

SKRIPSI

**STUDI PENGARUH PENGGUNAAN *BASE ISOLATOR*
TIPE *LEAD RUBBER BEARING* PADA STRUKTUR
GEDUNG BETON BERTULANG DENGAN
KETIDAKBERATURAN MASSA**



JASON RAPHAEL BENJAMIN

NPM : 6101801113

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

BANDUNG

JANUARI 2022

SKRIPSI
STUDI PENGARUH PENGGUNAAN *BASE ISOLATOR*
TIPE *LEAD RUBBER BEARING* PADA STRUKTUR
GEDUNG BETON BERTULANG DENGAN
KETIDAKBERATURAN MASSA



NAMA: JASON RAPHAEL BENJAMIN
NPM: 6101801113

PEMBIMBING: Dr. Johannes Adhijoso Tjondro

KO-PEMBIMBING: Liyanto Eddy, Ph.D.

PENGUJI 1: Helmy Hermawan Tjahjanto,
S.T., M.T., Ph.D.

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

UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT No. 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 : Jason Raphael Benjamin

NPM : 6101801113

Program Studi : Teknik Sipil

Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan

Menyatakan bahwa skripsi dengan judul:

STUDI PENGARUH PENGGUNAAN *BASE ISOLATOR* TIPE *LEAD RUBBER BEARING* PADA STRUKTUR GEDUNG BETON BERTULANG DENGAN KETIDAKBERATURAN MASSA 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: 11 Januari 2022



JASON RAPHAEL BENJAMIN

6101801113

STUDI PENGARUH PENGGUNAAN *BASE ISOLATOR* TIPE *LEAD RUBBER BEARING* PADA STRUKTUR GEDUNG BETON BERTULANG DENGAN KETIDAKBERATURAN MASSA

Jason Raphael Benjamin

NPM: 6101801113

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

BANDUNG

JANUARI 2022

ABSTRAK

Gedung merupakan salah satu bangunan yang memiliki banyak kegunaan dalam kehidupan sehari-hari. Agar dapat berfungsi dengan maksimal, gedung banyak dibangun dengan mengalami ketidakberaturan massa karena perbedaan fungsi lantai. Gedung dengan ketidakberaturan massa memiliki perilaku dinamik yang berbeda dengan bangunan dengan massa yang beraturan, sehingga gaya gempa yang terjadi perlu direduksi. Pada skripsi ini, akan digunakan sistem *base isolation* tipe *lead rubber bearing*. *Base isolation* adalah sistem yang memisahkan struktur bangunan (*superstructure*) dengan pondasinya (*substructure*) dengan menggunakan *base isolator*. Akan dilakukan analisis spektrum respons untuk menentukan jumlah tulangan serta analisis riwayat waktu nonlinier untuk mengetahui perilaku dinamik struktur. Berdasarkan hasil analisis riwayat waktu nonlinier, diketahui bahwa periode getar struktur *base isolated* meningkat hingga sebesar 171%. Analisis riwayat waktu nonlinier untuk gedung *base isolated* dilakukan dengan nilai koefisien modifikasi respons (R) = 5 dan 8. Pada gedung dengan $R = 8$, terjadi sendi plastis di lantai yang berdekatan dengan lantai dengan massa berlebih saat dibebani gempa Parkfield, sehingga analisis dilanjutkan dengan nilai R yang lebih kecil, yaitu $R = 5$. Pada gedung dengan $R = 5$, tidak terjadi sendi plastis, dan tingkat kinerja struktur adalah *immediate occupancy*. Peralihan dari *base isolator* berkisar antara -100 mm hingga 130 mm. Nilai tersebut memenuhi persyaratan yang ditetapkan pada SNI 1726-2019.

Kata kunci: *Base isolation*, Ketidakberaturan massa, Analisis spektrum respons, Analisis riwayat waktu nonlinier, Koefisien modifikasi respons (R), Sendi plastis

STUDY ON THE APPLICATION OF LEAD RUBBER BEARING BASE ISOLATOR ON THE REINFORCED CONCRETE BUILDING WITH MASS IRREGULARITY

Jason Raphael Benjamin
NPM: 6101801113

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 Number 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X/2021)
BANDUNG
JANUARY 2022

ABSTRACT

Building is a structure that has many benefits in everyday life. In order to make buildings function well, many of them are built with mass irregularity due to different functions on particular stories. Buildings with mass irregularity have different dynamic behaviors compared to buildings with regular mass so that lateral forces applied to the buildings should be reduced. In this study, base isolation system (lead rubber bearing) will be used. Base isolation is a system that separates superstructure and substructure with base isolator. Response spectrum analysis will be performed to predict the number of reinforcement, and nonlinear time history analysis will be performed to obtain dynamic behaviors of the structure. According to the results of nonlinear time history analysis, it can be concluded that the period of base isolated structure increases by 171% compared to buildings with fixed base. Nonlinear time history analysis is performed with response modification factor (R) = 5 and 8. In the building with $R = 8$, yielding in plastic hinges occurs at story levels near to the story level that has mass irregularity, so analysis will be continued with smaller value of R , which is $R = 5$. In the building with $R = 5$, yielding does not occur, and performance of the structure is immediate occupancy. The displacement of the base isolator ranges from -100 mm to 130 mm, which meets the requirement in SNI 1726-2019.

Keywords: Base isolation, Mass irregularity, Response spectrum analysis, Nonlinear time history analysis, Response modification factor (R), Plastic hinge

PRAKATA

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yesus Kristus karena atas bimbingan, rahmat, dan izin-Nya, saya bisa menyelesaikan skripsi dengan judul *Studi Pengaruh Penggunaan Base Isolator Tipe Lead Rubber Bearing pada Struktur Gedung Beton Bertulang dengan Ketidakberaturan Massa* dengan tepat waktu. Skripsi ini dibuat sebagai pemenuhan persyaratan untuk memperoleh gelar sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan.


Selama penyusunan skripsi, banyak masalah yang dialami oleh penulis, baik dalam proses penulisan, analisis, maupun pengujian. Penulis bersyukur dikelilingi orang-orang yang terus memberikan dukungan, motivasi, dan semangat, sehingga penulis dapat mengatasi masalah-masalah yang ada dan dapat menyelesaikan skripsi ini hingga akhir. Sebagai bentuk rasa syukur, penulis ingin berterimakasih sebesar-besarnya kepada:

1. Tuhan Yesus Kristus yang tanpa henti memberikan berkat dan penyertaan-Nya selama penulisan skripsi ini;
2. Mama, Papa, Opung, dan kedua adik penulis yang tanpa henti memberikan dukungan, semangat, serta masukan-masukan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan baik;
3. Bapak Dr. Johannes Adhijoso Tjondro selaku dosen pembimbing yang dengan sabar memberikan bimbingan serta bantuan ketika penulis mengalami masalah dalam penyusunan skripsi;
4. Bapak Liyanto Eddy, Ph.D. selaku dosen ko-pembimbing yang selalu meluangkan waktu dan tenaga untuk mengadakan bimbingan ketika penulis sedang mengalami kebuntuan;
5. Bapak Ibu Dosen dari Komunitas Bidang Ilmu Teknik Struktur yang telah memberikan saran dan masukan yang membangun, sehingga isi dari skripsi ini menjadi lebih baik.
6. Kevin Mulyadi, Gerald Nicklaus, Karl Adrian, Nicolas Andreti, Marcel Amadeus, Michael Clement, dan Marcell Jonathan, selaku teman-teman yang senantiasa menghibur penulis untuk melepas penat selama penyusunan skripsi ini.

7. Bang Yitzhak Evan Andana selaku kakak tingkat yang sudah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan yang disampaikan oleh penulis;
8. Anindya Sulaksana, Bondan Dhifan, dan Kimi Daniel, selaku teman seperbimbingan yang sama-sama mengambil topik analisis, yang telah meluangkan waktu untuk berdiskusi bersama mengenai topik masing-masing.
9. Michael Christian, Alreza Arfahan, Patricia Aurelia, dan Juan Khaleb, selaku teman seperbimbingan yang senantiasa memberikan dukungan dan motivasi sehingga dapat menyelesaikan skripsi bersama-sama.
10. Laurensius Ivan, Elbert Adelwin, Taufan Rahman, Stevanus James, Ari Adrianto, dan Haris Santoso, selaku teman seperjuangan skripsi yang telah bersedia untuk bertukar pikiran dan berdiskusi mengenai topik masing-masing.
11. Pramudya Adi dan Octavianus William selaku teman KP yang tetap memberikan dukungan dan doa selama penyusunan skripsi.
12. Teman-teman Angkatan 2018 yang terus memberikan doa dan dukungan kepada pejuang-pejuang skripsi.
13. Seluruh pihak yang telah membantu penulis dalam penyusunan skripsi, baik secara langsung maupun tidak langsung, yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

Penulis sadar bahwa laporan ini tidak sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat terbuka terhadap kritik dan saran yang ingin disampaikan oleh pembaca, agar penulis dapat bertumbuh menjadi lebih baik ke depannya. Akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada pembaca dan penulis juga memohon maaf apabila ada kesalahan kata. Penulis harap laporan ini bisa bermanfaat kepada semua orang yang membacanya.

Bandung, 18 Januari 2022



Jason Raphael Benjamin

6101801113

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT.....	iii
PRAKATA.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR TABEL	xx
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	1-3
1.5. Metode Penelitian.....	1-6
1.6. Sistematika Penulisan.....	1-7
1.7. Diagram Alir	1-8
BAB 2 STUDI PUSTAKA	2-1
2.1. Konsep Desain Konvensional	2-1
2.2. <i>Base Isolation</i>	2-1
2.3. Jenis-jenis <i>Base Isolator</i>	2-2
2.3.1. <i>Natural Rubber Bearing</i> , NRB	2-2
2.3.2. <i>Lead Rubber Bearing</i> , LRB	2-2
2.3.3. <i>High Damping Rubber Bearing</i> , HDRB	2-3
2.3.4. <i>Friction Pendulum System</i> , FPS	2-3
2.4. SNI 1726:2019	2-4

2.4.1.	Gempa Rencana	2-4
2.4.2.	Faktor Keutamaan Gempa dan Kategori Risiko Struktur Bangunan2-4	
2.4.3.	Kombinasi Pembebanan Dasar	2-5
2.4.4.	Kombinasi Pembebanan dengan Pengaruh Beban Seismik.....	2-5
2.4.5.	Klasifikasi Situs	2-7
2.4.6.	Parameter Percepatan Terpetakan.....	2-8
2.4.7.	Koefisien-Koefisien Situs dan Parameter-Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget (MCE_R).....	2-9
2.4.8.	Parameter Percepatan Spektral Desain	2-10
2.4.9.	Spektrum Respons Desain	2-10
2.4.10.	Kategori Desain Seismik.....	2-11
2.4.11.	Sistem Struktur.....	2-12
2.4.12.	Faktor Redundansi.....	2-13
2.4.13.	Penentuan Periode.....	2-15
2.4.14.	Penskalaan Gaya	2-17
2.5.	Persyaratan untuk Struktur dengan Isolasi Dasar.....	2-17
2.5.1.	Faktor Keutamaan Gempa	2-17
2.5.2.	Faktor Redundansi	2-17
2.5.3.	Stabilitas Beban Vertikal	2-18
2.5.4.	Pengaruh Beban Seismik dan Kombinasi Beban Vertikal Unit Isolasi	2-18
2.5.5.	Properti Sistem Isolasi pada Perpindahan Maksimum.....	2-18
2.5.6.	Rekaman Gerak Tanah MCE_R	2-19
2.6.	Pemilihan Prosedur Analisis	2-19
2.6.1.	Prosedur Gaya Lateral Ekuivalen	2-19

2.6.2.	Prosedur Spektrum Respons	2-20
2.6.3.	Prosedur Riwayat Respons	2-20
2.7.	Kriteria Prosedur Gaya Lateral Ekuivalen	2-21
2.7.1.	Perpindahan Maksimum	2-21
2.7.2.	Periode Efektif pada Saat Perpindahan Maksimum.....	2-22
2.7.3.	Perpindahan Maksimum Total	2-22
2.7.4.	Gaya Lateral Minimum untuk Sistem Isolasi dan Elemen-Elemen Struktural di Bawah Tingkat Dasar.....	2-24
2.7.5.	Gaya Lateral Minimum untuk Elemen-Elemen Struktural di Atas Tingkat Dasar.....	2-24
2.7.6.	Batas V_s	2-25
2.7.7.	Batas Simpangan Antar Tingkat	2-26
2.8.	Kriteria Prosedur Analisis Dinamik	2-27
2.8.1.	Perpindahan dan Gaya Lateral Minimum untuk Sistem Isolasi dan Elemen-Elemen Struktural di Bawah Sistem Isolasi	2-27
2.8.2.	Perpindahan dan Gaya Lateral Minimum untuk Elemen-Elemen Struktural di Atas Tingkat Dasar	2-28
2.8.3.	Batasan Simpangan Antar Tingkat	2-29
2.9.	<i>Preliminary</i> Dimensi <i>Lead Rubber Bearing</i>	2-29
2.10.	<i>Preliminary Design</i> Lanjutan <i>Lead Rubber Bearing</i>	2-38
2.11.	Ketidakteraturan.....	2-42
2.11.1.	Ketidakteraturan Horizontal	2-42
2.11.2.	Ketidakteraturan Vertikal	2-42
2.11.3.	Ketidakteraturan Massa	2-43
2.12.	Analisis Riwayat Waktu Nonlinier	2-43
2.12.1.	Rekaman Percepatan Gempa.....	2-44
2.12.2.	Penskalaan Percepatan Gempa.....	2-46

2.13.	Sendi Plastis.....	2-46
2.14.	Tingkat Kinerja Struktur.....	2-48
BAB 3 DESAIN DAN PEMODELAN STRUKTUR		3-1
3.1.	Model Gedung.....	3-1
3.2.	Spesifikasi Gedung.....	3-1
3.3.	Spesifikasi Material.....	3-2
3.3.1.	Beton	3-2
3.3.2.	Baja tulangan	3-2
3.4.	Pembebanan	3-2
3.4.1.	Beban Mati (<i>Dead Load / Self Weight</i>), DL	3-2
3.4.2.	Beban Mati Tambahan, SIDL.....	3-3
3.4.3.	Beban Hidup, LL	3-3
3.4.4.	Beban Gempa.....	3-4
3.4.5.	Kombinasi Pembebanan.....	3-5
3.5.	Dimensi Elemen Struktur	3-5
3.5.1.	Dimensi Elemen Struktur <i>Fixed Base</i> dan <i>Base Isolated</i> ($R = 8$)..	3-5
3.5.2.	Dimensi Elemen Struktur <i>Base Isolated</i> ($R = 5$)	3-6
3.6.	Properti dan Pemodelan <i>Lead Rubber Bearing</i>	3-6
3.7.	Analisis Riwayat Waktu Nonlinier	3-7
3.7.1.	Penskalaan Percepatan Gempa.....	3-7
3.7.2.	Pemodelan Sendi Plastis	3-8
BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN		4-1
4.1.	Analisis Modal dengan Spektrum Respons untuk Bangunan <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.	Perpindahan (<i>Story Displacement</i>).....	4-3
4.1.5.	Simpangan Antar Tingkat (<i>Story Drift</i>).....	4-4
4.1.6.	Gaya Geser Dasar.....	4-5
4.2.	Analisis Modal dengan Spektrum Respons untuk Bangunan <i>Base Isolated</i> dengan $R = 2$	4-6
4.2.1.	Kebutuhan Tulangan	4-7
4.3.	Analisis Modal dengan Spektrum Respons untuk Bangunan <i>Base Isolated</i> dengan $R = 8$	4-8
4.3.1.	Dimensi Elemen Struktur dan Kebutuhan Tulangan	4-8
4.3.2.	Gerak Dominan Gedung	4-9
4.3.3.	Ragam Getar dan Periode Getar Fundamental.....	4-9
4.3.4.	Perpindahan (<i>Story Displacement</i>).....	4-10
4.3.5.	Simpangan Antar Tingkat (<i>Story Drift</i>)	4-11
4.3.6.	Gaya Geser Dasar.....	4-13
4.4.	Analisis Modal dengan Spektrum Respons untuk Bangunan <i>Base Isolated</i> dengan $R = 5$	4-13
4.4.1.	Dimensi Elemen Struktur dan Kebutuhan Tulangan	4-13
4.4.2.	Gerak Dominan Gedung	4-14
4.4.3.	Ragam Getar dan Periode Getar Fundamental.....	4-15
4.4.4.	Perpindahan (<i>Story Displacement</i>).....	4-16
4.4.5.	Simpangan Antar Tingkat (<i>Story Drift</i>)	4-17
4.4.6.	Gaya Geser Dasar.....	4-18
4.5.	Analisis Riwayat Waktu Nonlinier untuk Bangunan <i>Fixed Base</i>	4-19
4.5.1.	Gaya Geser Dasar.....	4-19
4.5.2.	Perpindahan (<i>Story Displacement</i>).....	4-19
4.5.3.	Simpangan Antar Tingkat (<i>Story Drift</i>)	4-20

4.5.4.	Sendi Plastis	4-23
4.5.5.	Tingkat Kinerja Struktur	4-32
4.6.	Analisis Riwayat Waktu Nonlinier untuk Bangunan <i>Base Isolated</i> dengan $R = 8$	4-32
4.6.1.	Gaya Geser Dasar dan Faktor Kuat Lebih	4-32
4.6.2.	Perpindahan (<i>Story Displacement</i>).....	4-33
4.6.3.	Simpangan Antar Tingkat (<i>Story Drift</i>)	4-34
4.6.4.	Sendi Plastis	4-36
4.6.5.	Tingkat Kinerja Struktur	4-39
4.6.6.	Kurva Histeresis <i>Lead Rubber Bearing</i>	4-40
4.7.	Analisis Riwayat Waktu Nonlinier untuk Bangunan <i>Base Isolated</i> dengan $R = 5$	4-42
4.7.1.	Gaya Geser Dasar dan Faktor Kuat Lebih	4-42
4.7.2.	Perpindahan (<i>Story Displacement</i>).....	4-43
4.7.3.	Simpangan Antar Tingkat (<i>Story Drift</i>).....	4-44
4.7.4.	Sendi Plastis	4-46
4.7.5.	Tingkat Kinerja Struktur	4-46
4.7.6.	Kurva Histeresis <i>Lead Rubber Bearing</i>	4-47
4.8.	Perbandingan Gedung <i>Fixed Base</i> dan <i>Base Isolated</i>	4-49
4.8.1.	Periode Getar Fundamental.....	4-49
4.8.2.	Gaya Geser Dasar.....	4-50
4.8.3.	Perpindahan (<i>Story Displacement</i>).....	4-52
4.8.4.	Grafik Perbandingan Perpindahan Gedung <i>Fixed Base</i> dan <i>Base Isolated</i>	4-54
4.8.5.	Simpangan Antar Tingkat (<i>Story Drift</i>)	4-57
4.8.6.	Grafik Perbandingan Simpangan Antar Tingkat Gedung <i>Fixed Base</i> dan <i>Base Isolated</i>	4-60

4.8.7. Dimensi Elemen Struktur.....	4-63
4.8.8. Kebutuhan Tulangan.....	4-63
4.8.9. Sendi Plastis	4-64
4.9. Pengaruh Ketidakberaturan Massa terhadap Perilaku Gedung	4-65
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	5-1
5.1. Kesimpulan.....	5-1
5.2. Saran.....	5-2
DAFTAR PUSTAKA.....	xxvii
LAMPIRAN 1 PRELIMINARY DIMENSI ELEMEN STRUKTUR.....	L1-1
LAMPIRAN 2 PENGECEKAN KETIDAKBERATURAN	L2-1
LAMPIRAN 3 PRELIMINARY DESIGN LEAD RUBBER BEARING	L3-1
LAMPIRAN 4 PRELIMINARY LANJUTAN LEAD RUBBER BEARING .L4-1	1
LAMPIRAN 5 SPESIFIKASI LEAD RUBBER BEARING.....	L5-1
LAMPIRAN 6 PENGECEKAN GAYA GESER DASAR TERHADAP PERSYARATAN SNI 1726-2019	L6-1

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

A_{LRB} : Luas *lead rubber bearing*

A_p : Luas *lead plug*

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

DL : 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 : *Yield Displacement*

E : Pengaruh beban gempa horizontal dan vertikal

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

FPS : *Friction pendulum system*
 F_v : Koefisien situs untuk periode 1 detik
 f_y : Tegangan leleh baja
 F_y : Kekuatan leleh *lead*
 g : Percepatan gravitasi
 G : Modulus geser karet
 $HDRB$: *High damping rubber bearing*
 h_{sx} : Tinggi tingkat di bawah tingkat-x
 I_e : Faktor keutamaan gempa
 IO : *Immediate Occupancy*
 K_1 : Kekakuan awal *lead rubber bearing*
 K_2 : Kekakuan pasca leleh *lead rubber bearing*
 K_{eff} : Kekakuan efektif *lead rubber bearing*
 K_M : Kekakuan efektif sistem isolasi pada perpindahan maksimum
 $K_{M_{max}}$: Kekakuan efektif maksimum sistem isolasi pada perpindahan maksimum
 $K_{M_{min}}$: Kekakuan efektif minimum sistem isolasi pada perpindahan maksimum
 LL : Beban hidup
 L_r : Beban hidup pada atap
 LRB : *Lead rubber bearing*
 MCE_R : Gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget
 n : Rasio kekakuan akhir terhadap kekakuan awal *lead rubber bearing*
 NRB : *Natural rubber bearing*
 Q : *Characteristic strength*

- R : Koefisien modifikasi respons
- R_I : Koefisien umerik terkait jenis sistem struktur pemikul gaya seismik yang berada di atas sistem isolasi
- 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
- $SIDL$: Beban mati tambahan
- 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 total karet pada *lead rubber bearing*

- V : Gaya lateral dinamik
- V_b : Total gaya (geser) lateral seismik rencana elemen-elemen sistem isolasi atau elemen-elemen di bawah sistem isolasi
- 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 dari struktur di atas pemisah isolasi
- W_s : Berat seismik efektif dari struktur di atas pemisah isolasi, tidak termasuk berat seismik efektif pada tingkat dasar
- W_D : *Energy dissipated per cycle*
- x : Parameter untuk perioda 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_o : Faktor kuat lebih
- Δ : Simpangan antar tingkat desain
- Δ_{izin} : Simpangan antar tingkat izin

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Denah Model Struktur.....	1-4
Gambar 1. 2 Tampak 3 Dimensi Struktur.....	1-5
Gambar 1. 3 Tampak Elevasi Struktur.....	1-5
Gambar 1. 4 Diagram Alir	1-9
Gambar 2. 1 <i>Natural rubber bearing</i> [sumber: Bridgestone Seismic Isolation Product Line-up Version 2017 vol. 1].....	2-2
Gambar 2. 2 <i>Lead rubber bearing</i> [sumber: Bridgestone Seismic Isolation Product Line-up Version 2017 vol. 1].....	2-3
Gambar 2. 3 <i>High damping rubber bearing</i> [sumber: Bridgestone Seismic Isolation Product Line-up Version 2017 vol. 1]	2-3
Gambar 2. 4 <i>Friction pendulum system</i> [sumber: Bridgestone Seismic Isolation Product Line-up Version 2017 vol. 1]	2-4
Gambar 2. 5 Spektrum respons desain.....	2-11
Gambar 2. 6 Simpangan antar tingkat.....	2-27
Gambar 2. 7 <i>MCE Code Displacement Spectrum</i> (sumber: IBC 2012)	2-31
Gambar 2. 8 Diagram alir <i>preliminary LRB</i>	2-37
Gambar 2. 9 Diagram alir <i>preliminary</i> lanjutan LRB	2-41
Gambar 2. 10 Ketidakberaturan massa	2-43
Gambar 2. 11 Rekaman percepatan gempa El Centro N-S tahun 1940.....	2-44
Gambar 2. 12 Rekaman percepatan gempa Denpasar B-T tahun 1979	2-44
Gambar 2. 13 Rekaman percepatan gempa Flores tahun 1992.....	2-45
Gambar 2. 14 Rekaman percepatan gempa Parkfield N65E tahun 1966.....	2-45
Gambar 2. 15 Rekaman percepatan gempa Bucharest N-S tahun 1977	2-45
Gambar 2. 16 <i>Sway mechanism</i>	2-47
Gambar 2. 17 <i>Story mechanism</i>	2-47
Gambar 2. 18 Kinerja struktur terhadap gaya geser dan perpindahan.....	2-48
Gambar 3. 1 Rekaman percepatan gempa Bucharest N-S tahun 1977 sebelum diskalakan.....	3-7
Gambar 3. 2 Rekaman percepatan gempa Bucharest N-S tahun 1977 setelah diskalakan	3-7

Gambar 3. 3	Pemodelan sendi plastis pada balok dan kolom.....	3-8
Gambar 4. 1	Simpangan antar tingkat gedung <i>fixed base</i>	4-5
Gambar 4. 2	Kebutuhan tulangan bangunan <i>base isolated</i> (R = 2)	4-7
Gambar 4. 3	Simpangan antar tingkat gedung <i>base isolated</i> (R = 8)	4-12
Gambar 4. 4	Simpangan antar tingkat gedung <i>base isolated</i> (R = 5)	4-18
Gambar 4. 5	Perpindahan bangunan <i>fixed base</i> Analisis Riwayat Waktu	4-20
Gambar 4. 6	Rasio simpangan antar tingkat	4-22
Gambar 4. 7	Lokasi sendi plastis saat pertama kali terjadi akibat gempa Bucharest (gedung <i>fixed base</i>) (a) Di sisi tepi gedung ; (b) Di sisi dalam gedung	4-24
Gambar 4. 8	Lokasi sendi plastis di detik terakhir dari rekaman gempa Bucharest (gedung <i>fixed base</i>) (a) Di sisi tepi gedung ; (b) Di sisi dalam gedung	4-25
Gambar 4. 9	Lokasi sendi plastis saat pertama kali terjadi akibat gempa El Centro (gedung <i>fixed base</i>) (a) Di sisi tepi gedung ; (b) Di sisi dalam gedung	4-26
Gambar 4. 10	Lokasi sendi plastis di detik terakhir dari rekaman gempa El Centro (gedung <i>fixed base</i>) (a) Di sisi tepi gedung ; (b) Di sisi dalam gedung	4-27
Gambar 4. 11	Lokasi sendi plastis saat pertama kali terjadi akibat gempa Flores (gedung <i>fixed base</i>) (a) Di sisi tepi gedung ; (b) Di sisi dalam gedung	4-28
Gambar 4. 12	Lokasi sendi plastis di detik terakhir dari rekaman gempa Flores (gedung <i>fixed base</i>) (a) Di sisi tepi gedung ; (b) Di sisi dalam gedung	4-29
Gambar 4. 13	Lokasi sendi plastis saat pertama kali terjadi akibat gempa Parkfield (gedung <i>fixed base</i>) (a) Di sisi tepi gedung ; (b) Di sisi dalam gedung	4-30
Gambar 4. 14	Lokasi sendi plastis di detik terakhir dari rekaman gempa Parkfield (gedung <i>fixed base</i>) (a) Di sisi tepi gedung ; (b) Di sisi dalam gedung	4-31
Gambar 4. 15	Perpindahan bangunan <i>base isolated</i> (R = 8) Analisis Riwayat Waktu	4-34
Gambar 4. 16	Simpangan antar tingkat.....	4-35
Gambar 4. 17	Lokasi sendi plastis saat pertama kali terjadi akibat gempa Parkfield (gedung <i>base isolated</i> dengan R = 8) (a) Di sisi tepi bangunan ; (b) Di sisi dalam bangunan	4-37
Gambar 4. 18	Lokasi sendi plastis di detik terakhir dari rekaman gempa Parkfield (gedung <i>base isolated</i> dengan R = 8) (a) Di sisi tepi bangunan ; (b) Di sisi dalam bangunan	4-38

Gambar 4. 19 Kurva histeresis LRB (R = 8, gempa Bucharest).....	4-40
Gambar 4. 20 Kurva histeresis LRB (R = 8, gempa Denpasar).....	4-40
Gambar 4. 21 Kurva histeresis LRB (R = 8, gempa El Centro)	4-41
Gambar 4. 22 Kurva histeresis LRB (R = 8, gempa Flores)	4-41
Gambar 4. 23 Kurva histeresis LRB (R = 8, gempa Parkfield)	4-42
Gambar 4. 24 Perpindahan bangunan <i>base isolated</i> (R = 5) Analisis Riwayat Waktu	4-44
Gambar 4. 25 Simpangan antar tingkat bangunan <i>base isolated</i> (R = 5) Analisis Riwayat Waktu.....	4-45
Gambar 4. 26 Kurva histeresis LRB (R = 5, gempa Bucharest).....	4-47
Gambar 4. 27 Kurva histeresis LRB (R = 5, gempa Denpasar).....	4-47
Gambar 4. 28 Kurva histeresis LRB (R = 5, gempa El Centro)	4-48
Gambar 4. 29 Kurva histeresis LRB (R = 5, gempa Flores).....	4-48
Gambar 4. 30 Kurva histeresis LRB (R = 5, gempa Parkfield)	4-49
Gambar 4. 31 Perbandingan perpindahan gedung <i>fixed base</i> dan <i>base isolated</i> akibat gempa Bucharest	4-55
Gambar 4. 32 Perbandingan perpindahan gedung <i>fixed base</i> dan <i>base isolated</i> akibat gempa Denpasar	4-55
Gambar 4. 33 Perbandingan perpindahan gedung <i>fixed base</i> dan <i>base isolated</i> akibat gempa El Centro.....	4-56
Gambar 4. 34 Perbandingan perpindahan gedung <i>fixed base</i> dan <i>base isolated</i> akibat gempa Flores	4-56
Gambar 4. 35 Perbandingan perpindahan gedung <i>fixed base</i> dan <i>base isolated</i> akibat gempa Parkfield.....	4-57
Gambar 4. 36 Perbandingan simpangan antar tingkat gedung <i>fixed base</i> dan <i>base isolated</i> akibat gempa Bucharest.....	4-60
Gambar 4. 37 Perbandingan simpangan antar tingkat gedung <i>fixed base</i> dan <i>base isolated</i> akibat gempa Denpasar	4-61
Gambar 4. 38 Perbandingan simpangan antar tingkat gedung <i>fixed base</i> dan <i>base isolated</i> akibat gempa El Centro	4-61
Gambar 4. 39 Perbandingan simpangan antar tingkat gedung <i>fixed base</i> dan <i>base isolated</i> akibat gempa Flores	4-62

Gambar 4. 40 Perbandingan simpangan antar tingkat gedung *fixed base* dan *base isolated* akibat gempa Parkfield..... 4-62



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Klasifikasi situs.....	2-7
Tabel 2. 2 Koefisien situs, F_a	2-9
Tabel 2. 3 Koefisien situs, F_v	2-9
Tabel 2. 4 Kategori desain seismik berdasarkan S_{DS}	2-12
Tabel 2. 5 Kategori desain seismik berdasarkan S_{D1}	2-12
Tabel 2. 6 Sistem struktur	2-13
Tabel 2. 7 Persyaratan untuk masing-masing tingkat yang menahan lebih dari 35% gaya geser dasar	2-14
Tabel 2. 8 Nilai C_t dan x	2-16
Tabel 2. 9 Koefisien C_u	2-17
Tabel 2. 10 Faktor redaman, B_M	2-21
Tabel 2. 11 <i>Damping coefficients</i> , B_D dan B_M	2-30
Tabel 2. 12 Persyaratan <i>roof drift ratio</i> (sumber: FEMA 356 Tabel C1-3).....	2-49
Tabel 3. 1 Beban mati tambahan, $SIDL$	3-3
Tabel 3. 2 Beban hidup, LL	3-3
Tabel 3. 3 Dimensi elemen struktur <i>fixed base</i> dan <i>base isolated</i> ($R = 8$).....	3-5
Tabel 3. 4 Dimensi elemen struktur <i>base isolated</i> ($R = 5$)	3-6
Tabel 3. 5 Properti <i>lead rubber bearing</i>	3-6
Tabel 4. 1 Dimensi balok dan kolom bangunan <i>fixed base</i>	4-1
Tabel 4. 2 Kebutuhan tulangan balok bangunan <i>fixed base</i>	4-1
Tabel 4. 3 Kebutuhan tulangan kolom bangunan <i>fixed base</i>	4-2
Tabel 4. 4 Gerak dominan gedung <i>fixed base</i>	4-2
Tabel 4. 5 Ragam dan periode getar bangunan <i>fixed base</i>	4-3
Tabel 4. 6 Perpindahan tiap lantai bangunan <i>fixed base</i>	4-4
Tabel 4. 7 Simpangan antar tingkat gedung <i>fixed base</i>	4-5
Tabel 4. 8 Gaya geser dasar	4-6
Tabel 4. 9 Dimensi balok dan kolom bangunan <i>base isolated</i> ($R = 8$).....	4-8
Tabel 4. 10 Kebutuhan tulangan balok bangunan <i>base isolated</i> ($R = 8$)	4-8
Tabel 4. 11 Kebutuhan tulangan kolom bangunan <i>base isolated</i> ($R = 8$).....	4-9
Tabel 4. 12 Gerak dominan gedung <i>base isolated</i> ($R = 8$)	4-9

Tabel 4. 13 Ragam dan periode getar bangunan <i>base isolated</i> (R = 8)	4-10
Tabel 4. 14 Perpindahan tiap lantai bangunan <i>base isolated</i> (R = 8) Analisis Spektrum Respons	4-11
Tabel 4. 15 Simpangan antar tingkat gedung <i>base isolated</i> (R = 8) Analisis Spektrum Respons	4-12
Tabel 4. 16 Gaya geser dasar gedung <i>base isolated</i> (R = 8).....	4-13
Tabel 4. 17 Dimensi balok dan kolom bangunan <i>base isolated</i> (R = 5).....	4-13
Tabel 4. 18 Kebutuhan tulangan balok bangunan <i>base isolated</i> (R = 5)	4-14
Tabel 4. 19 Kebutuhan tulangan kolom bangunan <i>base isolated</i> (R = 5).....	4-14
Tabel 4. 20 Gerak dominan gedung <i>base isolated</i> (R = 5)	4-15
Tabel 4. 21 Ragam dan periode getar bangunan <i>base isolated</i> (R = 5)	4-15
Tabel 4. 22 Perpindahan tiap lantai bangunan <i>base isolated</i> (R = 5) Analisis Spektrum Respons	4-16
Tabel 4. 23 Simpangan antar tingkat gedung <i>base isolated</i> (R = 5) Analisis Spektrum Respons	4-17
Tabel 4. 24 Gaya geser dasar gedung <i>base isolated</i> (R = 5).....	4-18
Tabel 4. 25 Gaya geser dasar bangunan <i>fixed base</i> Analisis Riwayat Waktu ...	4-19
Tabel 4. 26 Perpindahan bangunan <i>fixed base</i> Analisis Riwayat Waktu.....	4-20
Tabel 4. 27 Simpangan antar tingkat bangunan <i>fixed base</i> Analisis Riwayat Waktu	4-21
Tabel 4. 28 Rasio simpangan antar tingkat bangunan <i>fixed base</i> Analisis Riwayat Waktu	4-21
Tabel 4. 29 Rasio simpangan antar tingkat bangunan <i>fixed base</i> Analisis Riwayat Waktu (lanjutan)	4-22
Tabel 4. 30 Waktu pertama terjadinya sendi plastis	4-23
Tabel 4. 31 Tingkat kinerja struktur <i>fixed base</i>	4-32
Tabel 4. 32 Gaya geser dasar bangunan <i>base isolated</i> (R = 8) Analisis Riwayat Waktu.....	4-33
Tabel 4. 33 Perpindahan bangunan <i>base isolated</i> (R = 8) Analisis Riwayat Waktu	4-33
Tabel 4. 34 Simpangan antar tingkat bangunan <i>base isolated</i> (R = 8) Analisis Riwayat Waktu.....	4-35

Tabel 4. 35 Waktu pertama terjadinya sendi plastis pada gedung <i>base isolated</i> (R = 8)	4-36
Tabel 4. 36 Tingkat kinerja struktur <i>base isolated</i> (R = 8).....	4-39
Tabel 4. 37 Gaya geser dasar bangunan <i>base isolated</i> (R = 5) Analisis Riwayat Waktu.....	4-42
Tabel 4. 38 Perpindahan bangunan <i>base isolated</i> (R = 5) Analisis Riwayat Waktu	4-43
Tabel 4. 39 Simpangan antar tingkat bangunan <i>base isolated</i> (R = 5) Analisis Riwayat Waktu.....	4-44
Tabel 4. 40 Tingkat kinerja struktur <i>base isolated</i> (R = 5).....	4-46
Tabel 4. 41 Perbandingan periode gedung <i>fixed base</i> dan <i>base isolated</i>	4-49
Tabel 4. 42 Perbandingan gaya geser dasa <i>fixed base</i> dan <i>base isolated</i> Analisis Spektrum Respons	4-51
Tabel 4. 43 Perbandingan gaya geser dasa <i>fixed base</i> dan <i>base isolated</i> Analisis Riwayat Waktu Nonlinier	4-51
Tabel 4. 44 Perbandingan perpindahan gedung <i>fixed base</i> dan <i>base isolated</i> Analisis Spektrum Respons	4-52
Tabel 4. 45 Perbandingan perpindahan gedung <i>fixed base</i> dan <i>base isolated</i> Analisis Riwayat Waktu Nonlinier (gempa Bucharest).....	4-52
Tabel 4. 46 Perbandingan perpindahan gedung <i>fixed base</i> dan <i>base isolated</i> Analisis Riwayat Waktu Nonlinier (gempa Denpasar).....	4-53
Tabel 4, 47 Perbandingan perpindahan gedung <i>fixed base</i> dan <i>base isolated</i> Analisis Riwayat Waktu Nonlinier (gempa El Centro).....	4-53
Tabel 4, 48 Perbandingan perpindahan gedung <i>fixed base</i> dan <i>base isolated</i> Analisis Riwayat Waktu Nonlinier (gempa Flores).....	4-54
Tabel 4, 49 Perbandingan perpindahan gedung <i>fixed base</i> dan <i>base isolated</i> Analisis Riwayat Waktu Nonlinier (gempa Parkfield)	4-54
Tabel 4. 50 Perbandingan simpangan antar tingkat gedung <i>fixed base</i> dan <i>base isolated</i> Analisis Spektrum Respons.....	4-57
Tabel 4. 51 Perbandingan simpangan antar tingkat gedung <i>fixed base</i> dan <i>base isolated</i> Analisis Riwayat Waktu Nonlinier (gempa Bucharest)	4-58

Tabel 4, 52 Perbandingan simpangan antar tingkat gedung <i>fixed base</i> dan <i>base isolated</i> Analisis Riwayat Waktu Nonlinier (gempa Denpasar).....	4-58
Tabel 4, 53 Perbandingan simpangan antar tingkat gedung <i>fixed base</i> dan <i>base isolated</i> Analisis Riwayat Waktu Nonlinier (gempa El Centro).....	4-59
Tabel 4, 54 Perbandingan simpangan antar tingkat gedung <i>fixed base</i> dan <i>base isolated</i> Analisis Riwayat Waktu Nonlinier (gempa Flores)	4-59
Tabel 4, 55 Perbandingan simpangan antar tingkat gedung <i>fixed base</i> dan <i>base isolated</i> Analisis Riwayat Waktu Nonlinier (gempa Parkfield)	4-59
Tabel 4. 56 Perbandingan dimensi elemen struktur	4-63
Tabel 4. 57 Perbandingan sendi plastis.....	4-64



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Gedung merupakan salah satu bangunan yang memiliki peran penting dalam kehidupan manusia. Menurut Undang-Undang Nomor 2008 Tahun 2002, bangunan gedung adalah wujud fisik hasil pekerjaan konstruksi yang menyatu dengan tempat kedudukannya, sebagian atau seluruhnya berada diatas dan/atau di dalam tanah dan/atau air, yang berfungsi sebagai tempat manusia melakukan kegiatannya, baik untuk hunian atau tempat tinggal, kegiatan keagamaan, kegiatan usaha, kegiatan sosial, budaya, maupun kegiatan khusus. Dilihat dari definisinya, tentu bangunan gedung memiliki banyak fungsi untuk mendukung aktivitas sehari-hari. Menurut Peraturan Pemerintah No. 36 Tahun 2005, bangunan gedung memiliki 5 fungsi utama, yaitu fungsi hunian, fungsi keagamaan, fungsi usaha, fungsi sosial dan budaya, dan fungsi khusus. Untuk menjalankan fungsi-fungsi tersebut, tentu bangunan gedung harus memiliki kapasitas dan ukuran yang memadai. Permasalahannya adalah lahan yang tersedia untuk membangun gedung semakin lama semakin terbatas. Maka dari itu, untuk tetap dapat mengakomodasi fungsi-fungsi tersebut, dewasa ini gedung banyak dibangun dengan ketidakberaturan, baik ketidakberaturan horizontal maupun ketidakberaturan vertikal. Pada skripsi ini, ketidakberaturan yang akan dibahas adalah salah satu bentuk ketidakberaturan vertikal, yaitu ketidakberaturan massa akibat perbedaan fungsi pada salah satu lantai

Berdasarkan SNI 1726:2019, ketidakberaturan massa didefinisikan sebagai ketidakberaturan yang terjadi jika massa efektif di sembarang tingkat bernilai lebih dari 150% massa efektif tingkat di dekatnya. SNI 1726:2019 mengategorikan ketidakberaturan massa sebagai ketidakberaturan vertikal tipe 2. Dengan adanya ketidakberaturan ini, tentu bangunan gedung lebih rentan terhadap gempa bumi, terutama apabila gedung terletak di Indonesia yang notabene merupakan negara yang sering mengalami gempa bumi. Ini disebabkan karena secara geografis, Indonesia berada di atas tiga lempeng tektonik yang bergerak secara terus menerus,

yaitu lempeng Eurasia, lempeng Pasifik, dan lempeng Indo-Australia. Apabila struktur gedung tidak didesain dengan seksama, baik dalam proses perhitungan maupun pembangunan, maka sangat besar kemungkinan terjadi kegagalan pada struktur gedung tersebut. Untuk meminimalisir kemungkinan terjadinya kegagalan pada suatu struktur gedung akibat gempa bumi, perlu digunakan metode-metode khusus yang dapat mereduksi gaya gempa yang dialami oleh struktur gedung. Salah satu cara yang dapat menjadi alternatif untuk mereduksi gaya gempa yang diterima oleh struktur gedung adalah dengan mengaplikasikan sistem *base isolation*.

Base isolation adalah suatu metode untuk mereduksi gaya gempa yang terjadi pada suatu struktur bangunan dengan cara memisahkan struktur bangunan (*superstructure*) dengan pondasinya (*substructure*) dengan menggunakan *base isolator*. *Base isolator* ini memiliki kekakuan yang lebih rendah dibandingkan dengan kekakuan struktur, sehingga periode struktur bisa bertambah dan gaya lateral yang bekerja pada struktur dapat tereduksi. Sebagian besar gaya gempa akan dipikul oleh *substructure*. Saat gempa bumi terjadi, bagian *substructure* akan mengalami pergerakan, akan tetapi pergerakan tersebut tidak ditransfer ke *superstructure* karena terdapat *base isolator* yang memisahkan *substructure* dan *superstructure*.

Pada umumnya, *base isolator* terbuat dari bahan karet dan pelat baja. *Base isolator* sendiri terdiri dari beberapa jenis, antara lain *natural rubber bearing* (NRB), *lead rubber bearing* (LRB), *high damping rubber bearing* (HDRB), dan *friction pendulum system* (FPS). Setiap jenis *base isolator* memiliki karakteristik dan kemampuan yang berbeda-beda dalam mereduksi gaya gempa yang terjadi pada struktur gedung. Dalam skripsi ini, jenis *base isolator* yang akan digunakan adalah *lead rubber bearing* (LRB).

Lead rubber bearing dipilih karena terdapat komponen yang tidak dimiliki di *isolator* lainnya, yaitu *lead core* yang dipasang di bagian tengah *bearing*. Keberadaan *lead core* dapat meningkatkan kemampuan *lead rubber bearing* dalam meredam gaya gempa, karena *lead core* tersebut akan meleleh pada tegangan yang rendah (sekitar 8-10 MPa) yang memungkinkan terjadinya disipasi energi. Dengan demikian, penggunaan peredam tambahan tidak diperlukan apabila *lead rubber bearing* sudah digunakan sebagai *base isolator*.

1.2. Inti Permasalahan

Bangunan dengan ketidakberaturan massa diizinkan untuk dibangun untuk keperluan-keperluan tertentu. Akan tetapi, terdapat permasalahan yang perlu diperhatikan, yaitu bangunan dengan ketidakberaturan massa memiliki perilaku dinamik yang berbeda dibandingkan dengan bangunan tanpa ketidakberaturan massa. Perilaku dinamik tersebut harus tetap memenuhi persyaratan kekuatan dan kekakuan. Skripsi ini akan meneliti pengaruh penggunaan *base isolator* tipe *lead rubber bearing* terhadap perilaku dinamik dari struktur dengan ketidakberaturan massa.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian pada skripsi ini adalah untuk memperoleh dan membandingkan perilaku dinamik struktur *fixed base* dan struktur *base isolated* yang massanya tidak beraturan setelah diberi beban gempa. Perilaku dinamik struktur yang dianalisis adalah ragam dan periode getar, gaya geser dasar, simpangan antar tingkat (*story drift*), perpindahan (*displacement*), dan sendi plastis. Berhubungan dengan sendi plastis, akan dianalisis juga pengaruh nilai koefisien modifikasi respons (R) terhadap perilaku dinamik gedung dengan *base isolator*. Selain itu, kebutuhan tulangan dan dimensi elemen struktur juga akan dihitung dan dibandingkan.

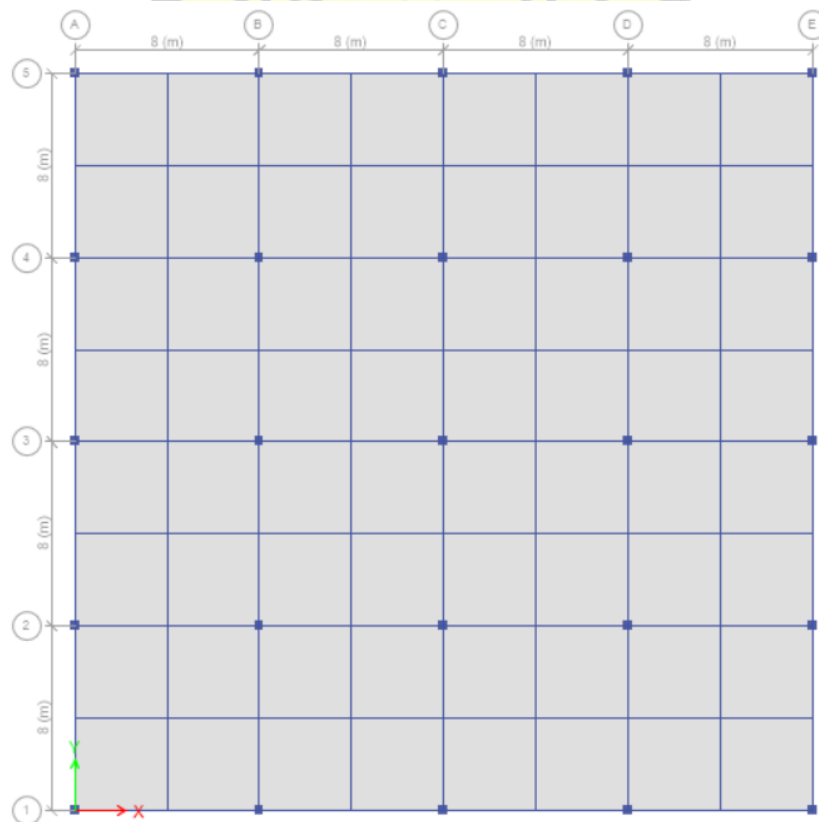
1.4. Pembatasan Masalah

Penelitian pada skripsi ini dibatasi oleh poin-poin berikut:

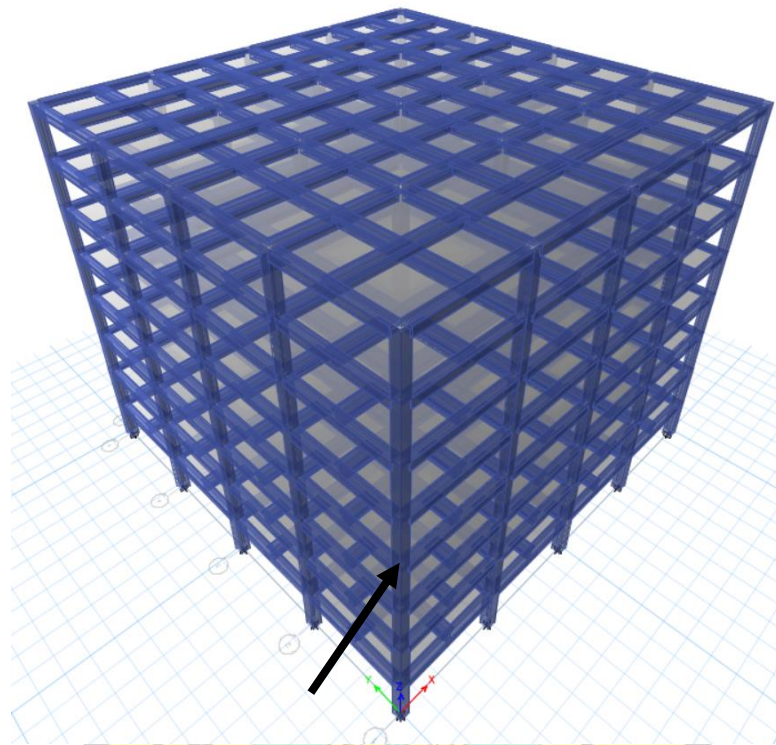
1. Analisis dilakukan menggunakan *software* ETABS 16.2.1.
2. Gedung memiliki geometri simetris dan terbuat dari beton bertulang struktur rangka pemikul momen khusus (SRPMK).
3. Gedung terdiri dari 8 lantai dengan tinggi lantai tipikal sebesar 3,6 m serta terdiri dari 4 bentang sepanjang 8 meter pada sumbu x dan y.
4. Beton memiliki kuat tekan, $f'_c = 35$ MPa dan baja tulangan memiliki kuat leleh, $f_y = 420$ MPa.

5. Bangunan berfungsi sebagai gedung kampus (fasilitas pendidikan) dan terletak di Kota Bandung dengan klasifikasi situs D (tanah sedang).
6. Ketidakberaturan yang terjadi pada struktur adalah ketidakberaturan vertikal tipe 2, yaitu ketidakberaturan massa.
7. Lantai yang memiliki massa berlebih adalah lantai 4, karena terdapat perpustakaan (ruang penyimpanan).
8. Akan dibuat 4 model gedung, yaitu sebagai berikut:
 - Gedung *fixed base* dengan koefisien modifikasi respons (R) = 8.
 - Gedung *base isolated* dengan 3 variasi nilai R , yaitu $R = 2, 5, \text{ dan } 8$.

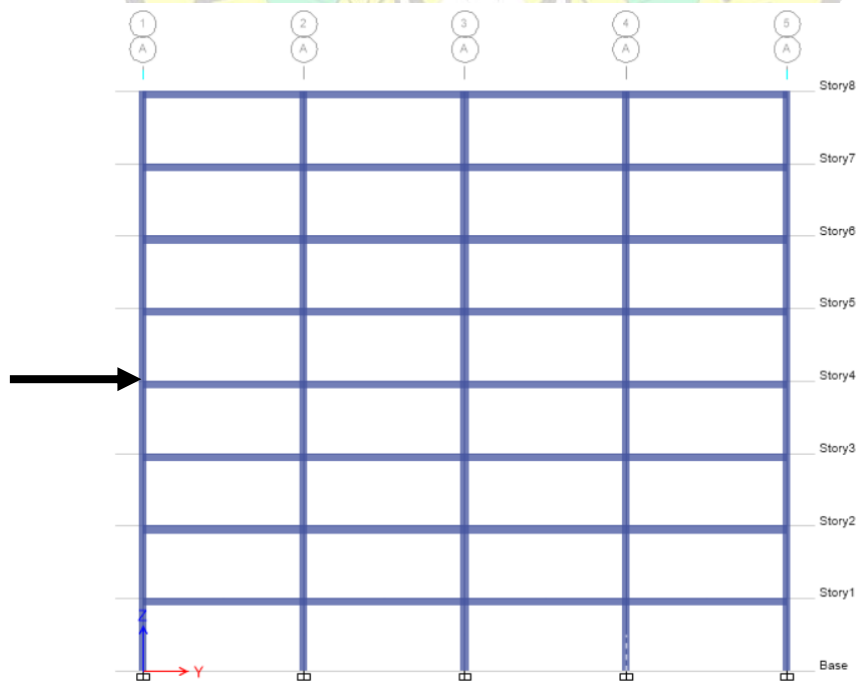
Struktur dimodelkan di ETABS 16.2.1 dengan denah, tampak atas, dan elevasi seperti terlampir pada Gambar 1.1, Gambar 1.2, dan Gambar 1.3.



Gambar 1. 1 Denah Model Struktur



Gambar 1. 2 Tampak 3 Dimensi Struktur



Gambar 1. 3 Tampak Elevasi Struktur

*Lantai yang diberi tanda panah merupakan lokasi ketidakberaturan massa.

9. Jenis *base isolator* yang digunakan adalah *lead rubber bearing* (LRB).
10. Perancangan dan perhitungan pondasi tidak dilakukan.
11. 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
12. Sebagai acuan dalam mendesain, digunakan peraturan-peraturan 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 dan Penjelasan
 - SNI 1727:2020 tentang Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain

1.5. Metode Penelitian

Metode penelitian terbagi menjadi dua metode sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Studi literatur merupakan metode pengumpulan data dengan mencari informasi tentang bahan-bahan penelitian berdasarkan teori, buku teks, jurnal ilmiah, skripsi perbandingan, maupun materi dari bahan perkuliahan.

2. Studi Analisis

Studi analisis merupakan metode yang dilakukan untuk mendesain bangunan sesuai dengan batasan-batasan yang telah ditentukan pada subbab 1.4 sehingga tujuan yang terdapat pada subbab 1.3 dapat tercapai. Dalam skripsi ini, studi analisis dilakukan dengan bantuan *software* ETABS 16.2.1 serta aplikasi Microsoft Excel, Mathcad, dan SMATH untuk perhitungan.

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, serta diagram alir.

BAB 2 STUDI PUSTAKA

Bab ini menguraikan hasil dari studi literatur berupa teori-teori yang diperoleh dari jurnal ilmiah atau skripsi pembandingan 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-batasan yang telah ditentukan pada poin 1.4. Desain dan pemodelan struktur dilakukan menggunakan *software* ETABS.

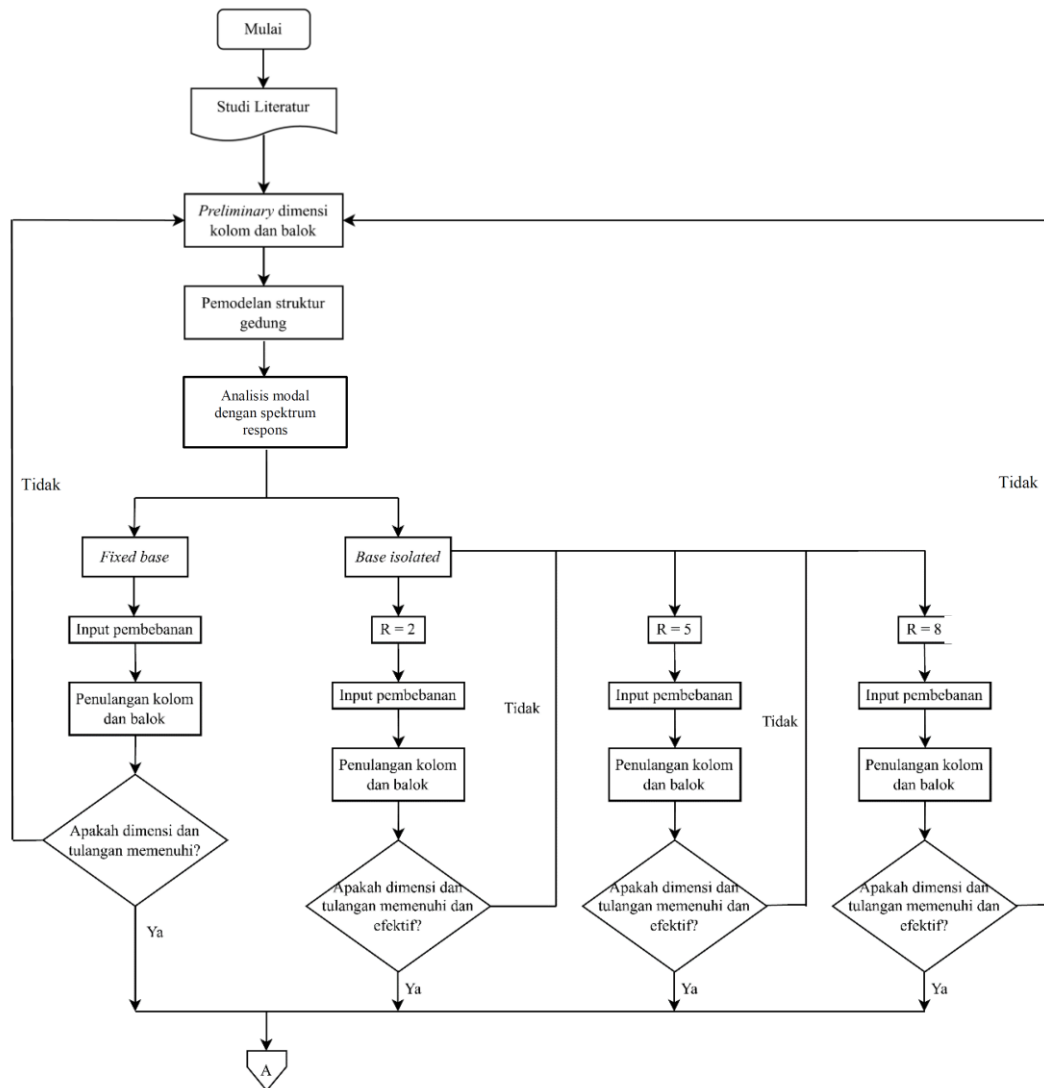
BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN

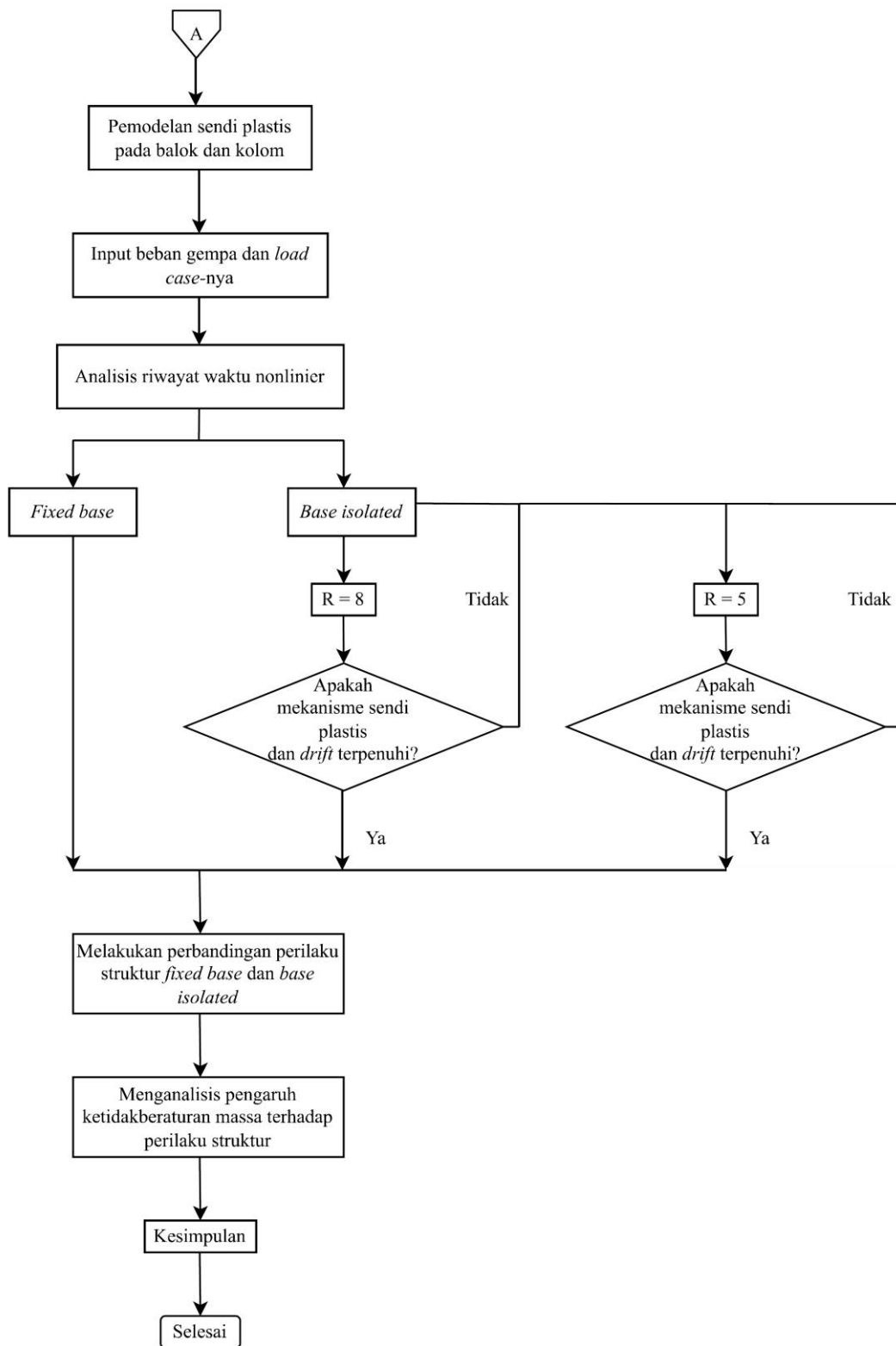
Bab ini menguraikan hasil dari studi analisis berupa perilaku struktur gedung dengan ketidakberaturan massa yang dasarnya telah diisolasi dengan *base isolator* berjenis *lead rubber bearing*.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi tentang kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan serta saran yang dapat diberikan untuk hasil yang lebih baik.

1.7. Diagram Alir





Gambar 1. 4 Diagram Alir