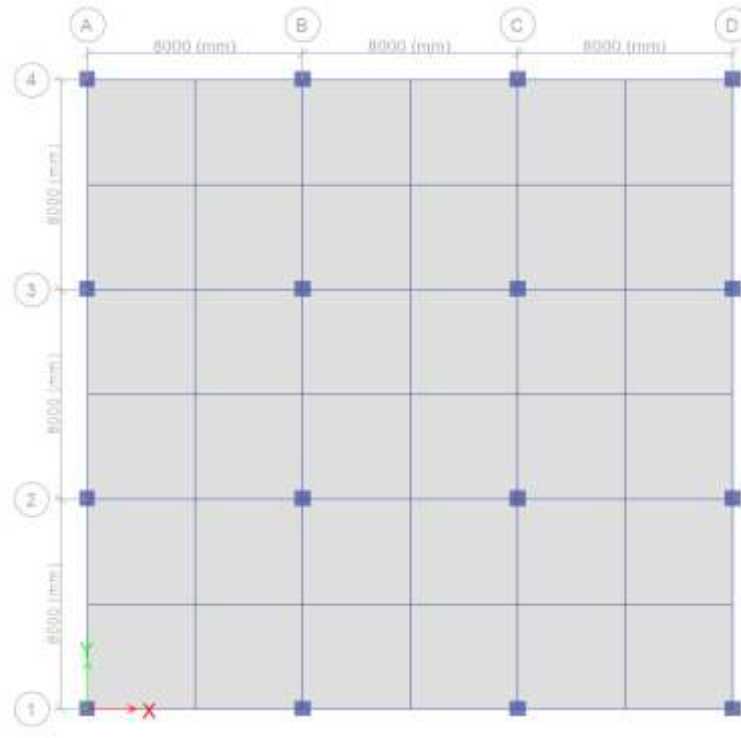
Base isolation dapat mengurangi beban gempa pada struktur di atasnya. Pengaruh adanya *base isolation* terhadap fenomena *soft story* akibat beban gempa perlu dipelajari lebih lanjut. Perilaku dinamik gedung sebelum dan sesudah dipasang *base isolation* pada gedung yang memiliki *soft story* akan dipelajari pada skripsi ini.

1.3 Tujuan Penelitian

Skripsi ini bertujuan untuk membandingkan perilaku dinamik struktur gedung yang memiliki ketidakberaturan *soft story* dengan dan tanpa adanya *base isolation* dengan jenis *lead rubber bearing*. Untuk mempelajari perilaku dinamik struktur gedung tersebut maka dilakukan analisis modal dengan respons spektrum dan analisis riwayat waktu. Dan untuk analisis riwayat waktu, faktor modifikasi respon (R) divariasikan nilainya antara $R=5, R=8$.

1.4 Pembatasan masalah

1. Pemodelan gedung stuktur beton adalah 3 Model dengan jarak bentang antar kolom sebesar 8 m seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 1.2**



Gambar 1.2 Tampak Atas Bangunan

Gedung *soft story* ini memiliki tinggi 6 m dan lantai tipikal 3,4 m.

2. Menggunakan *base isolation* tipe *lead rubber bearing* pada struktur gedung
3. Mutu beton yang dipakai pada kolom, pelat dan balok adalah beton dengan mutu f_c' : 35 MPa. Mutu tulangan baja yang digunakan yaitu $f_y = 420$ Mpa.
4. Fungsi bangunan adalah Perkantoran
5. Bangunan terletak di Jakarta, dengan site class tanah D
6. Stuktur dimodelkan sebagai stuktur beton bertulang rangka pemikul momen khusus (SRPMK)
7. Rekaman percepatan tanah dasar gempa yang digunakan dalam analisis riwayat waktu (*time history analysis*) adalah:
 - a. Gempa El Centro N-S tahun 1940
 - b. Gempa Denpasar T-B tahun 1979, dan
 - c. Gempa Flores tahun 1990
 - d. Gempa Parkfield 1966 N65E, dan

- e. Gempa Bucharest 1977 N-S
8. Desain struktur dan analisis riwayat waktu menggunakan program ETABS 16

1.5 Metode Penelitian

Metode penulisan yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Studi Pustaka:

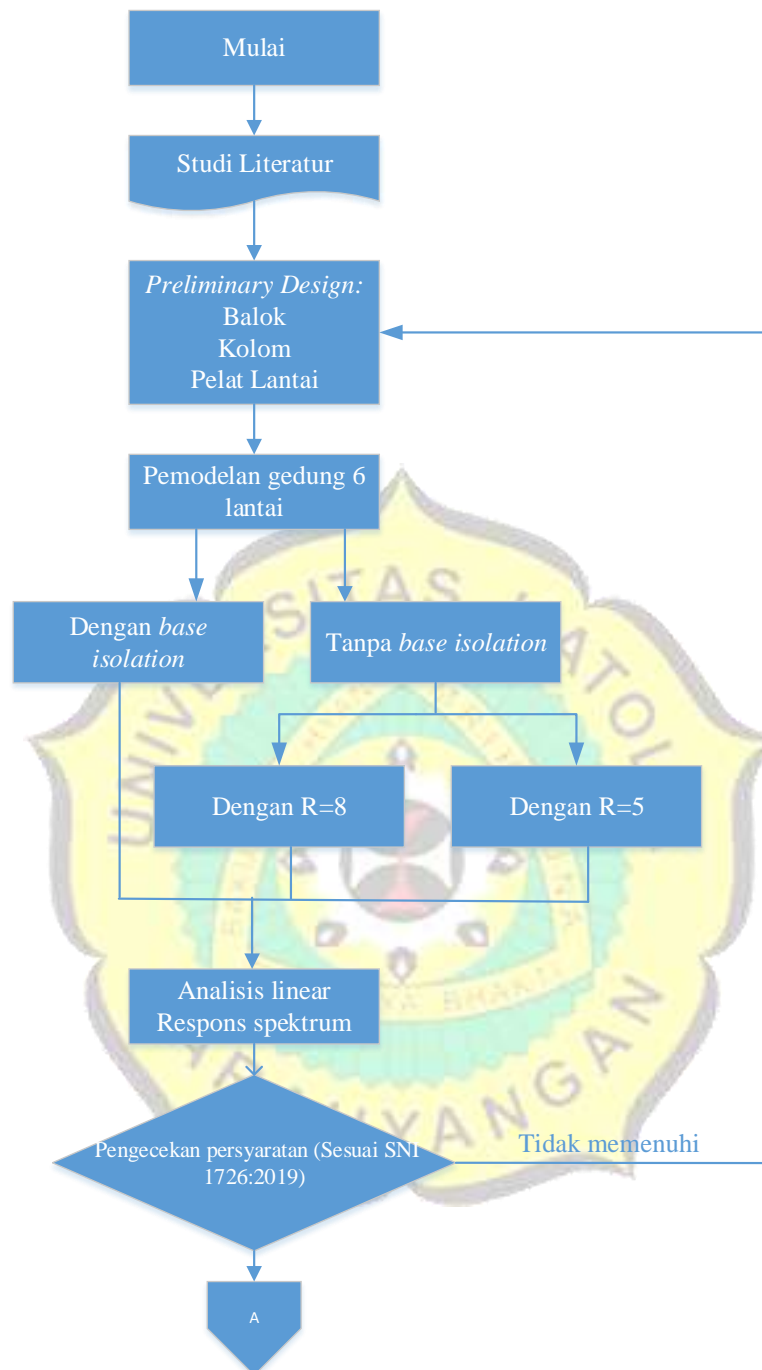
Dalam skripsi ini digunakan landasan teori yang bersumber dari buku-buku pustaka, *paper-paper*, dan standar ataupun *code* yang berkaitan dengan bangunan gedung beton bertulang, *base isolation*, juga informasi terkait yang berasal dari media daring.

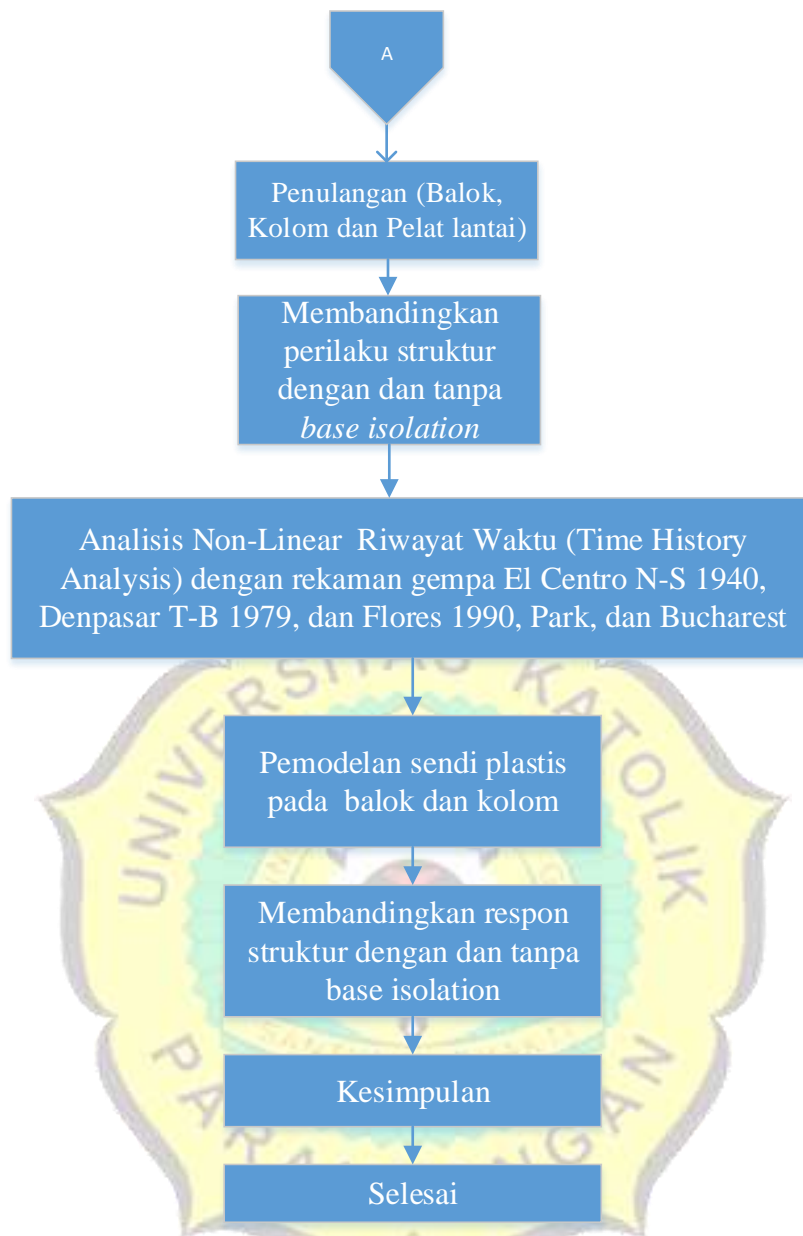
2. Studi Analisis:

Bangunan gedung dalam skripsi ini didesain dan dianalisis dengan bantuan perangkat lunak ETABS 16, dan Mathcad.



1.6 Diagram Alir





Gambar 1.3 Diagram Alir penelitian

1.7 Sistematika Penulisan

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang latar belakang, inti permasalahan, tujuan penulisan, pembatasan masalah, metode penulisan, diagram alir, dan sistematika penulisan skripsi

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang tinjauan teori – teori yang akan dijadikan pedoman dalam proses desain dan analisis

BAB 3 DESAIN DAN PEMODELAN STUKTUR

Bab ini berisi desain dan pemodelan stuktur bangunan beserta dimensi yang digunakan pada struktur bangunan beton menggunakan program ETABS

BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisikan hasil analisis riwayat waktu stuktur terhadap struktur gedung yang telah terpasang sistem kontrol gempa *base isolation*

BAB 5 KESIMPULAN SARAN

Bab ini berisi tentang hasil kesimpulan akhir yang didapat berdasarkan analisis dan saran saran yang atas hasil studi yang dilakukan

