

SKRIPSI

**PERILAKU GEDUNG STRUKTUR BAJA *SOFT STORY*
DENGAN *BASE ISOLATION* TIPE *LEAD RUBBER BEARING*
TERHADAP GEMPA**



**FAHMI RACHMAN ISKANDAR
NPM : 6101901174**

PEMBIMBING: Dr. Johannes Adhijoso Tjondro

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK LAM Teknik No.0216/SK/LAM Teknik/AS/VIII/2023)
BANDUNG
JANUARI 2024**

SKRIPSI

**PERILAKU GEDUNG STRUKTUR BAJA *SOFT STORY*
DENGAN *BASE ISOLATION* TIPE *LEAD RUBBER BEARING*
TERHADAP GEMPA**



**FAHMI RACHMAN ISKANDAR
NPM : 6101901174**

BANDUNG, 15 JANUARI 2024

PEMBIMBING



Dr. Johannes Adhijoso Tjondro

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK LAM Teknik No.0216/SK/LAM Teknik/AS/VIII/2023)
BANDUNG
JANUARI 2024**

SKRIPSI

PERILAKU GEDUNG STRUKTUR BAJA *SOFT STORY* DENGAN *BASE ISOLATION* TIPE *LEAD RUBBER BEARING* TERHADAP GEMPA



FAHMI RACHMAN ISKANDAR
NPM : 6101901174

PEMBIMBING: Dr. Johannes Adhijoso Tjondro

PENGUJI 1: Dr.-Ing. Dina Rubiana Widarda

PENGUJI 2: Lidya Fransisca Tjong, Ir.,M.T.

UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK LAM Teknik No.0216/SK/LAM Teknik/AS/VIII/2023)
BANDUNG
JANUARI 2024

PERNYATAAN

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

Nama : Fahmi Rachman Iskandar
NPM : 6101901174
Program Studi : Teknik Sipil;
Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan

Menyatakan bahwa skripsi / tesis / disertasi^{*)} dengan judul:
Perilaku Struktur Baja Soft Story dengan Base Isolation tipe Lead Rubber Bearing terhadap Gempa

.....
.....
.....
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: 12 Januari 2024



Fahmi Rachman Iskandar

^{*)} coret yang tidak perlu

LEMBAR PERNYATAAN

PERILAKU GEDUNG STRUKTUR BAJA *SOFT STORY* DENGAN *BASE ISOLATION* TIPE *LEAD RUBBER BEARING* TERHADAP GEMPA

Fahmi Rachman Iskandar
NPM: 6101901174

Pembimbing: Dr. Johannes Adhijoso Tjondro

UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK LAM Teknik No.0216/SK/LAM Teknik/AS/VIII/2023)
BANDUNG
JANUARI 2024

ABSTRAK

Seiring dengan peningkatan jumlah penduduk di Indonesia, kebutuhan pembangunan infrastruktur terus bertambah. Lahan kosong di kota-kota Indonesia semakin berkurang akibat adanya pembangunan infrastruktur yang baru. Pembangunan gedung secara vertikal atau bertingkat merupakan salah satu solusi untuk mengurangi kebutuhan lahan. Perbedaan fungsi setiap lantai pada gedung bertingkat dapat mengakibatkan adanya ketidakberaturan struktur sehingga perilaku struktur ketika diberi beban gempa akan berbeda dibandingkan dengan struktur tanpa ketidakberaturan. *Lead Rubber Bearing* (LRB) merupakan produk yang dihasilkan dari perkembangan teknologi. Komponen ini sebagai pemisah struktur gedung (*superstructure*) dengan struktur pondasinya (*substructure*). Pada skripsi ini akan dilakukan analisis dan perbandingan struktur baja *soft story fixed base* dengan struktur baja *soft story* yang terisolasi dasarnya (*base isolated*). Analisis yang dilakukan adalah analisis respon spektrum dan analisis riwayat waktu nonlinier dengan gempa El-centro, Denpasar, Bucharest dan Parkfield. Koefisien modifikasi respon yang digunakan untuk struktur *fixed base* adalah 8, sedangkan untuk *base isolated* adalah 2,4 dan 6. Dalam analisis riwayat waktu nonlinier, struktur *base isolated* dengan $R = 2$ dan $R = 4$ tidak mengalami sendi plastis. Akan tetapi pada $R = 6$ *base isolated* mengalami sendi plastis pada gempa Parkfield. Sementara itu, struktur *fixed base* mengalami kelelahan pada semua gempa dan jumlah sendi plastis yang terjadi jauh lebih banyak dibandingkan *base isolated* dengan $R = 6$

Kata Kunci: Analisis respon spektrum, Analisis riwayat waktu, Sistem isolasi dasar, Faktor modifikasi respons, Ketidakberaturan tingkat lunak (*soft story*), Sendi plastis

BEHAVIOUR OF SOFT STORY STEEL STRUCTURE WITH LEAD RUBBER BEARING TYPE BASE ISOLATION AGAINST EARTHQUAKES

**Fahmi Rachman Iskandar
NPM: 6101901174**

Advisor: Dr Johannes Adhijoso Tjondro

**PARAHYANGAN CATHOLIC UNIVERSITY
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
BACHELOR PROGRAM
(Accredited by SK LAM Teknik No.0216/SK/LAM Teknik/AS/VIII/2023)
BANDUNG**

JANUARY 2024

ABSTRACT

Along with the increase in population in Indonesia, the need for infrastructure development continues to increase. Vacant land in Indonesian cities is decreasing due to new infrastructure development. Building vertical or multi-storey buildings is one solution to reduce land requirements. The different functions of each floor in a multi-storey building can result in structural irregularities so that the behavior of the structure when subjected to earthquake loads will be different compared to a structure without irregularities. Lead Rubber Bearing (LRB) is a product resulting from technological developments. This component separates the building structure (superstructure) from the foundation structure (substructure). In this thesis, an analysis and comparison between fixed base soft story steel structure and base isolated soft story steel structure will be carried out. The analysis carried out was spectrum response analysis and nonlinear time history analysis with the El-centro, Denpasar, Bucharest and Parkfield earthquakes. The modification response coefficient used for the fixed base structure is 8, while for the isolated base it is 2.4 and 6. In the nonlinear time history analysis, the isolated base structure with $R = 2$ and $R = 4$ does not experience plastic hinges. However, at $R = 6$ the isolated base experiences plastic hinges in the Parkfield earthquake. Meanwhile, fixed base structures experience yielding in all earthquakes and the number of plastic joints that occur is much greater than isolated bases with $R = 6$.

Keywords: Base isolation system, Non-linear time history analysis, Plastic hinge, Reponse modification factor, Response spectrum analysis, Soft story irregu

PRAKATA

Puji serta syukur dipanjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa berkat dan rahmat-nya yang memberi kekuatan untuk penulis menyelesaikan skripsi dengan judul Perilaku Struktur Baja *Soft Story* dengan *Base Isolation* tipe *Lead Rubber Bearing*. Skripsi ini ditempuh sebagai salah satu syarat akademik dalam penyelesaian pendidikan sarjana di Universitas Katolik Parahyangan, Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Sipil.

Terselesaikannya skripsi ini adalah pelajaran dan pengalaman berharga bagi proses kehidupan penulis. Dalam penyusunan skripsi ini., mengalami rintangan, tantangan dan pengobarnan dalam prosesnya. Selain itu, penulis merasa bahwa pelajaran hidup, saran dan masukan yang bermanfaat telah diterima pada proses penyusunan skripsi ini. Berlandaskan hal tersebut, penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Ibu, Ayah dan Kaka selaku keluarga atas dukungan dan doa yang tak terukur dan mungkin menjadi penguat bagi penulis selama penulisan skripsi ini;
2. Bapa Dr. Johannes Adhijoso Tjondro selaku dosen pembimbing atas pemberian ilmu, tenaga, waktu, saran dan nasihat yang berguna bagi penulis dalam penyusunan skripsi ini;
3. Bapak Ibu Dosen dari Komunitas Bidang Ilmu Teknik Struktur yang telah memberikan saran dan masukan yang membangun sehingga skripsi ini dapat disusun menjadi lebih baik;
4. Michael Ezranovaldi, Nicholas Tjandra dan Jonathan Hadinata yang telah meluangkan waktunya untuk memberi masukan dalam pengoperasian *software* ETABS untuk penyusunan skripsi ini.;
5. Karina Ayu selaku rekan terdekat yang selalu menemani dan menghibur penulis selama masa perkuliahan.
6. Javier Ramadhan dan Haikal Rifkyanda selaku rekan-rekan yang senantiasa menghibur, menemani, memberikan masukan dan bertukar pikiran selama penulis menghadapi suka dan duka serta lika liku kehidupan;
7. Eka Panji selaku teman satu bimbingan yang senantiasa menghibur dan membantu penulis dalam waktu penyusunan skripsi dari awal pemilihan judul hingga selesai.
8. Alvian Adli, Hananto Kurniawan, Hilman Zul dan Daffa Bisma selaku rekan-rekan terdekat di kampus yang senantiasa menghibur dan memberi masukan dalam penyusunan skripsi ini.

9. Muhammad Febianto Abisha, Rafi Adika dan Khalifa Athallah selaku rekan-rekan pada masa Orientasi Studi dan Pengenalan Kampus yang masih sering mengajak bermain, bergaul serta bertukar pikiran di luar topik perkuliahan.
10. Teman-teman angkatan 2019 yang selalu menghibur, mengajak bermain serta mengajak untuk belajar bersama pada masa kuliah.
11. Seluruh pihak yang telah membantu penulis dalam penyusunan skripsi, baik secara langsung maupun tidak langsung, yang dimana tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak sempurna, sehingga penulis meminta maaf apabila adanya kesalahan yang ditemukan. Akhir kata, besar harapan penulis untuk skripsi ini dapat berguna bagi pembaca.



Bandung, 15 Januari 2024

Fahmi Rachman Iskandar

6101901174

DAFTAR ISI

LEMBAR PERNYATAAN.....	i
ABSTRAK.....	ii
ABSTRACT.....	iii
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL.....	xx
DAFTAR LAMPIRAN.....	xxiii
BAB 1.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Inti Permasalahan.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Pembatasan Masalah.....	2
1.5 Metode Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
1.7 Diagram Alir.....	5
BAB 2 STUDI PUSTAKA.....	7
2.1 <i>Base Isolation</i>	7
2.2 Jenis-jenis <i>Base Isolator</i>	7
2.2.1 <i>Lead Rubber Bearing (LRB)</i>	8
2.2.2 <i>Natural Rubber Bearing (NRB)</i>	8
2.2.3 <i>High Damping Rubber bearing (HDRB)</i>	8
2.2.4 <i>Friction Pendulum System (FPS)</i>	8
2.3 SNI 1726:2019.....	9

2.3.1 Gempa Rencana	9
2.3.2 Faktor Keutamaan gempa dan kategori risiko struktur bangunan	9
2.3.3 Kombinasi Pembebanan Dasar	9
2.3.4 Kombinasi pembebanan dengan pengaruh beban seismik.....	10
2.3.5 Klasifikasi Situs	11
2.3.6. Parameter Percepatan Terpetakan.....	12
2.3.7 Koefisien-koefisien Situs dan Parameter-parameter Respons Spektral Percepatan Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-tertarget (<i>MCER</i>).....	13
2.3.8 Parameter Percepatan Spektral Desain	14
2.3.9 Spektrum Respons Desain	14
2.3.10 Kategori Desain Seismik.....	15
2.3.11 Sistem Struktur.....	16
2.3.12 Faktor Redundansi	16
2.3.13 Penentuan Periode.....	18
2.3.14 Penskalaan Gaya	19
2.4 Ketidakberaturan Struktur.....	20
2.4.1 Ketidakberaturan horizontal.....	20
2.4.2 Ketidakberaturan Vertikal.....	20
2.4.3 Ketidakberaturan Tingkat Lunak Berlebihan.....	20
2.5 Struktur dengan Isolasi Dasar	21
2.5.1 Faktor Keutamaan Gempa	21
2.5.2 Faktor Redudansi	21
2.5.3 Stabilitas beban vertikal.....	21
2.5.4 Properti Sistem Isolasi pada Perpindahan Maksimum.....	21
2.5.5 Rekaman Gerak Tanah.MCER.....	22
2.6 Pemilihan Prosedur analisis	22
2.6.1 Prosedur Gaya Lateral Ekuivalen	22

2.6.2	Prosedur Spektrum Respons	23
2.6.3	Prosedur Riwayat Respons	23
2.7	Penerapan Prosedur Gaya Lateral Ekvivalen.....	23
2.7.1	Perpindahan Maksimum	23
2.7.2	Periode Efektif pada Saat Perpindahan Maksimum.....	24
2.7.3	Perpindahan Maksimum Total.....	24
2.7.4	Gaya Lateral Minimum yang Diperlukan untuk Sistem Isolasi dan Elemen-elemen Struktural di Atas Tingkat Dasar	26
2.7.5	Gaya Lateral Minimum untuk Elemen Struktural di Atas Tingkat Dasar	26
2.7.6	Batas. <i>V_s</i>	27
2.7.7	Batas Simpangan antar Tingkat	27
2.8	Penerapan Prosedur Analisis Dinamik.....	28
2.8.1	Perpindahan dan Gaya Lateral Minimum pada Sistem Isolasi dan Elemen-elemen Struktural di Bawah Sistem Isolasi	28
2.8.2	Perpindahan dan Gaya Lateral Minimum untuk Elemen-elemen Struktural di Atas Tingkat Dasar.....	29
2.8.3	Batasan Simpangan antar Tingkat	29
2.9	Desain Pendahuluan untuk Lead Rubber Bearing	29
2.10	Preliminary Design Lanjutan Lead Rubber Bearing.....	34
2.11	SNI 1729:2020	36
2.11.1	Ketentuan Desain Kekuatan Izin (DKI).....	36
2.11.2	Klasifikasi Penampang untuk Tekuk Lokal.....	36
2.11.3	Desain Komponen Struktur untuk Tekan	36
2.11.4	Desain Komponen Struktur untuk Lentur.....	37
2.11.5	Desain Komponen Struktur untuk Geser	37
2.12	SNI 7860:2015 Tentang Ketentuan Seismik Struktur Bangunan Gedung Baja	37
2.12.1	Persyaratan Komponen Struktur	37
2.12.2	Rangka Momen Khusus (RMK)	37

2.12.2 Breising Stabilitas Komponen Struktur Daktail Tinggi.....	38
2.12.3 Breising Balok Baja Daktail Sedang.....	38
2.13 Analisis Riwayat Waktu Nonlinier.....	38
2.13.1 Rekaman Percepatan Gempa.....	39
2.13.2 Penskalaan Percepatan Gempa.....	39
2.14 Sendi Plastis.....	39
2.13 Tingkat Kinerja Struktur.....	40
BAB 3.....	43
3.1 Model Gedung.....	43
3.2 Data dan Spesifikasi Gedung.....	43
3.3 Data dan Spesifikasi Material.....	43
3.3.1 Baja.....	43
3.3.2 Beton.....	44
3.4 Pembebanan.....	44
3.4.1 Beban Mati.....	44
3.4.2 Beban Mati Tambahan (SIDL).....	44
3.4.3 Beban Hidup (LL).....	45
3.4.4 Beban Gempa.....	45
3.4.5 Kombinasi Pembebanan.....	45
3.5 Properti <i>Base Isolator</i>	46
3.6 Pemodelan Lead Rubber Bearing.....	46
3.6 Analisis Riwayat Waktu Nonlinier.....	46
3.6.1 Percepatan Gempa.....	46
3.6.1 Penskalaan Percepatan Gempa.....	47
3.6.2 Pemodelan Sendi Plastis.....	48
BAB 4.....	49
HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....	49

4.1 Analisis modal dengan Respon Spektrum untuk Bangunan <i>Fixed Base</i>	49
4.1.1 Dimensi Elemen Struktur.....	49
4.1.2 Gerak Dominan Gedung	49
4.1.3 Ragam Getar dan Periode Getar Fundamental.....	49
4.1.4 Perpindahan (Displacement).....	50
4.1.5 Simpangan Antar Tingkat (Story Drift).....	51
4.1.6 Gaya Geser Dasar	52
4.2 Analisis Modal dengan Spektrum Respons untuk Struktur <i>Base Isolated</i> dengan $R = 2$	52
4.2.1 Dimensi Elemen Struktur <i>Base Isolated</i> $R = 2$	52
4.2.2 Gerak Dominan Gedung	53
4.2.3 Ragam Getar dan Periode Fundamental	53
4.2.4 Perpindahan (Displacement).....	54
4.2.5 Simpangan antar Tingkat (Story Drift).....	55
4.2.6 Gaya Geser Dasar	56
4.3 Analisis Modal dengan Respon Spektrum Struktur <i>Base Isolated</i> ($R=4$).	56
4.3.1 Dimensi Elemen Struktur.....	56
4.3.2 Gerak Dominan Gedung	57
4.3.3 Ragam Getar dan Periode Getar Fundamental.....	57
4.3.4 Perpindahan (Displacement).....	58
4.3.5 Simpangan antar Tingkat	59
4.3.6 Gaya Geser Dasar	60
4.4 Analisis Modal dengan Respon Spektrum Struktur <i>Base Isolated</i> ($R=6$).	60
4.4.1 Dimensi Elemen Struktur.....	60
4.4.2 Gerak Dominan Gedung	61
4.4.3 Ragam Getar dan Periode Getar Fundamental.....	61
4.4.4 Perpindahan.....	62

4.4.5 Simpangan antar Tingkat (Story Drift).....	62
4.4.6 Gaya Geser Dasar	63
4.5 Analisis Riwayat Waktu Nonlinier pada Struktur <i>Fixed Base</i> (R = 8).....	64
4.5.1 Gaya Geser Dasar	64
4.5.2 Perpindahan.....	64
4.5.3 Simpangan antar Tingkat (<i>Story Drift</i>).....	65
4.5.4 Sendi Plastis	66
4.5.5 Tingkat Kinerja Struktur	71
4.6 Analisis Riwayat Waktu Nonlinier pada Struktur <i>Base Isolated</i> (R = 2).....	71
4.6.1 Gaya Geser Dasar	71
4.6.2 Perpindahan.....	71
4.6.3 Simpangan antar Tingkat (<i>story drift</i>).....	72
4.6.4 Sendi Plastis	73
4.6.5 Tingkat Kinerja Struktur.....	73
4.6.6 Kurva Histeresis Lead Rubber Bearing	74
4.7 Analisis Riwayat Waktu Nonlinier untuk Struktur <i>Base Isolated</i> (R=4).....	76
4.7.1 Gaya Geser Dasar	76
4.7.2 Perpindahan.....	76
4.7.3 Simpangan antar Tingkat (<i>story drift</i>).....	77
4.7.4 Sendi Plastis	78
4.7.5 Tingkat Kinerja Struktur	78
4.7.6 Kurva Histeresis Lead Rubber Bearing	79
4.8 Analisis Riwayat Waktu Nonlinier pada Struktur <i>Base Isolated</i> (R=6).....	81
4.8.1 Gaya Geser Dasar	81
4.8.2 Perpindahan.....	81
4.8.3 Simpangan antar Tingkat (<i>story drift</i>).....	82
4.8.6 Sendi Plastis	83

4.8.5 Tingkat Kinerja Struktur	85
4.8.6 Kurva Histeresis Lead Rubber Bearing	86
4.9 Perbandingan Struktur <i>Fixed Base</i> dan <i>Base Isolated</i>	87
4.9.1 Periode Getar Fundamental.....	87
4.9.2 Gaya Geser Dasar	88
4.9.3 Perpindahan.....	90
4.9.4 Grafik Perbandingan Perpindahan Struktur <i>Fixed Base</i> dengan <i>Base Isolated</i>	92
4.9.5 Simpangan antar Tingkat	94
4.9.6 Grafik Perbandingan Simpangan antar Tingkat.....	96
4.9.7 Dimensi Elemen Struktur dan Faktor Modifikasi Respons (R)	99
4.9.8 Sendi Plastis	100
4.9.9 Pengaruh Ketidakberaturan Tingkat Lunak	101
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	102
5.1 Kesimpulan	102
5.2 Saran	103
DAFTAR PUSTAKA	104
LAMPIRAN 1 PENGECEKAN KETIDAKBERATURAN.....	105
LAMPIRAN 2 <i>PRELIMINARY DESIGN</i> ELEMEN STRUKTUR.....	107
LAMPIRAN 3 BROSUR LRB	116

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

- A_{LRB} : Luas *lead rubber bearing*
- A_p : Luas *lead*
- B_M : Koefisien terkait dengan redaman efektif sistem isolasi pada perpindahan maksimum
- C_d : Koefisien pembesaran defleksi
- C_s : Koefisien respons seismik
- C_t : Parameter untuk periode fundamental pendekatan
- C_u : Koefisien untuk batas periode yang dihitung
- D : Beban mati
- D_M : Perpindahan maksimum di titik pusat kekakuan sistem isolasi di arah yang ditinjau
- D_{TM} : Total perpindahan maksimum dari suatu elemen sistem isolasi, termasuk perpindahan translasi di pusat kekakuan dan komponen perpindahan torsional di arah yang ditinjau
- D_y : Perpindahan leleh (*yield displacement*)
- E : Pengaruh beban gempa horizontal dan vertikal
- E : Modulus elastisitas
- 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

g : Percepatan gravitasi
 G : Modulus geser karet *lead rubber bearing*
 h_{sx} : Tinggi tingkat di bawah tingkat-x
 I_e : Faktor keutamaan gempa
 IO : *Immediate Occupancy*
 K_1 : Kekakuan sebelum leleh *lead rubber bearing*
 K_2 : Kekakuan *lead rubber bearing* setelah leleh
 K_{eff} : Kekakuan efektif *lead rubber bearing*
 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_b : Panjang balok tidak terbreis
 L_r : Beban hidup atap
 LRB : *Lead rubber bearing*
 MCE_R : Gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget
 P_n : Kekuatan tekan nominal
 M_n : Kekuatan lentur nominal
 Q : Kekuatan leleh (*characteristic strength*)
 R : Koefisien modifikasi respons
 R_I : Koefisien numerik terkait sistem struktur pemikul gaya seismik yang berada di atas sistem isolasi
 r_y : Radius girasi sumbu y
 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_{MS} : Parameter percepatan respons spektral MCE pada periode pendek yang disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs
- S_1 : Parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada periode 1 detik, redaman 5%
- SCWB : *Strong column weak beam*
- SIDL : Beban mati tambahan (*superimposed dead load*)
- T : Periode fundamental bangunan
- T_a : Periode fundamental pendekatan
- T_L : Peta transisi periode panjang
- 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 : Tebal karet *lead rubber bearing*
- V : Gaya lateral dinamik
- V_b : Total gaya (geser) lateral seismik rencana elemen-elemen sistem isolasi atau lemen-elemen di bawah sistem isolasi
- V_n : Kekuatan geser nominal
- V_s : Total gaya (geser) lateral seismik rencana elemen-elemen di atas sistem isolasi
- V_{st} : Gaya (geser) desain seismik total tak tereduksi pada elemen-elemen di atas level dasar
- W : Berat seismik efektif struktur di atas pemisah isolasi
- W_s : Berat seismik efektif struktur di atas pemisah isolasi, tidak termasuk berat seismik efektif pada tingkat dasar
- W_D : Energi terdissipasi dalam satu siklus (*energy dissipated per cycle*)

- x : Parameter untuk periode fundamental pendekatan
- β_{eff} : Redaman efektif *lead rubber bearing*
- β_M : 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 antar tingkat maksimum



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Tampak 3D struktur.....	3
Gambar 1. 2 Tampak Elevasi Struktur	3
Gambar 2. 1 Ilustrasi untuk struktur konvensional	7
Gambar 2. 2 Ilustrasi untuk struktur base isolated	7
Gambar 2. 3 Lead Rubber Bearing	8
Gambar 2. 4 Respons Spektrum Desain.....	14
Gambar 2. 5 Estimasi perpindahan berdasarkan periode efektif (sumber : IBC SEAOC Structural/Seismic Design Manual Volume 5 (2012)).....	30
Gambar 2. 6 Sway Mechanism.....	40
Gambar 2. 7 Story Mechanism.....	40
Gambar 2. 8 Tingkat Kinerja Struktur Berdasarkan Deformasi dan Gaya.....	42
Gambar 3. 1 Rekam Gempa El-Centro N-S (1940)	47
Gambar 3. 2 Rekam Gempa Denpasar B-T (1979)	47
Gambar 3. 3 Rekam Gempa Bucharest N-S (1977)	47
Gambar 3. 4 Rekam Gempa Parkfield N65SE (1966)	47
Gambar 3. 5 Percepatan gempa Denpasar sebelum diskalakan	48
Gambar 3. 6 Percepatan gempa Denpasar yang telah diskalakan	48
Gambar 3. 7 Pemodelan sendi plastis.....	48
Gambar 4. 1 Simpangan antar tingkat struktur fixed base	52
Gambar 4. 2 Simpangan antar tingkat struktur base isolated (R=2).....	56
Gambar 4. 3 Simpangan antar tingkat struktur base isolated (R=4).....	60
Gambar 4. 4 Simpangan antar tingkat struktur base isolated (R=6).....	63
Gambar 4. 5 Perpindahan analisis riwayat waktu nonlinier (R=8)	65
Gambar 4. 6 Simpangan antar tingkat NLTHA (R=8)	66
Gambar 4. 7 Sendi plastis fixed base – El-Centro (detik 5,3).....	67
Gambar 4. 8 Sendi plastis fixed base – El-Centro (detik 14 terakhir).....	67
Gambar 4. 9 Sendi plastis fixed base – Denpasar (detik 19,1).....	68

Gambar 4. 10	Sendi plastis fixed base – Denpasar (detik terakhir)	68
Gambar 4. 11	Sendi plastis fixed base – Bucharest (detik 3,8).....	69
Gambar 4. 12	Sendi plastis fixed base – Bucharest (detik terakhir)	69
Gambar 4. 13	Sendi plastis fixed base – Parkfield (detik 4,3)	70
Gambar 4. 14	Sendi plastis fixed base – Parkfield (detik terakhir).....	70
Gambar 4. 15	Perpindahan NLTHA base isolated (R=2).....	72
Gambar 4. 16	Simpangan antar tingkat NLTHA base isolated (R=2)	73
Gambar 4. 17	Kurva histeresis LRB (R=2) – El-Centro	74
Gambar 4. 18	Kurva histeresis LRB (R=2) - Denpasar.....	75
Gambar 4. 19	Kurva histeresis LRB (R=2) - Bucharest.....	75
Gambar 4. 20	Kurva histeresis LRB (R=2) - Parkfield.....	76
Gambar 4. 21	Perpindahan NLTHA base isolated (R=4).....	77
Gambar 4. 22	Simpangan antar tingkat NLTHA base isolated (R=4)	78
Gambar 4. 23	Kurva histeresis LRB (R=4) – El-Centro	79
Gambar 4. 24	Kurva histeresis LRB (R=4) - Denpasar.....	80
Gambar 4. 25	Kurva histeresis LRB (R=4) - Bucharest.....	80
Gambar 4. 26	Kurva histeresis LRB (R=4) - Parkfield.....	81
Gambar 4. 27	Perpindahan NLTHA base isolated (R=6).....	82
Gambar 4. 28	Simpangan antar tingkat NLTHA base isolated (R=6)	83
Gambar 4. 29	Sendi plastis base isolated (R=6) – Parkfield (detik 4,7)	84
Gambar 4. 30	Sendi plastis base isolated (R=6) – Parkfield (detik terakhir).....	85
Gambar 4. 31	Kurva histeresis LRB (R=6) – El-Centro	86
Gambar 4. 32	Kurva histeresis LRB (R=6) - Denpasar.....	86
Gambar 4. 33	Kurva histeresis LRB (R=6) - Bucharest.....	87
Gambar 4. 34	Kurva histeresis LRB (R=6) – Parkfield	87
Gambar 4. 35	Grafik perbandingan perpindahan struktur fixed base dan isolated pada gempa El-Centro.....	92
Gambar 4. 36	Grafik perbandingan perpindahan struktur fixed base dan isolated pada gempa Denpasar	93
Gambar 4. 37	Grafik perbandingan perpindahan struktur fixed base dan isolated pada gempa Bucharest.....	93
Gambar 4. 38	Grafik perbandingan perpindahan struktur fixed base dan isolated pada gempa Parkfield.....	94

Gambar 4. 39 Grafik perbandingan simpangan antar tingkat struktur fixed base dan base isolated – El Centro.....97

Gambar 4. 40 Grafik perbandingan simpangan antar tingkat struktur fixed base dan base isolated – Denpasar.....97

Gambar 4. 41 Grafik perbandingan simpangan antar tingkat struktur fixed base dan base isolated – Bucharest.....98

Gambar 4. 42 Grafik perbandingan simpangan antar tingkat struktur fixed base dan base isolated – Parkfield98



DAFTAR TABEL

Tabel 2 1 Faktor Keutamaan Gempa Berdasarkan Kategori Risiko.....	9
Tabel 2 2 Klasifikasi Situs	12
Tabel 2 3 Koefisien Situs (F_a)	13
Tabel 2 4 Koefisien Situs (F_v)	13
Tabel 2 5 Kategori Risiko Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek	15
Tabel 2 6 Kategori Risiko Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek	15
Tabel 2 7 Faktor R , C_d dan Ω_0 sistem pemikul gaya seismik	16
Tabel 2 8 Persyaratan untuk masing-masing tingkat yang menahan lebih dari 35% gaya geser dasar	16
Tabel 2 9 Koefisien C_t dan x	18
Tabel 2 10 Koefisien C_u	19
Tabel 2 11 Faktor Redaman, B_M , berdasarkan Redaman Efektif β_M	24
Tabel 2 12 Penentuan Performance Level	41
Tabel 3 1 Beban mati tambahan (SIDL)	44
Tabel 3 2 Beban Hidup (LL)	45
Tabel 3 3 Lead Rubber Bearing Properties	46
Tabel 4 1 Dimensi Elemen Fixed Base $R = 8$	49
Tabel 4 2 Gerak dominan gedung fixed base ($R=8$)	49
Tabel 4 3 Periode Fundamental Fixed Base ($R=8$)	50
Tabel 4 4 Perpindahan pada struktur fixed base ($R=8$)	51
Tabel 4 5 Simpangan antar tingkat fixed base ($R=8$)	51
Tabel 4 6 Gaya geser dasar fixed base ($R=8$)	52
Tabel 4 7 Dimensi Elemen Struktur Base Isolated ($R=2$)	53
Tabel 4 8 Gerak Dominan Gedung Base Isolated ($R=2$)	53
Tabel 4 9 Periode Fundamental Base Isolated ($R=2$)	54
Tabel 4 10 Perpindahan pada Base Isolated ($R=2$)	55

Tabel 4 11	Simpangan antar tingkat base isolated (R=2).....	55
Tabel 4 12	Gaya Geser Dasar base isolated (R=2).....	56
Tabel 4 13	Dimensi elemen struktur base isolated (R=4)	57
Tabel 4 14	Gerak Dominan Gedung Base Isolated (R=4)	57
Tabel 4 15	Periode fundamental base isolated (R=4)	58
Tabel 4 16	Perpindahan pada struktur base isolated (R=4).....	59
Tabel 4 17	Simpangan antar tingkat base isolated (R = 4).....	59
Tabel 4 18	Gaya Geser Dasar Base Isolated (R=4).....	60
Tabel 4 19	Dimensi elemen struktur base isolated (R=6).....	60
Tabel 4 20	Gerak dominan gedung base isolated (R=6)	61
Tabel 4 21	Periode fundamental base isolated (R=6)	61
Tabel 4 22	Perpindahan pada struktur base isolated (R=6).....	62
Tabel 4 23	Simpangan antar tingkat base isolated (R=6).....	63
Tabel 4 24	Gaya geser dasar base isolated (R=6)	63
Tabel 4 25	Base shear fixed base (R=8).....	64
Tabel 4 26	Perpindahan pada struktur fixed base (R=8).....	64
Tabel 4 27	Simpangan antar tingkat fixed base (R=8).....	65
Tabel 4 28	Waktu sendi plastis (R=8).....	66
Tabel 4 29	Tingkat Kinerja Struktur Fixed Base (R=8).....	71
Tabel 4 30	Gaya Geser Dasar Base Isolated (R=2).....	71
Tabel 4 31	Perpindahan pada Struktur Base Isolated (R=2)	72
Tabel 4 32	Simpangan antar Tingkat Base Isolated (R=2)	73
Tabel 4 33	Tingkat Kinerja Struktur Base Isolated (R=2)	74
Tabel 4 34	Gaya Geser Dasar Base Isolated (R=4).....	76
Tabel 4 35	Perpindahan pada Struktur Base Isolated (R=4)	77
Tabel 4 36	Simpangan antar Tingkat Base Isolated (R=4)	77
Tabel 4 37	Tingkat Kinerja Struktur Base Isolated (R=4)	78
Tabel 4 38	Gaya Geser Dasar Base Isolated (R=6).....	81
Tabel 4 39	Perpindahan pada Struktur Base Isolated (R=6)	82
Tabel 4 40	Simpangan antar Tingkat Base Isolated (R=6)	83
Tabel 4 41	Waktu Pertama Terjadi Sendi Plastis Base Isolated (R=6).....	83
Tabel 4 42	Tingkat Kinerja Struktur Base Isolated (R=6)	85
Tabel 4 43	Perbandingan periode fundamental.....	88
Tabel 4 44	Perbandingan Gaya Geser Dasar (Respon Spektrum)	88

Tabel 4 45 Perbandingan Gaya Geser Dasar (Analisis Riwayat Waktu Nonlinier).....	89
Tabel 4 46 Perbandingan Faktor Kuat Lebih, Ω_0	89
Tabel 4 47 Perbandingan Perpindahan – Arah X (Respon Spektrum).....	90
Tabel 4 48 Perbandingan Perpindahan – Arah Y (Respon Spektrum).....	90
Tabel 4 49 Perbandingan Perpindahan – El Centro	91
Tabel 4 50 Perbandingan Perpindahan - Denpasar	91
Tabel 4 51 Perbandingan Perpindahan - Bucharest	91
Tabel 4 52 Perbandingan Perpindahan - Parkfield.....	92
Tabel 4 53 Perbandingan Simpangan antar Tingkat – Arah X (Respon Spektrum).....	94
Tabel 4 54 Perbandingan Simpangan antar Tingkat – Arah Y (Respon Spektrum)	95
Tabel 4 55 Perbandingan Simpangan antar Tingkat – El Centro.....	95
Tabel 4 56 Perbandingan Simpangan antar Tingkat - Denpasar.....	95
Tabel 4 57 Perbandingan Simpangan antar Tingkat - Bucharest.....	96
Tabel 4 58 Perbandingan Simpangan antar Tingkat - Parkfield	96
Tabel 4 59 Dimensi Elemen Struktur Fixed Base (R=8)	99
Tabel 4 60 Dimensi Elemen Struktur Base Isolated (R=6).....	99
Tabel 4 61 Dimensi Elemen Struktur Base Isolated (R=4).....	99
Tabel 4 62 Dimensi Elemen Struktur Base Isolated (R=2).....	100
Tabel 4 63 Perbandingan waktu ketika terjadinya sendi plastis.....	100

DAFTAR LAMPIRAN

<u>LAMPIRAN 1 PENGECEKAN KETIDAKBERATURAN</u>	105
<u>LAMPIRAN 2 <i>PRELIMINARY DESIGN</i> ELEMEN STRUKTUR</u>	107
<u>LAMPIRAN 3 BROSUR LRB</u>	116



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring berjalannya waktu, peningkatan jumlah penduduk pada suatu daerah semakin bertambah. Hal ini menyebabkan pembangunan infrastruktur bertambah, sehingga lahan kosong menjadi terus berkurang akibat adanya pembangunan tersebut. Pembangunan gedung secara vertikal atau bertingkat merupakan salah satu solusi untuk mengurangi kebutuhan lahan. Pembangunan gedung bertingkat sudah umum di Indonesia.

Perbedaan fungsi setiap lantai pada gedung bertingkat dapat mengakibatkan adanya ketidakberaturan struktur sehingga perilaku struktur ketika diberi beban gempa akan berbeda dibandingkan dengan struktur tanpa ketidakberaturan. Contohnya adalah pada lantai lobby bangunan bertingkat terkadang memiliki tinggi antar lantai yang lebih tinggi daripada lantai lainnya. Pada Standar Nasional Indonesia 1726:2019 mengenai Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung terdapat 2 bentuk ketidakberaturan yaitu ketidakberaturan horizontal dan vertikal. Di skripsi ini, ketidakberaturan yang akan dibahas adalah ketidakberaturan vertikal tipe kekakuan tingkat lunak atau *soft story*. Berdasarkan SNI 1726:2019, ketidakberaturan tingkat lunak adalah ketidakberaturan yang terjadi ketika ada suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 70% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80% dari kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya. Gedung yang memiliki ketidakberaturan akan lebih rentan terhadap beban gempa, terutama negara Indonesia secara geografis terletak di *ring of fire*, dimana gempa bumisering terjadi. Gempa bumi tidak bisa diperkirakan waktu terjadinya dengan tepat. Untuk meminimalisir kegagalan struktur bangunan oleh gempa, penggunaan metode khusus dapat dilakukan dalam desain gedung untuk mereduksi gaya gempa.

Perkembangan teknologi menghasilkan beberapa solusi untuk gedung menghadapi gempa. Salah satunya adalah *base isolator* yang berfungsi untuk memperbesar waktu getar alami struktur sehingga memperkecil beban gempa pada struktur. Pada skripsi ini tipe *base isolation* yang digunakan adalah *lead rubber bearing*. Lead rubber bearing terdiri dari komponen inti timah yang terletak di tengah yang dibungkus oleh karet yang tebal. Inti timah berfungsi untuk memberikan rigiditas ketika diberi beban servis dan pembuangan energi pada kondisi beban lateral yang tinggi. Pelat baja yang terletak diatas dan dibawahnya, lebih tebal dari shim

internal, digunakan untuk mengakomodasi perangkat keras pemasangan. *Lead rubber bearing* ini dipilih karena salah satu *base isolator* yang cocok untuk diaplikasikan pada struktur yang memerlukan redaman tingkat tinggi dan struktur yang memerlukan rigiditas yang baik pada beban servis.

1.2 Inti Permasalahan

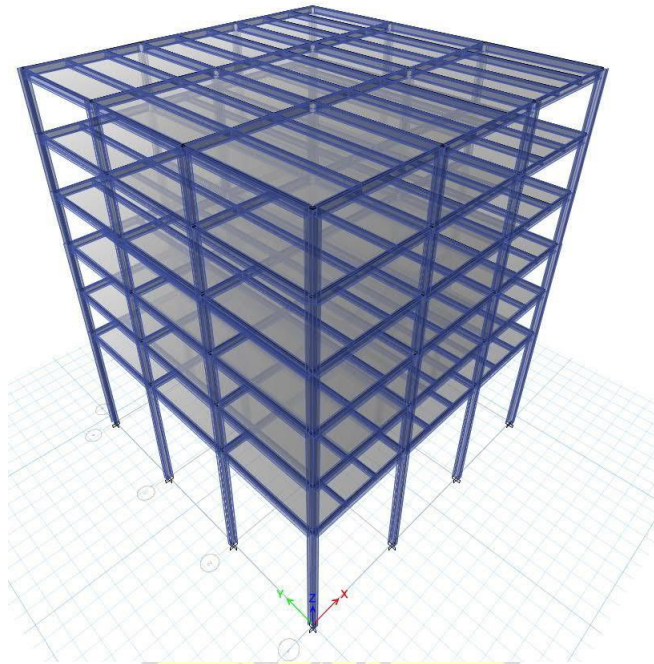
Bangunan yang memiliki ketidakberaturan akan memiliki perilaku dinamik yang berbeda dengan bangunan tanpa ketidakberaturan pada saat diberi beban gempa. Pada skripsi ini, akan dipelajari lebih lanjut perilaku dinamik gedung struktur baja *soft story* dengan *base isolator* tipe LRB terhadap beban gempa.

1.3 Tujuan Penelitian

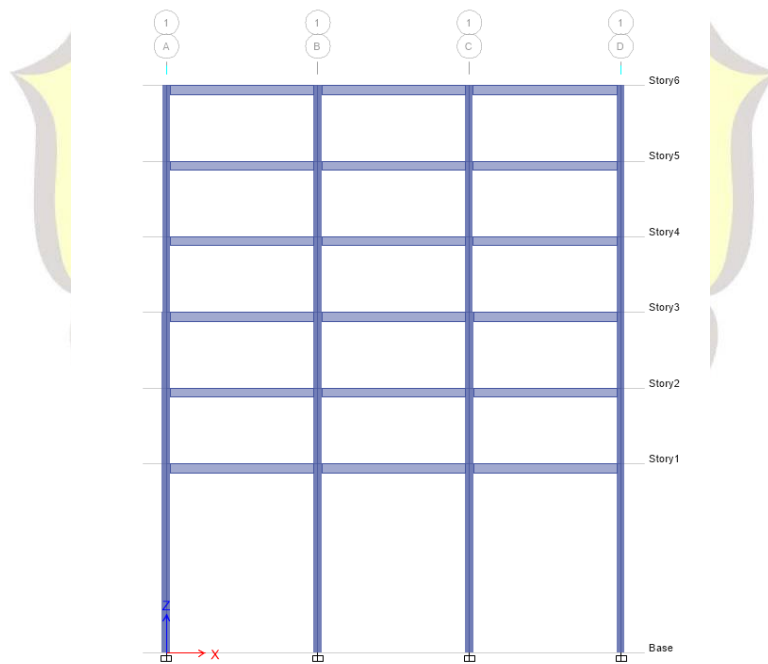
Tujuan dari skripsi ini adalah untuk membandingkan perilaku struktur fixed base dengan LRB *base isolated* dengan nilai R faktor 2, 4 dan 6. Perilaku yang dianalisis adalah story drift, penyebaran sendi plastis, nilai R faktor, nilai Ω_0 dan pengaruh soft story pada struktur dengan *base isolation*

1.4 Pembatasan Masalah

1. Struktur dimodelkan dan dianalisis menggunakan *software* ETABS
2. Fungsi bangunan adalah apartemen yang terletak di Bandung dengan lapisan tanah *site class* D
3. Ketidakberaturan struktur yang terjadi adalah ketidakberaturan vertikal tipe 1b yaitu ketidakberaturan tingkat lunak berlebihan .
4. Lantai 1 memiliki tinggi antar lantai 10 meter dan lantai 2 hingga 6 memiliki tinggi tipikal 4 meter
5. Bentang balok dalam arah x dan y adalah 8 meter
6. Gedung struktur baja dengan rangka pemikul momen, fixed base dengan $R = 8$
7. Gedung struktur baja dengan base isolation dengan variasi $R : 2, 4$ dan 6.
8. Baja yang digunakan adalah baja dengan $F_u = 370 MPa$ dan $F_y = 240 MPa$



Gambar 1. 1 Tampak 3D struktur



Gambar 1. 2 Tampak Elevasi Struktur

9. Rekam gempa yang akan digunakan dalam analisis adalah sebagai berikut:
- El-Centro N-S 1940
 - Denpasar B-T 1979
 - Bucharest
 - Parkfield

1.5 Metode Penelitian

Metode penulisan yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Studi Pustaka

Studi literatur merupakan pengumpulan informasi dan data berdasarkan jurnal, penelitian terdahulu, buku teks, standar nasional maupun materi dari bahan perkuliahan

2. Studi Analisis

Struktur gedung pada skripsi ini dimodelkan dan dianalisis dengan menggunakan *software* ETABS 18

1.6 Sistematika Penulisan

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini terdiri dari beberapa subbab, antara lain: inti permasalahan, tujuan penulisan, pembatasan masalah, metode penelitian, sistematika penulisan dan diagram alir

BAB 2 STUDI PUSTAKA

Bab ini menguraikan hasil-hasil dari studi literatur seperti teori dan informasi yang diperoleh dari jurnal ilmiah atau skripsi pembanding serta peraturan yang digunakan dalam penelitian pada skripsi ini.

BAB 3 DESAIN DAN PEMODELAN STRUKTUR

Bab ini berisi tentang desain dan pemodelan awal struktur gedung sesuai dengan batasan yang telah ditentukan pada subbab pembatasan masalah di BAB 1. Pemodelan struktur ini dilakukan dengan menggunakan *software* ETABS

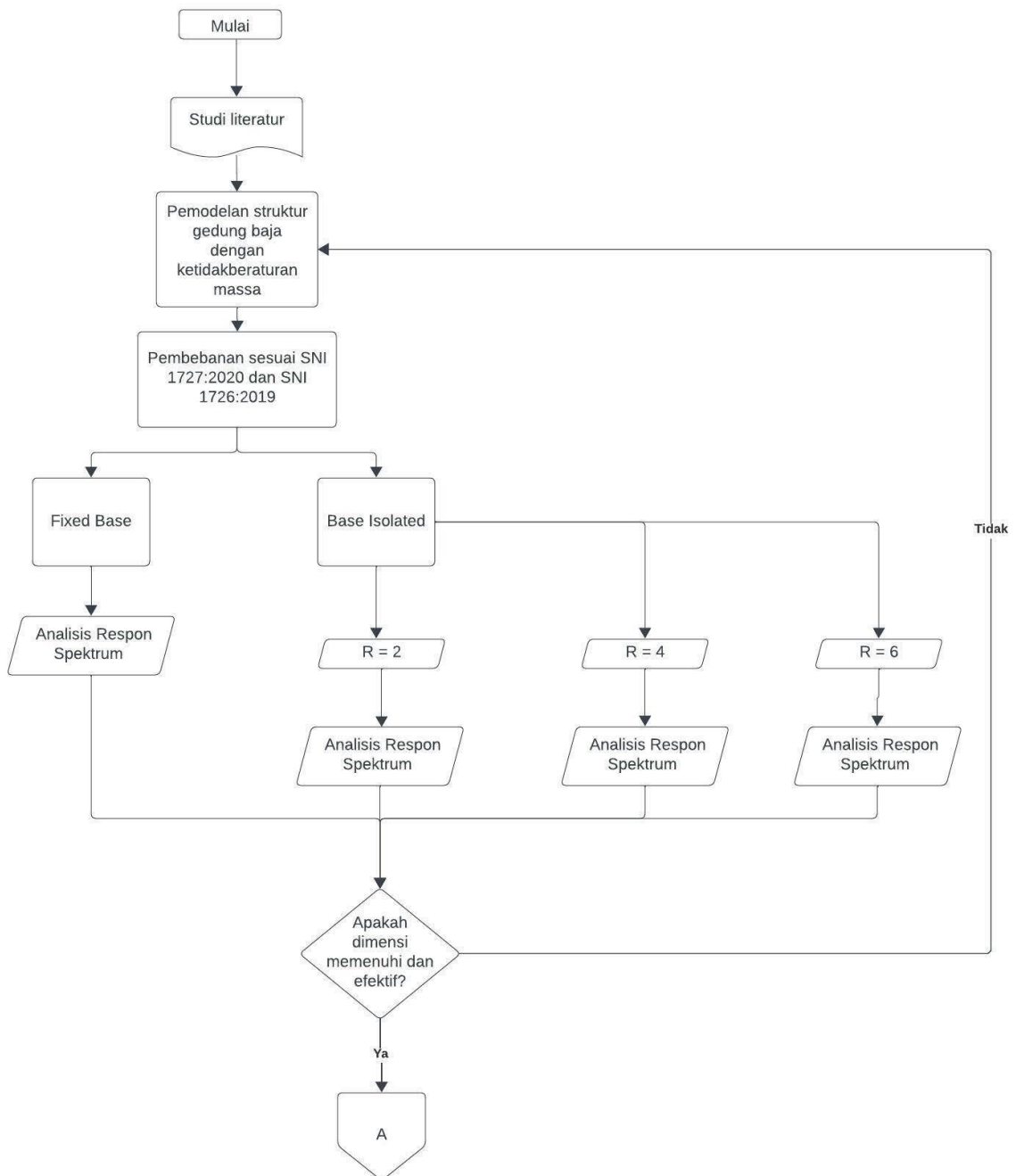
BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN

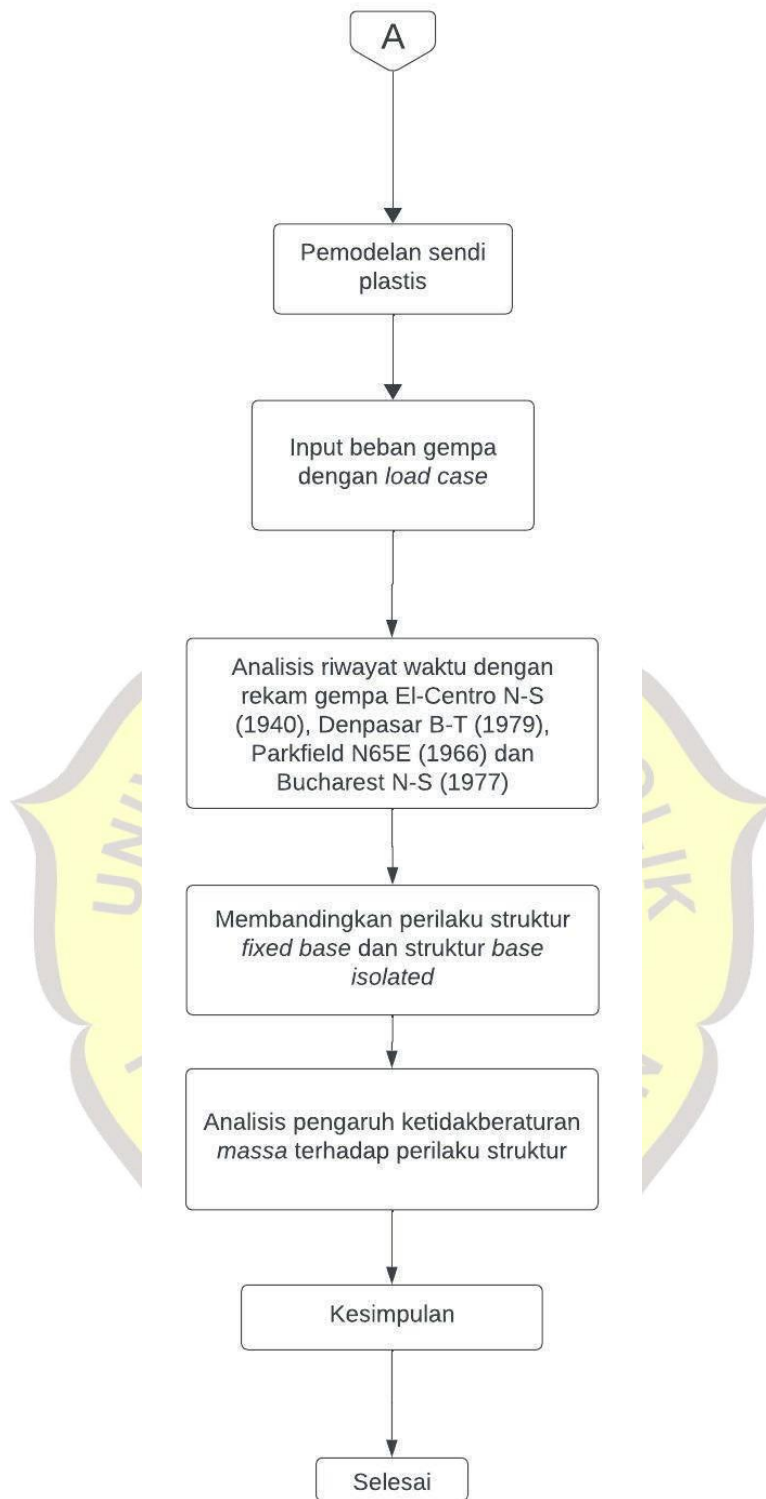
Bab ini menguraikan beberapa hasil dari studi analisis berupa perilaku struktur gedung struktur baja *soft story* dengan *base isolation* tipe *lead rubber bearing*.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan dari penelitian yang telah dilakukan.

1.7 Diagram Alir





Gambar 1. 3 Diagram alir