

TESIS

PENGARUH KETINGGIAN STRUKTUR TERHADAP KINERJA SEISMIC STRUKTUR GEDUNG BETON BERTULANG MENGGUNAKAN *BASE ISOLATOR TYPE LEAD RUBBER BEARING*

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar
Magister Teknik Pada Program Studi Magister Teknik Sipil
Universitas Sriwijaya**



Disusun Oleh:

**MUHAMMAD FAUZAN HANIF
03022622226012**

**JURUSAN TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2024**

TESIS

PENGARUH KETINGGIAN STRUKTUR TERHADAP KINERJA SEISMIC STRUKTUR GEDUNG BETON BERTULANG MENGGUNAKAN *BASE ISOLATOR* *TYPE LEAD RUBBER BEARING*

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar
Magister Teknik Pada Program Studi Magister Teknik Sipil
Universitas Sriwijaya**



Disusun Oleh:

**MUHAMMAD FAUZAN HANIF
03022622226012**

**JURUSAN TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BENGKULU
2024**

HALAMAN PENGESAHAN

PENGARUH KETINGGIAN STRUKTUR TERHADAP KINERJA SEISMIK STRUKTUR GEDUNG BETON BERTULANG MENGGUNAKAN *BASE ISOLATOR* *TYPE LEAD RUBBER BEARING*

TESIS

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar
Magister Teknik Pada Program Studi Magister Teknik Sipil
Universitas Sriwijaya

Oleh:

MUHAMMAD FAUZAN HANIF
03022622226012

Palembang, Juli 2024

Pembimbing I



Dr. Ir. Rosidawani, S.T., M.T.
NIP. 197605092000122001

Pembimbing II



Dr. Ir. Siti Aisyah Nurjannah, S.T., M.T., IPU.
NIP. 197705172008012039

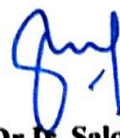
Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik



Dr. Ir. Bhakti Yudho Suprpto, S.T., M.T.
NIP. 197502112003121002

**Ketua Jurusan Teknik Sipil dan
Perencanaan**



Dr. Ir. Saloma, S.T., M.T.
NIP. 197610312002122001

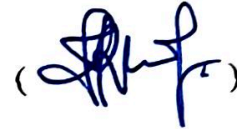
HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Tesis ini dengan judul “Pengaruh Ketinggian Struktur terhadap Kinerja Seismik Struktur Gedung Beton Bertulang Menggunakan *Base Isolator Type Lead Rubber Bearing*” yang disusun oleh Muhammad Fauzan Hanif telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Ilmiah Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada Juli 2024

Palembang, Juli 2024
Tim Penguji Karya Ilmiah berupa Tesis

Pembimbing :

1. Dr. Ir. Rosidawani, S.T., M.T.
NIP. 197605092000122001



2. Dr. Ir. Siti Aisyah Nurjannah, S.T., M.T., IPU.
NIP. 197705172008012039



Penguji :

1. Dr. Ir. Hanafiah, M.S., IPM., ASEAN Eng.
NIP. 195603141985031002



2. Dr. Ir. K.M. Aminuddin, S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng.
NIP. 197203141999031006



Mengetahui, Juli 2024
Ketua Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan



Dr. Ir. Saloma, S.T., M.T.
NIP. 197610312002122001

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Fauzan Hanif
NIM : 03022622226012
Judul Tesis : Pengaruh Ketinggian Struktur terhadap Kinerja Seismik
Struktur Gedung Beton Bertulang Menggunakan *Base Isolator*
Type Lead Rubber Bearing

Menyatakan bahwa Tesis saya merupakan hasil karya sendiri didampingi pembimbing dan bukan hasil penjiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam Tesis ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai aturan yang berlaku.

Demikianlah, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.

Palembang, Juli 2024



Muhammad Fauzan Hanif

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

A. IDENTITAS DIRI

	Nama	Muhammad Fauzan Hanif
	Tempat, Tanggal Lahir	Padang Jaya, 31 Juli 1997
	Email	mfauzanhanif31@gmail.com
	Alamat	Jembatan Dua, Bintuhan, Kab.Kaur. Provinsi Bengkulu
	Nomor HP/WA	085268506359

Nama Sekolah	Fakultas	Jurusan	Masa
SDN 18 Argamakmur	-	-	2004-2010
SMPN 1 Kaur Selatan	-	-	2010-2013
SMAN 7 Bengkulu	-	IPA	2013-2016
Universitas Bengkulu	Teknik	S1 Teknik Sipil	2016-2021
Universitas Sriwijaya	Teknik	S2 Teknik Sipil	2022-2024

Demikianlah riwayat hidup penulis dibuat dengan sebenarnya.

Dengan Hormat

Muhammad Fauzan Hanif

RINGKASAN

PENGARUH KETINGGIAN STRUKTUR TERHADAP KINERJA SEISMIK STRUKTUR GEDUNG BETON BERTULANG MENGGUNAKAN BASE ISOLATOR TYPE LEAD RUBBER BEARING

Karya tulis ilmiah berupa Tesis

Muhammad Fauzan Hanif; Dibimbing oleh Dr. Ir. Rosidawani, S.T., M.T. dan Dr. Ir. Siti Aisyah Nurjannah, S.T., M.T., IPU.

Base isolation adalah salah satu metode proteksi seismik sebagai upaya untuk melindungi struktur bangunan dari kerusakan yang bisa disebabkan oleh gempa bumi. *Base isolation* merupakan metode memisahkan gerakan struktur dari gerakan akibat gempa bumi dengan menggunakan *base isolator* agar dapat mengurangi gaya pada struktur atas dan metode ini layak untuk diterapkan pada struktur gedung. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh ketinggian struktur terhadap kinerja seismik struktur gedung beton bertulang sistem ganda menggunakan *base isolator* tipe LRB dibandingkan dengan struktur *fixed base* yang didesain pada tanah keras di daerah Kota Bengkulu. Penelitian ini menggunakan model struktur 5, 10, dan 15 lantai yang dianalisis dengan metode analisis respons spektrum dan analisis nonlinier riwayat waktu. Hasil penelitian menunjukkan penggunaan LRB pada struktur memberikan respons dan kinerja struktur yang lebih baik dibandingkan dengan struktur *fixed base*. Selain itu, struktur yang lebih rendah mampu memberikan respons dan kinerja struktur yang lebih baik dan signifikan dibandingkan dengan struktur yang lebih tinggi. Hal ini terbukti pada struktur gedung 5 lantai menggunakan LRB yang menunjukkan adanya peningkatan periode fundamental yang lebih signifikan, reduksi gaya geser yang lebih besar, dan reduksi nilai rasio simpangan antar tingkat lebih besar sehingga berdampak pada kinerja struktur yang lebih baik dibandingkan struktur 10 dan 15 lantai.

Kata kunci: Ketinggian Struktur, LRB, Fixed Base, Kinerja Struktur

SUMMARY

THE INFLUENCE OF STRUCTURAL HEIGHT ON THE SEISMIC PERFORMANCE OF REINFORCED CONCRETE BUILDING STRUCTURES USING LEAD RUBBER BEARING TYPE BASE ISOLATORS

Scientific papers in the form of Thesis

Muhammad Fauzan Hanif; Guided by Dr. Ir. Rosidawani, S.T., M.T. and Dr. Ir. Siti Aisyah Nurjannah, S.T., M.T., IPU.

Base isolation is one of the seismic protection methods used to protect building structures from damage caused by earthquakes. Base isolation is a method of decoupling structural movement from earthquake-induced motion by using base isolators to reduce the force on the upper structure, and this method is suitable for application in building structures. This study aims to determine the influence of structural height on the seismic performance of a dual system reinforced concrete building structure using an LRB type base isolator compared to a fixed-base structure designed for hard soil conditions in the Bengkulu City area. This study uses models of 5-, 10- and 15-story structures which will be analyzed using the response spectrum analysis method and nonlinear time history analysis. The results show that the use of LRB in structures provides better structural response and performance compared to fixed base structures. In addition, lower structures are able to provide better and more significant structural response and performance compared to higher structures. This is evident in the 5-story building structure using LRB, which experiences a more significant increase in the fundamental period, a greater reduction in shear forces, and a greater reduction in the story drift ratio, thus having an impact on better structural performance compared to the 10- and 15-story building structures.

Keywords: Structural Height, LRB, Fixed Base, Structural Performance

MOTTO

"...Niscaya Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman di antaramu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat..."

(QS. Al-Mujadilah [58]: 11)

"Barang siapa menempuh satu jalan (cara) untuk mendapatkan ilmu, maka Allah akan mudahkan baginya jalan menuju surga."

(HR. Muslim)

"Orang lain dapat memotivasimu melakukan perubahan, namun dirimu sendiri punya kemampuan terbesar untuk melakukan perubahan itu.

Bergeraklah dan lanjutkan perjuanganmu!"

(Muhammad Fauzan Hanif)

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakaatuh

Alhamdulillah rabbil'alamin, Segala Puji hanya milik Allah SWT, Sang Penguasa alam semesta dan sholawat serta salam semoga senantiasa selalu tercurah kepada Nabi Muhammad SAW. beserta para keluarga, sahabat dan pengikutnya hingga akhir zaman. Kesempatan dan semangat perjuangan yang alhamdulillah telah Allah SWT berikan sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis dengan judul “Pengaruh Ketinggian Struktur terhadap Kinerja Seismik Struktur Gedung Beton Bertulang Menggunakan *Base Isolator Type Lead Rubber Bearing*” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar magister teknik pada Program Studi Magister Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya. Penyelesaian Tesis ini tidak lepas dari dukungan, bantuan hingga bimbingan baik moril maupun materil dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis pada kesempatan ini ingin menyampaikan rasa terimakasih kepada:

1. Prof. Dr. Taufiq Marwa, S.E., M.Si., selaku Rektor Universitas Sriwijaya.
2. Dr. Ir. Bhakti Yudho Suprpto, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
3. Dr. Ir. Saloma, ST, M.T., selaku Ketua Jurusan Program Studi Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Sriwijaya
4. Dr. Ir. Yulindasari, ST, M.Eng., selaku Koordinator Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Sriwijaya
5. Dr. Ir. Rosidawani, S.T., M.T dan Dr. Ir. Siti Aisyah Nurjannah, S.T., M.T. IPU., selaku dosen pembimbing yang selalu memberikan bimbingan, nasihat, motivasi, serta saran yang bermanfaat pada proses penyelesaian Tesis ini.
6. Dr. Ir. Hanafiah, M.S. ASEAN Eng., dan Andri Setiawan, S.T.,M.T.,Ph.D, yang turut memberikan bimbingan, masukan, nasihat dan motivasi dalam penyelesaian Tesis ini.
7. Kak Flandy Buntoro selaku alumni Universitas Sriwijaya yang banyak membantu dan mengajarkan analisis menggunakan ETABS.
8. Seluruh Dosen dan Staf Jurusan Teknik Sipil Universitas Sriwijaya.

9. *My Mother, father and family.* Doa terbaik untuk kedua orang tua atas dukungan yang tak ternilai dan tentu penulis sangat menyayangi kedua orang tua dan keluarga. Selain itu, doa terbaik untuk semua adik-adikku yang saat ini sudah bekerja dan sebagian sedang menempuh pendidikan semoga selalu diberikan semangat dan kekuatan dalam menjalankan setiap amanah yang dijalankan. Semoga penulis bisa menjadi teladan yang baik untuk kerluarga dan adik-adik tercinta.
10. Teman-teman seperjuangan di Magister Teknik Sipil BKU Struktur Universitas Sriwijaya yang telah banyak membantu, memberikan saran dan semangat kepada penulis dalam menyelesaikan Tesis.
11. Semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

Rasa hormat dan terimakasih penulis ucapkan kepada bapak, ibu dan rekan-rekan semua yang telah membantu penulis untuk menyelesaikan tesis dan atas segala pembelajaran, kesempatan, dukungan yang telah diberikan, mudah-mudahan kita semua tetap dalam lindungan Allah SWT. Semoga Tesis ini dapat bermanfaat serta menebarkan nilai-nilai kebaikan. Aamiin.

Palembang, 2024

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS.....	iii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iv
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....	v
RINGKASAN.....	vi
SUMARRY.....	vii
MOTTO.....	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xxi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Ruang Lingkup Penelitian.....	3
1.5 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Kegempaan di Daerah Bengkulu.....	5
2.2 Perencanaan Struktur Bangunan Tahan Gempa.....	6
2.3 Base Isolation.....	7
2.4 Derajat Kebebasan.....	8
2.4.1 Persamaan Gerak.....	9
2.4.2 Frekuensi Alami dan Ragam Getar.....	10
2.4.3 Periode Alami dan Rasio Redaman.....	12

2.5	Konsep Desain Struktur <i>Fixed Base</i>	12
2.6	Konsep Desain Struktur Menggunakan Base Isolator.....	13
2.7	Analisis Struktur Terhadap Beban Gempa.....	14
2.8	Dinding Geser.....	14
2.9	<i>Lead Rubber Bearing (LRB)</i>	15
2.10	Pemodelan <i>Equivalent Linier Lead Rubber Bearing</i>	16
2.11	Pemodelan <i>Equivalent Non Linier Lead Rubber Bearing</i>	17
2.11.1	Kekakuan Awal.....	17
2.11.2	Kekakuan Pasca Elastik	18
2.11.3	Kekuatan Leleh	19
2.12	Penelitian-Penelitian Terdahulu Mengenai Base Isolation	19
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		33
3.1	Hipotesis Penelitian.....	33
3.2	Rencana Tempat, Waktu dan Jadwal Penelitian.....	33
3.3	Tahapan Penelitian	34
3.3.1	Desain Struktur	35
3.3.2	Metode Analisis Struktur	43
3.3.3	Analisis dan Pembahasan.....	46
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....		47
4.1.	Data Elemen Struktur	47
4.1.1.	Material	47
4.1.2.	Dimensi Elemen Struktur.....	47
4.2.	Data Pembebanan	49
4.2.1.	Pembebanan Gravitasi.....	49
4.2.2.	Pembebanan Gempa.....	49
4.2.3.	Kombinasi Pembebanan.....	51
4.3.	Analisis Struktur.....	53
4.3.1.	Periode Struktur	53
4.3.2.	Jumlah Ragam dan Partisipasi Massa	55
4.3.3.	Geser Dasar Seismik	57
4.3.4.	Penskalaan Gaya Seismik	59
4.3.5.	Pengecekan Simpangan Antar Tingkat Akibat Beban Gempa	60

4.3.6. Pengecekan Syarat Sistem Ganda	65
4.3.7. Pengecekan Redundansi	67
4.3.8. Pengecekan Ketidakberaturan Horizontal	69
4.3.9. Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal	73
4.3.10. Pengaruh P-Delta	81
4.4. Penulangan Elemen Struktur <i>Fixed Base</i>	84
4.5. Analisis Struktur Menggunakan <i>Base Isolator</i>	89
4.5.1. Desain LRB	89
4.5.2. Hasil Deformasi Target Dengan Respons Spektrum	99
4.5.3. Penentuan Geser Dasar Sistem Isolasi Dasar dan Struktur Atas ...	103
4.5.4. Pengecekan batas nilai V_s	105
4.5.5. Penulangan Elemen Struktur Menggunakan LRB	105
4.6. Hasil Analisis dan Pembahasan	109
4.6.1. Periode Fundamental Struktur	109
4.6.2. Modal Mass Participation Factor	113
4.6.3. Gaya Geser Dasar	115
4.6.4. Simpangan Antar Tingkat	119
4.6.5. Rasio Simpangan Antar Tingkat dan Level Kinerja Struktur	125
4.6.6. Analisis Terhadap Deformasi Vertikal LRB	133
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	151
5.1 Kesimpulan	151
5.2 Saran	153
DAFTAR PUSTAKA	155
LAMPIRAN	xxi

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 2. 1 Kerusakan bangunan akibat gempa bumi	6
Gambar 2.2 Model 2 DOF dari struktur dengan <i>base isolator</i>	9
Gambar 2.3 Model MDOF dari bangunan dengan <i>base isolator</i>	9
Gambar 2.4 Mode shapes dari model struktur	11
Gambar 2.5 Model struktur	12
Gambar 2.6 Skema perilaku struktur tanpa <i>base isolator (fixed base)</i>	13
Gambar 2.7 Skema perilaku struktur menggunakan <i>base isolator</i>	14
Gambar 2.8 Lead Rubber Bearing	16
Gambar 2.9 Kurva gaya-deformasi bilinear dan kekakuan efektif.	16
Gambar 3. 1 Bagan Alir Penelitian	34
Gambar 3. 2 Denah struktur	36
Gambar 3. 3 Variasi ketinggian struktur	36
Gambar 3.4 Struktur gedung 5 lantai	37
Gambar 3.5 Struktur gedung 10 lantai	37
Gambar 3.6 Struktur gedung 15 lantai	38
Gambar 3.7 Tampak Potongan LRB	40
Gambar 3.8 <i>Link property data</i>	41
Gambar 3.9 <i>Link/ support derrectional properties</i> untuk U1	41
Gambar 3.10 <i>Link/ support derrectional properties</i> untuk U2 dan U3	42
Gambar 3.11 <i>Link property data</i>	42
Gambar 3.12 <i>Link/ support derrectional properties</i> untuk U2 dan U3	43
Gambar 3.13 <i>Define respons spectrum function</i>	44
Gambar 3.14 <i>Respons spectrum function definitions – from file</i>	44
Gambar 3.15 <i>Time history definition – user defined</i>	45
Gambar 3.16 <i>Time history matched to respons spektrum</i>	46
Gambar 4. 1 Kurva respons spektrum Kota Bengkulu	50
Gambar 4. 2 Grafik simpangan antar tingkat arah X	63
Gambar 4. 3 Grafik simpangan antar tingkat arah Y	64
Gambar 4. 4 Grafik rasio simpangan antar tingkat arah X	64

Gambar 4. 5 Grafik rasio simpangan antar tingkat arah Y	65
Gambar 4. 6 Grafik pengaruh P-Delta arah x	83
Gambar 4. 7 Grafik pengaruh P-Delta arah y	84
Gambar 4. 8 Konfigurasi peletakan LRB berdasarkan beban aksial maksimum..	90
Gambar 4. 9 Perbandingan periode pada mode 1,2 dan 3.....	110
Gambar 4. 10 Perbandingan periode pada mode 1,2 dan 3.....	111
Gambar 4. 11 Perbandingan periode pada mode 1,2 dan 3.....	111
Gambar 4. 12 Perbandingan MMPF mode 1, 2 dan 3 translasi arah x dan y.....	114
Gambar 4. 13 Hasil MMPF mode 1, 2 dan 3 translasi arah x dan y	114
Gambar 4. 14 Hasil MMPF mode 1, 2 dan 3 translasi arah x dan y	114
Gambar 4. 15 Perbandingan gaya geser arah x dan y struktur 5 lantai.....	116
Gambar 4. 16 Hasil perbandingan gaya geser arah x dan y struktur 10 lantai....	116
Gambar 4. 17 Hasil perbandingan gaya geser arah x dan y struktur 15 lantai....	117
Gambar 4. 18 Grafik perbandingan gaya geser rata-rata arah x dan y.....	118
Gambar 4. 19 Hasil perbandingan simpangan antar tingkat arah x	120
Gambar 4. 20 Grafik simpangan antar tingkat arah y struktur 5 lantai.....	120
Gambar 4. 21 Grafik simpangan antar tingkat arah x struktur 10 lantai.....	121
Gambar 4. 22 Hasil simpangan antar tingkat arah y struktur 10 lantai.....	121
Gambar 4. 23 Grafik simpangan antar tingkat arah x struktur 15 lantai.....	122
Gambar 4. 24 Grafik simpangan antar tingkat arah y struktur 15 lantai.....	123
Gambar 4. 25 Ringkasan grafik simpangan antar tingkat arah x	123
Gambar 4. 26 Ringkasan grafik simpangan antar tingkat arah y	124
Gambar 4. 27 Grafik rasio simpangan antar tingkat arah x struktur 5 lantai.....	126
Gambar 4. 28 Grafik rasio simpangan antar tingkat arah y struktur 5 lantai.....	126
Gambar 4. 29 Grafik rasio simpangan antar tingkat arah x struktur 10 lantai....	127
Gambar 4. 30 Grafik rasio simpangan antar tingkat arah y struktur 10 lantai....	128
Gambar 4. 31 Grafik rasio simpangan antar tingkat arah x struktur 15 lantai....	129
Gambar 4. 32 Grafik rasio simpangan antar tingkat arah x struktur 15 lantai....	129
Gambar 4. 33 Grafik rasio simpangan antar tingkat arah x struktur 15 lantai....	130
Gambar 4. 34 Grafik rasio simpangan antar tingkat arah x struktur 15 lantai....	130
Gambar 4. 35 Hasil perbandingan rasio simpangan antar tingkat	131
Gambar 4. 36 Hasil perbandingan rasio simpangan antar tingkat	132

Gambar 4. 37 Konfigurasi pembagian peletakan LRB	134
Gambar 4. 38 Konfigurasi peletakan LRB dan label LRB	134
Gambar 4. 39 Pengecekan <i>uplift</i> LRB pada Struktur 5 Lantai.....	135
Gambar 4. 40 Pengecekan <i>uplift</i> LRB pada Struktur 10 Lantai.....	136
Gambar 4. 41 Pengecekan <i>uplift</i> LRB pada Struktur 15 Lantai.....	136
Gambar 4. 42 <i>Ultimate Compressive Stress</i>	137
Gambar 4. 43 <i>Ultimate compressive stress</i> LRB pada <i>nodes</i> SW	140
Gambar 4. 44 <i>Ultimate compressive stress</i> LRB pada <i>nodes</i> eksterior	140
Gambar 4. 45 <i>Ultimate compressive stress</i> LRB pada <i>nodes</i> interior.....	141
Gambar 4. 46 <i>Ultimate compressive stress</i> LRB pada <i>nodes</i> SW	141
Gambar 4. 47 <i>Ultimate compressive stress</i> LRB pada <i>nodes</i> eksterior	141
Gambar 4. 48 <i>Ultimate compressive stress</i> LRB pada <i>nodes</i> interior.....	142
Gambar 4. 49 <i>Ultimate compressive stress</i> LRB pada <i>nodes</i> SW	142
Gambar 4. 50 <i>Ultimate compressive stress</i> LRB pada <i>nodes</i> eksterior	142
Gambar 4. 51 <i>Ultimate compressive stress</i> LRB pada <i>nodes</i> interior.....	143
Gambar 4. 52 Pengecekan LRB struktur 5 lantai <i>nodes</i> SW	144
Gambar 4. 53 Pengecekan LRB struktur 5 lantai <i>nodes</i> eksterior	145
Gambar 4. 54 Pengecekan LRB struktur 5 lantai <i>nodes</i> interior	145
Gambar 4. 55 Pengecekan LRB struktur 10 lantai <i>nodes</i> SW	146
Gambar 4. 56 Pengecekan LRB struktur 15 lantai <i>nodes</i> eksterior	147
Gambar 4. 57 Pengecekan LRB struktur 15 lantai <i>nodes</i> interior	147
Gambar 4. 58 Pengecekan LRB struktur 15 lantai <i>nodes</i> SW	148
Gambar 4. 59 Pengecekan LRB struktur 15 lantai <i>nodes</i> eksterior	149
Gambar 4. 60 Pengecekan LRB struktur 15 lantai <i>nodes</i> interior	149

DAFTAR TABEL

Tabel

Tabel 3. 1 Penjadwalan Penelitian	33
Tabel 3. 2 Data ketinggian struktur	36
Tabel 4. 1 Data material beton	47
Tabel 4. 2 Data material baja tulangan.....	47
Tabel 4. 3 Dimensi elemen struktur gedung 5 lantai	48
Tabel 4. 4 Dimensi elemen struktur gedung 10 lantai	48
Tabel 4. 5 Dimensi elemen struktur gedung 15 lantai	48
Tabel 4. 6 Beban gravitasi struktur	49
Tabel 4. 7 Data respons spektra	50
Tabel 4. 8 Data parameter gempa analisis struktur gempa	51
Tabel 4.9 Kombinasi pembebanan.....	52
Tabel 4. 10 Rekapitulasi hasil perhitungan dan analisis periode struktur.....	53
Tabel 4. 11 Rekapitulasi hasil perhitungan dan analisis periode struktur.....	54
Tabel 4. 12 Rekapitulasi hasil perhitungan dan analisis periode struktur.....	54
Tabel 4.13 Jumlah ragam dan partisipasi massa gedung 5 lantai	55
Tabel 4. 14 Jumlah ragam dan partisipasi massa gedung 10 lantai	56
Tabel 4. 15 Jumlah ragam dan partisipasi massa gedung 15 lantai	56
Tabel 4. 16 Partisipasi massa ragam terkombinasi	56
Tabel 4. 17 Penentuan koefisien respons dan gaya geser seismik gedung	58
Tabel 4. 18 Penentuan koefisien respons dan gaya geser seismik gedung	58
Tabel 4. 19 Penentuan koefisien respons dan gaya geser seismik gedung	58
Tabel 4. 20 Penskalaan gaya gedung 5 lantai	59
Tabel 4. 21 Penskalaan gaya gedung 10 lantai	60
Tabel 4. 22 Penskalaan gaya gedung 15 lantai	60
Tabel 4. 23 Penskalaan gaya untuk pemeriksaan simpangan gedung 5 lantai	61
Tabel 4. 24 Penskalaan gaya untuk pemeriksaan simpangan gedung 10 lantai ..	61
Tabel 4. 25 Penskalaan gaya untuk pemeriksaan simpangan gedung 15 lantai ..	61
Tabel 4. 26 Simpangan dan rasio simpangan antar tingkat gedung 5 lantai.....	62

Tabel 4. 27 Simpangan dan rasio simpangan antar tingkat gedung 10 lantai.....	62
Tabel 4. 28 Simpangan dan rasio simpangan antar tingkat gedung 15 lantai.....	63
Tabel 4. 29 Pengecekan sistem ganda bangunan 5 lantai	66
Tabel 4. 30 Pengecekan sistem ganda bangunan 10 lantai	66
Tabel 4. 31 Pengecekan sistem ganda bangunan 15 lantai	66
Tabel 4. 32 Reduksi kekuatan tingkat gedung 5 lantai	67
Tabel 4. 33 Reduksi kekuatan tingkat gedung 10 lantai	68
Tabel 4. 34 Reduksi kekuatan tingkat gedung 15 lantai	68
Tabel 4. 35 Rasio tinggi terhadap panjang dinding geser	69
Tabel 4. 36 Pengecekan ketidakberaturan horizontal tipe 1a dan 1b.....	70
Tabel 4. 37 Pengecekan ketidakberaturan horizontal tipe 1a dan 1b.....	70
Tabel 4. 38 Pengecekan ketidakberaturan horizontal tipe 1a dan 1b.....	71
Tabel 4. 39 Pengecekan ketidakberaturan horizontal tipe 1a dan 1b.....	71
Tabel 4. 40 Pengecekan ketidakberaturan horizontal tipe 1a dan 1b.....	72
Tabel 4. 41 Pengecekan ketidakberaturan horizontal tipe 1a dan 1b.....	72
Tabel 4. 42 Pengecekan ketidakberaturan vertikal tipe 1a.....	74
Tabel 4. 43 Pengecekan ketidakberaturan vertikal tipe 1a.....	74
Tabel 4. 44 Pengecekan ketidakberaturan vertikal tipe 1b	75
Tabel 4. 45 Pengecekan ketidakberaturan vertikal tipe 1b	75
Tabel 4. 46 Pengecekan ketidakberaturan vertikal tipe 1a.....	75
Tabel 4. 47 Pengecekan ketidakberaturan vertikal tipe 1a.....	76
Tabel 4. 48 Pengecekan ketidakberaturan vertikal tipe 1b	76
Tabel 4. 49 Pengecekan ketidakberaturan vertikal tipe 1b	77
Tabel 4. 50 Pengecekan ketidakberaturan vertikal tipe 1a	77
Tabel 4. 51 Pengecekan ketidakberaturan vertikal tipe 1a.....	78
Tabel 4. 52 Pengecekan ketidakberaturan vertikal tipe 1b	78
Tabel 4. 53 Pengecekan ketidakberaturan vertikal tipe 1b	79
Tabel 4. 54 Pengecekan ketidakberaturan berat gedung 5 lantai.....	79
Tabel 4. 55 Pengecekan ketidakberaturan berat gedung 10 lantai.....	80
Tabel 4. 56 Pengecekan ketidakberaturan berat gedung 15 lantai.....	80
Tabel 4. 57 Pengaruh P-Delta gedung 5 lantai.....	81
Tabel 4. 58 Pengaruh P-Delta gedung 10 lantai.....	81

Tabel 4. 59 Pengaruh P-Delta gedung 15 lantai.....	82
Tabel 4. 60 Ringkasan penulangan elemen struktur gedung 5 lantai.....	85
Tabel 4. 61 Ringkasan penulangan elemen struktur gedung 10 lantai.....	86
Tabel 4. 62 Ringkasan penulangan elemen struktur gedung 15 lantai.....	87
Tabel 4. 63 Tabel beban aksial maksimum akibat beban servis	90
Tabel 4. 64 Parameter awal desain LRB struktur gedung 5,10 dan 15 lantai.....	91
Tabel 4. 65 Perhitungan desain LRB 5 lantai	92
Tabel 4. 66 Perhitungan desain LRB 10 lantai	92
Tabel 4. 67 Perhitungan desain LRB 15 lantai	93
Tabel 4. 68 Perhitungan diameter LRB 5 lantai.....	94
Tabel 4. 69 Perhitungan diameter LRB 10 lantai.....	94
Tabel 4. 70 Perhitungan diameter LRB 15 lantai.....	94
Tabel 4. 71 Hasil <i>nominal long term</i> LRB dan beban aksial syarat.....	95
Tabel 4. 72 Hasil <i>nominal long term</i> LRB dan beban aksial syarat.....	95
Tabel 4. 73 Hasil <i>nominal long term</i> LRB dan beban aksial syarat.....	96
Tabel 4. 74 Hasil karakteristik LRB struktur gedung 5 Lantai	96
Tabel 4. 75 Hasil karakteristik LRB struktur gedung 10 Lantai	97
Tabel 4. 76 Hasil karakteristik LRB struktur gedung 15 Lantai	97
Tabel 4. 77 Hasil karakteristik LRB lanjutan struktur gedung 5 lantai	98
Tabel 4. 78 Hasil karakteristik LRB lanjutan struktur gedung 10 lantai	98
Tabel 4. 79 Hasil karakteristik LRB lanjutan struktur gedung 15 lantai	99
Tabel 4. 80 Deformasi LRB pada struktur gedung 5 lantai	100
Tabel 4. 81 Deformasi LRB pada struktur gedung 10 lantai	101
Tabel 4. 82 Deformasi LRB pada struktur gedung 15 lantai	102
Tabel 4. 83 Gaya geser dinamik.....	103
Tabel 4. 84 Gaya geser statik	103
Tabel 4. 85 gaya geser V_s dinamik.....	104
Tabel 4. 86 Hasil perhitungan batas nilai V_s	105
Tabel 4. 87 Ringkasan penulangan elemen struktur 5 lantai	106
Tabel 4. 88 Ringkasan penulangan elemen struktur 10 lantai	107
Tabel 4. 89 Ringkasan penulangan elemen struktur 15 lantai	108
Tabel 4. 90 Periode fundamental struktur arah x	110

Tabel 4. 91 Periode fundamental struktur arah y	110
Tabel 4. 92 Hasil MMPF mode 1, 2 dan 3 translasi arah x.....	113
Tabel 4. 93 Hasil MMPF mode 1, 2 dan 3 translasi arah y.....	113
Tabel 4. 94 Perbandingan gaya geser dasar struktur 5 lantai.....	115
Tabel 4. 95 Perbandingan gaya geser dasar struktur 10 lantai.....	116
Tabel 4. 96 Perbandingan gaya geser dasar struktur 15 lantai.....	117
Tabel 4. 97 Hasil perbandingan simpangan antar tingkat struktur 5 lantai.....	119
Tabel 4. 98 Hasil perbandingan simpangan antar tingkat struktur 10 lantai.....	121
Tabel 4. 99 Hasil perbandingan simpangan antar tingkat struktur 15 lantai.....	122
Tabel 4. 100 Hasil rasio simpangan antar tingkat dan level kinerja struktur.....	126
Tabel 4. 101 Hasil rasio simpangan antar tingkat dan level kinerja struktur.....	127
Tabel 4. 102 Hasil rasio simpangan antar tingkat dan level kinerja struktur.....	128
Tabel 4. 103 Hasil perbandingan rasio simpangan antar tingkat rata-rata.....	131
Tabel 4. 104 Hasil Pengecekan <i>uplift</i> LRB pada Struktur 5 Lantai	135
Tabel 4. 105 Hasil Pengecekan <i>uplift</i> LRB pada Struktur 10 Lantai	135
Tabel 4. 106 Hasil Pengecekan <i>uplift</i> LRB pada Struktur 15 Lantai	136
Tabel 4. 107 Parameter LRB struktur 5 Lantai	138
Tabel 4. 108 Parameter LRB struktur 10 Lantai	138
Tabel 4. 109 Parameter LRB struktur 15 Lantai	139
Tabel 4. 110 Pengecekan LRB struktur 5 lantai <i>nodes</i> SW	144
Tabel 4. 111 Pengecekan LRB struktur 5 lantai <i>nodes</i> eksterior	144
Tabel 4. 112 Pengecekan LRB struktur 5 lantai <i>nodes</i> interior	145
Tabel 4. 113 Pengecekan LRB struktur 10 lantai <i>nodes</i> SW	146
Tabel 4. 114 Pengecekan LRB struktur 10 lantai <i>nodes</i> eksterior	146
Tabel 4. 115 Pengecekan LRB struktur 10 lantai <i>nodes</i> interior	147
Tabel 4. 116 Pengecekan LRB struktur 15 lantai <i>nodes</i> SW	148
Tabel 4. 112 Pengecekan LRB struktur 15 lantai <i>nodes</i> eksterior	148
Tabel 4. 118 Pengecekan LRB struktur 5 lantai <i>nodes</i> eksterior	149

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
LAMPIRAN 1 Penjabaran Rumus Desain LRB.....	xxi
1. Menentukan Beban Vertikal Akibat Kombinasi Beban Servis.....	xxi
2. Menentukan Periode dan Kekakuan Asumsi Awal LRB.....	xxi
3. Menentukan Perpindahan Lateral Asumsi	xxi
4. <i>Preliminary</i> Desain LRB.....	xxiv
5. Menentukan Nilai Beban Vertikal Struktur <i>Fixed Base</i>	xxvi
6. Pemilihan LRB dari Supplier.....	xxvi
7. Perhitungan Nilai Kekakuan dan Redaman Efektif	xxvi
LAMPIRAN 2 Katalog Diameter LRB dari <i>Bridgestone</i>	xxviii
LAMPIRAN 3 Tabel Prosedur Analisis	xxxii
1. Tabel Prosedur Analisis	xxxii
LAMPIRAN 4 Tabel Output Pengambilan Gaya-Gaya Dalam pada ETABS.	xxxiii
1. Periode Struktur dan Jumlah Ragam serta Partisipasi Massa	xxxiii
2. Geser Seismik dan Penskalaan Gaya	xxxiv
3. Pengecekan Simpangan Antar Tingkat	xxxvi
4. Pengecekan Syarat Sistem Ganda	xxxvii
5. Pengecekan Redundansi dan Ketidakberaturan Struktur	xxxviii
6. Pengambilan Gaya Dalam Balok	xli
7. Pengambilan Gaya Dalam Kolom.....	xli
8. Pengambilan Gaya Dalam Pelat.....	xlii
9. Pengambilan Gaya Dalam Dinding Geser	xlii
LAMPIRAN 5 Proses Pengambilan Data Gempa	xliii

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia termasuk negara dengan risiko gempa bumi yang tinggi. Letak Indonesia berada pada pertemuan lempeng Eurasia, Indo-Australia, dan Pasifik yang menjadikan Indonesia rawan bencana gempa bumi. Provinsi Bengkulu termasuk salah satu daerah di Indonesia yang rawan terjadi gempa bumi karena terletak pada zona subduksi yang merupakan pertemuan dua lempeng tektonik, yaitu Lempeng Eurasia dan Lempeng Indo-Australia. Berdasarkan data Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika disingkat BMKG, Bengkulu memiliki intensitas yang tinggi terjadi gempa bumi. Beberapa gempa bumi dengan skala besar di Bengkulu menyebabkan banyak kerusakan pada bangunan hingga menyebabkan korban jiwa pada tahun 2000 dan 2007 dengan magnitudo 7,3 dan 7,9 (Setiyono, dkk., 2019). Bahaya dan dampak buruk yang bisa terjadi akibat gempa bumi menjadi pertimbangan perlu dilakukannya pembangunan infrastruktur di Bengkulu dengan metode rancangan bangunan tahan gempa agar bisa meminimalisir kerusakan akibat gempa bumi dan tidak terjadi kerugian yang besar terutama korban jiwa.

Base isolation atau dikenal sebagai *seismic isolation* adalah salah satu metode proteksi seismik sebagai upaya untuk melindungi struktur bangunan dari kerusakan yang bisa disebabkan oleh gempa bumi (Apostolidi, dkk., 2021). *Base isolation* merupakan metode memisahkan gerakan struktur dari guncangan tanah dengan menggunakan *base isolator* agar dapat mengurangi gaya pada struktur atas dan sebagai alternatif yang matang dan layak untuk diterapkan pada bangunan gedung dan struktur khusus lainnya (Makris, 2019). Struktur tanpa *base isolator* disebut sebagai struktur *fixed base* memiliki tingkat kinerja yang lebih rendah dibandingkan dengan struktur yang menggunakan *base isolator* (Cancellara dan De Angelis, 2016). Salah satu jenis *base isolation* kategori bantalan elastomer adalah *base isolator type lead rubber bearing* disingkat LRB. *Base isolator* tersebut terbentuk dari pelat baja di antara beberapa lapisan karet dan memiliki inti

timbangan di tengahnya. Inti timbal memberikan gaya pemusatan kembali dan meningkatkan kapasitas disipasi energi bantalan saat terjadi deformasi lateral, sehingga LRB bisa diterapkan secara optimal pada struktur yang beraturan.

Saat ini peraturan teknis perencanaan struktur dengan tegas mengharuskan bahwa struktur atas bangunan yang menggunakan *base isolator* harus dirancang sama dengan konsep struktur tanpa *base isolator*. Penggunaan sistem ganda yaitu kombinasi sistem rangka pemikul pemikul momen khusus dan dinding geser bisa dilakukan untuk dapat mengoptimalkan kinerja struktur atas bangunan. Dinding geser merupakan alternatif yang bisa dilakukan dalam merencanakan struktur gedung tahan gempa. Dinding geser mampu mempengaruhi kekakuan pada struktur gedung, kekuatan struktur, dan mampu mengatasi beban lateral akibat gempa bumi. Penerapan dinding geser telah banyak digunakan pada bangunan bertingkat menengah dan tinggi (Cando, dkk., 2020).

Penerapan *base isolator* pada struktur yang menggunakan tanah keras menunjukkan kinerja reduksi seismik yang baik dibandingkan pada gerakan tanah periode panjang. Pada tanah periode panjang lebih sensitif terhadap perubahan struktur kekakuan dan energi yang dihasilkan oleh gerakan tanah periode panjang memiliki dampak yang lebih besar pada struktur yang menggunakan *base isolator* (Li, dkk., 2021). Selain itu, penerapan *base isolation* sudah diterapkan pada beberapa gedung di Indonesia seperti pada Gedung Gudang Garam Tower 25 lantai yang berada di Jakarta, Hotel Ibis 11 lantai dan kantor Gubernur Sumatera Barat 4 lantai di Kota Padang. Ketiga gedung tersebut menggunakan *base isolator type rubber bearing* (Hussain, dkk., 2012; Glassey, dkk., 2017; Pranoto, dkk., 2011). Lokasi dan ketinggian pada gedung yang sudah direalisasikan menggunakan *base isolation* menjadi pertimbangan untuk mengetahui pengaruh ketinggian terhadap efektifitas kinerja struktur gedung.

Berdasarkan uraian dan pertimbangan yang sudah dilakukan, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh ketinggian struktur terhadap kinerja seismik struktur gedung beton bertulang sistem ganda menggunakan *base isolator type LRB* yang diasumsikan di desain pada tanah keras daerah Kota Bengkulu.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Bagaimana respons struktur gedung beton bertulang *fixed base* dan menggunakan *base isolator type* LRB?
2. Bagaimana kinerja struktur gedung beton bertulang *fixed base* dan menggunakan *base isolator type* LRB?
3. Bagaimana Pengaruh ketinggian struktur terhadap kinerja struktur gedung beton bertulang *fixed base* dan menggunakan *base isolator type* LRB?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini sebagai berikut :

1. Membandingkan respons struktur gedung beton bertulang struktur *fixed base* dan menggunakan *base isolator type* LRB
2. Membandingkan kinerja struktur gedung beton bertulang *fixed base* dan menggunakan *base isolator type* LRB
3. Menganalisis pengaruh ketinggian struktur terhadap kinerja struktur gedung beton bertulang *fixed base* dan menggunakan *base isolator type* LRB

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Perencanaan struktur mengacu pada SNI 1726:2019, SNI 1727:2020 dan SNI 2847:2019.
2. Struktur gedung didesain sebagai gedung dengan kategori resiko tertinggi yaitu kategori kelas IV.
3. Penelitian ini menggunakan *base isolator type* LRB dari *Bridgestone*.
4. Pemodelan dan analisis menggunakan bantuan perangkat lunak ETABS.
5. Menggunakan konfigurasi struktur beraturan dengan variasi ketinggian bangunan gedung 5, 10 dan 15 lantai, dengan ketinggian tiap lantai 3,8 meter.
6. Respons struktur pada penelitian ini meliputi jumlah ragam, partisipasi massa, periode fundamental struktur, geser dasar, penskalaan gaya, pengecekan simpangan antar tingkat akibat beban gempa, pengecekan syarat sistem ganda, pengecekan redundansi, pengecekan ketidakberaturan horizontal, pengecekan ketidakberaturan vertikal dan pengaruh P-Delta.

7. Hasil kinerja struktur gedung berupa level kinerja struktur hasil analisis menggunakan analisis nonlinier riwayat waktu.

1.5 Sistematika Penulisan

BAB I PENDAHULUAN

Pendahuluan mencakup latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bagian tinjauan pustaka berisi tentang teori-teori yang digunakan sebagai referensi penelitian ini. Selain itu, pada tinjauan pustaka mencakup penelitian-penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan.

BAB III METODE PENELITIAN

Metode penelitian menguraikan tentang hipotesis penelitian yang didapat berdasarkan penelitian-penelitian terdahulu. Selain itu, dalam BAB III membahas langkah dan cara yang akan dilakukan dalam analisis untuk mendapatkan hasil dan kesimpulan.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan dalam BAB IV menguraikan data, perhitungan, hasil dan pembahasan yang dilakukan untuk mendapatkan kesimpulan dari analisis yang dilakukan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan dari BAB IV maka didapatkan kesimpulan yang diuraikan pada BAB V. Selain itu, pada BAB V berisikan saran yang bertujuan untuk dapat mengoptimalkan dan memperdalam penelitian selanjutnya mengenai topik yang dibahas dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Adi, A. W., Shalih, O., Z. Shabrina, F., Rizqi, A., S. Putra, A., Karimah, R., Eveline, F., Alfian, A., Syauqi, Septian, R. T., Widiastomo, Y., Bagaskoro, Y., Dewi, A. N., Rahmawati, I., & Seniarwan. (2021). *Indeks Risiko Bencana Indonesia Tahun 2021*. Badan Nasional Penanggulangan Bencana.
- Andalas, G., Suyadi, & Husni, H. R. (2016). Analisis Layout Shearwall terhadap Perilaku Struktur Gedung. *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain (JRSD)*, 1(1), 491–502.
- Apostolidi, E., Dritsos, S., Giarlelis, C., Jara, J., Sutcu, F., Takeuchi, T., & White, J. (2021). *Seismic Isolation and Response Control* (A. Lampropoulos (ed.)). Internasional Association for Bridge and Structural Engineering (IABSE). <https://doi.org/https://doi.org/10.2749/sed019>
- Aydan, Ö., Imamura, F., Suzuki, T., Febrin, I., Hakam, A., Mera, M., & Devi, P. R. (2007). *A Reconnaissance Report On The Bengkulu Eartquake Of September 12, 2007*. http://www.jsce.or.jp/library/eq_repo/Vol3/07/20070912report.pdf
- Behzad Talaeitaba, S., Safaie, M., & Zamani, R. (2021). Development and application of a new base isolation system in low-rise buildings. *Structures*, 34(July), 1684–1709. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2021.07.077>
- Budiono, B., & Setiawan, A. (2014). *Studi Komparasi Sistem Isolasi Dasar High-Damping Rubber Bearing dan Friction Pendulum System pada Bangunan Beton Bertulang Studi Komparasi Sistem Isolasi Dasar High-Damping Rubber Bearing dan Friction Pendulum System pada Bangunan Beton Bertulang*. 21(3). <https://doi.org/10.5614/jts.2014.21.3.1>
- Cancellara, D., & De Angelis, F. (2016). Assessment and dynamic nonlinear analysis of different base isolation systems for a multi-storey RC building irregular in plan. *Computers and Structures*, 180, 74–88.

<https://doi.org/10.1016/j.compstruc.2016.02.012>

Cancellara, D., & De Angelis, F. (2019). Dynamic assessment of base isolation systems for irregular in plan structures: Response spectrum analysis vs nonlinear analysis. *Composite Structures*, 215(February), 98–115. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2019.02.013>

Cando, M. A., Hube, M. A., Parra, P. F., & Arteta, C. A. (2020). Effect of stiffness on the seismic performance of code-conforming reinforced concrete shear wall buildings. *Engineering Structures*, 219(April), 110724. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.110724>

Chimamphant, S., & Kasai, K. (2016). Comparative response and performance of base-isolated and fixed-base structures Sarun. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 45, 5–27. <https://doi.org/10.1002/eqe.2612>

Chopra, A. K. (2012). *Dynamich Of Structures Theory and Applications to Earthquake Engineering* (Fourth Edi).

Darwish, Q. A., & Bhandari, M. (2021). Seismic response reduction of high rise steel-concrete composite buildings equipped with base isolation system. *Materials Today: Proceedings*, 59, 516–524. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.11.560>

Deringöl, A. H., & Güneyisi, E. M. (2020). Single and combined use of friction-damped and base-isolated systems in ordinary buildings. *Journal of Constructional Steel Research*, 174. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2020.106308>

EERI Special Earthquake Report. (2007). *Observations on the Southern Sumatra Earthquakes of September 12-13 , 2007* (Nomor November). https://eeri.org/lfe/pdf/indonesia_south_sumatra_eeri_report.pdf

Effendi, F., Chandra, Y., & Akbar, S. J. (2017). Waktu Getar Alami Fundamental. *Teras Jurnal*, 7(2), 274–283.

- Fakih, M., Hallal, J., Darwich, H., & Damerji, H. (2021). Effect of lead-rubber bearing isolators in reducing seismic damage for a high-rise building in comparison with normal shear wall system. *SDHM Structural Durability and Health Monitoring*, 15(3), 247–260. <https://doi.org/10.32604/SDHM.2021.015174>
- George, & Gregory. (2019). *Concrete Building In Seismic Regions* (Second Edi). CRC Press.
- Ghasemi, M., & Talaeitaba, S. B. (2020). On the effect of seismic base isolation on seismic design requirements of RC structures. *Structures*, 28(May), 2244–2259. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2020.09.063>
- Ghobarah, A., Saatcioglu, M., & Nistor, I. (2006). *The impact of the 26 December 2004 earthquake and tsunami on structures and infrastructure*. 28(December 2004), 312–326. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2005.09.028>
- Glasse, P., Satyarno, I., & Mada, U. G. (2017). *StIRRRD : A disaster risk reduction Program in Indonesia StIRRRD : A disaster risk reduction Program in Indonesia. August 2016*.
- Govardhan, & Paul, D. K. (2016). Effect of Lead in Elastomeric Bearings for Structures Located in Seismic Region. *Procedia Technology*, 25(Raerest), 146–153. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2016.08.091>
- Guo, W., Guo, L., Zhai, Z., & Li, S. (2022). Seismic performance assessment of a super high-rise twin-tower structure connected with rotational friction negative stiffness damper and lead rubber bearing. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 152(August 2021), 107039. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2021.107039>
- Habib, A., AL Hour, A., & Yildirim, U. (2021). Comparative study of base-isolated irregular RC structures subjected to pulse-like ground motions with low and high PGA/PGV ratios. *Structures*, 31(February), 1053–1071. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2021.02.021>

- Haque, N., Bhuiyan, A. R., & Strength, L. (2013). *Seismic Response Analysis Of base Isolated Building : Effect Of Lead Rubber Bearing Characteristics*. January.
- Hussain, S., Angeles, L., Alhamaydeh, M., Aly, N. E., & Power, B. (2012). *Jakarta 's First Seismic-Isolated Building - A 25 Story Tower Jakarta 's First Seismic -Isolated Building - A 25 Story Tower*. January.
- Imran, I., Siringoringo, D. M., & Michael, J. (2021). Seismic performance of reinforced concrete buildings with double concave friction pendulum base isolation system: case study of design by Indonesian code. *Structures*, 34(April), 462–478. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2021.07.084>
- Kazeminezhad, E., Kazemi, M. T., & Mirhosseini, S. M. (2020). Modified procedure of lead rubber isolator design used in the reinforced concrete building. *Structures*, 27(February), 2245–2273. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2020.07.056>
- Kheyroddin, A., Arabsarhangi, R., Shabani, A., & Kioumars, M. (2022). ScienceDirect Optimal placement of coupling elements of RC shear walls using endurance time method. *Procedia Structural Integrity*, 42(2019), 210–217. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2022.12.026>
- Li, C., Chang, K., Cao, L., & Huang, Y. (2021). Performance of a nonlinear hybrid base isolation system under the ground motions. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 143(January), 106589. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2021.106589>
- Li, F., Wang, L., & Wu, Y. (2021). Seismic response reduction analysis of large chassis base-isolated structure under long-period ground motions. *Earthquake Research Advances*, 1(2), 100026. <https://doi.org/10.1016/j.eqrea.2021.100026>
- Lu, X., Wang, D., & Wang, S. (2016). Investigation of the seismic response of high-rise buildings supported on tension-resistant elastomeric isolation bearings. \.

<https://doi.org/10.1002/eqe>

- Makris, N. (2019). Seismic isolation: Early history. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 48(2), 269–283. <https://doi.org/10.1002/eqe.3124>
- Menga, N., Bottiglione, F., & Carbone, G. (2019). The nonlinear dynamic behavior of a Rubber-Layer Roller Bearing (RLRB) for vibration isolation. *Journal of Sound and Vibration*, 463, 114952. <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2019.114952>
- Micozzi, F., Scozzese, F., Ragni, L., & Dall'Asta, A. (2022). Seismic reliability of base isolated systems: sensitivity to design choices. *Engineering Structures*, 256(February), 114056. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2022.114056>
- Mkrtychev, O. V., Dzhinchvelashvili, G. A., & Bunov, A. A. (2014). Study of lead rubber bearings operation with varying height buildings at earthquake. *Procedia Engineering*, 91(TFoCE), 48–53. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.010>
- Murota, N., Suzuki, S., Mori, T., Wakishima, K., Sadan, B., Tuzun, C., Sutcu, F., & Erdik, M. (2021). Performance of high-damping rubber bearings for seismic isolation of residential buildings in Turkey. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 143(August 2020), 106620. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2021.106620>
- Naeim, F., & Kelly, J. M. (1999). Design of Seismic Isolated Structures: From Theory to Practice. In *Earthquake Spectra*.
- Nguyen, X. D., & Guizani, L. (2021). Analytical and numerical investigation of natural rubber bearings incorporating U-shaped dampers behaviour for seismic isolation. *Engineering Structures*, 243(January), 112647. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.112647>
- Ozer, E., Inel, M., & Cayci, B. T. (2022). Seismic behavior of LRB and FPS type isolators considering torsional effects. *Structures*, 37(December 2021), 267–283. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.01.011>

- Pérez-Rocha, L. E., Avilés-López, J., & Tena-Colunga, A. (2021). Base isolation for mid-rise buildings in presence of soil-structure interaction. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, *151*(August 2020). <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2021.106980>
- Pranoto, S., Sentosa, S., Kayo P., K., K. S., Fauzan, Ermiza, Z., & Antoni, S. (2011). *Lessons Learned Rehabilitation and Reconstruction*. Technical Support Team of The Rehabilitation and Reconstruction, National Agency for Disaster Management.
- Pribadi, K. S., Abduh, M., Wirahadikusumah, R. D., Hanifa, N. R., Irsyam, M., Kusumaningrum, P., & Puri, E. (2021). International Journal of Disaster Risk Reduction Learning from past earthquake disasters : The need for knowledge management system to enhance infrastructure resilience in Indonesia. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, *64*(June), 102424. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2021.102424>
- Ryan, K. L., Kelly, J. M., & Chopra, A. K. (2005). Nonlinear Model for Lead–Rubber Bearings Including Axial-Load Effects. *Journal of Engineering Mechanics*, *131*(12), 1270–1278. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9399\(2005\)131:12\(1270\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9399(2005)131:12(1270))
- Setiawan, A. (2014). *Studi Komparasi Sistem Isolasi Dasar High - Damping Rubber Bearing Dan Friction Pendulum System Pada Bangunan Beton Bertulang*. Institut Teknologi Bandung.
- Setiyono, U., Gunawan, I., Priyobudi, Yatimantoro, T., T. R., I., Ramdhan, M., Hidayanti, Anggraini, S., H.R., R., Hawati, P., S. D., Y., M. A., J., Apriani, M., Harvan, M., Simangunsong, G., & Kriswinarso, T. (2019). *Katalog Gempabumi signifikan dan merusak 1821-2018*. Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. <https://cdn.bmkg.go.id/Web/Katalog-Gempabumi-Signifikan-dan-Merusak-1821-2018.pdf>
- Sheikh, H., Van Engelen, N. C., & Ruparathna, R. (2022). A review of base

- isolation systems with adaptive characteristics. *Structures*, 38(March), 1542–1555. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.02.067>
- Shiravand, M. R., Ketabdari, H., & Rasouli, M. (2022). Optimum arrangement investigation of LRB and FPS isolators for seismic response control in irregular buildings. *Structures*, 39(March), 1031–1044. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.03.070>
- Shoaei, P., & Mahsuli, M. (2019). Reliability-based design of steel moment frame structures isolated by lead-rubber bearing systems. *Structures*, 20(July), 765–778. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2019.06.020>
- Shoaei, P., Tahmasebi Orimi, H., & Zahrai, S. M. (2018). Seismic reliability-based design of inelastic base-isolated structures with lead-rubber bearing systems. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 115(September), 589–605. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2018.09.033>
- Sunardjo, Gunawan, M. T., & Pribadi, S. (2012). *Gempabumi Edisi Populer* (Cetakan 2). Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.
- Ulza, A. (2021). *Teori dan Praktik Evaluasi Struktur Beton Bertulang Berbasis Desain Kinerja*. Deepublish.
- Villaverde, R. (2009). *Fundamental Concepts of Earthquake Engineering*. CRC Press.
- Wang, S. J., Lin, W. C., Chiang, Y. S., & Hwang, J. S. (2019). Mechanical behavior of lead rubber bearings under and after nonproportional plane loading. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 48(13), 1508–1531. <https://doi.org/10.1002/eqe.3211>
- Zeng, Y., Pan, P., Cao, Y., & He, Z. (2021). Shear deformation detection in smart rubber bearing (SRB) using active sensing method. *Engineering Structures*, 242(January), 112573. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.112573>