

SKRIPSI

**STUDI EFEKTIVITAS SISTEM ISOLASI DASAR TIPE
DOUBLE FRICTION PENDULUM PADA BANGUNAN
BETON BERTULANG SISTEM GANDA**



ELBERT ADELWIN

NPM: 6101801159

PEMBIMBING: Lidya Fransisca Tjong, Ir., M.T.

KO – PEMBIMBING: Liyanto Eddy, Ph.D.

UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X/2021)
BANDUNG
JANUARI 2022

SKRIPSI

STUDI EFEKTIVITAS SISTEM ISOLASI DASAR TIPE *DOUBLE FRICTION PENDULUM* PADA BANGUNAN BETON BERTULANG SISTEM GANDA



ELBERT ADELWIN

NPM: 6101801159

PEMBIMBING: Lidya Fransisca Tjong, Ir., M.T.

**KO-
PEMBIMBING:** Liyanto Eddy, Ph.D.

PENGUJI 1: Dr. Johannes Adhijoso Tjondro

PENGUJI 2: Helmy Hermawan Tjahjanto, Ph.D.

UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X/2021)
BANDUNG
JANUARI 2022

PERNYATAAN

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

Nama : Elbert Adelwin

NPM : 6101801159

Program Studi : Teknik Sipil

Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan

Menyatakan bahwa skripsi / tesis / disertasi dengan judul:

Studi Efektifitas Sistem Isolasi Dasar Tipe *Double Friction Pendulum* Pada Bangunan Beton Bertulang Sistem Ganda 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: 10 Januari 2022



Elbert Adelwin

STUDI EFEKTIVITAS SISTEM ISOLASI DASAR TIPE *DOUBLE FRICTION PENDULUM* PADA BANGUNAN BETON BERTULANG SISTEM GANDA

**Elbert Adelwin
NPM: 6101801159**

**Pembimbing: Lidya Fransisca Tjong, Ir., M.T.
Ko-Pembimbing: Liyanto Eddy, Ph.D.**

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

**BANDUNG
JANUARI 2022**

ABSTRAK

Indonesia merupakan negara yang rentan terhadap gempa bumi karena terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik. Salah satu metode alternatif untuk mengatasi kerusakan akibat gempa adalah menggunakan sistem isolasi dasar. *Double Friction Pendulum System* merupakan salah satu inovasi baru sistem isolasi dasar yang berguna untuk mitigasi bencana gempa. Pada skripsi ini, dilakukan analisis perbandingan bangunan gedung fixed base dan yang menggunakan *base isolation (double friction pendulum system)* dengan dua nilai koefisien gesek yang berbeda. Tujuan dari studi ini adalah mengetahui efektivitas *double friction pendulum system* dan mengetahui koefisien gesek optimal pada bangunan gedung beton bertulang sistem ganda 20 lantai. Digunakan tiga pasang Percepatan rekaman gempa dalam analisis non linier riwayat waktu yaitu gempa Sitka tahun 1972, gempa Landers tahun 1992, dan Gempa Chi-Chi tahun 1999. Parameter-parameter yang akan dibandingkan adalah kinerja struktur seperti gaya geser dasar, percepatan lantai atap, perpindahan maksimum dari alat, dan rasio simpangan antar tingkat.

Kata kunci: *Base isolation, Double friction pendulum system, Analisis Respons Spektrum, Analisis non linier riwayat waktu.*

STUDY OF THE EFFECTIVENESS OF DOUBLE FRICTION PENDULUM SYSTEM ON THE PERFORMANCE OF DUAL SYSTEM REINFORCED CONCRETE BUILDING

**Elbert Adelwin
NPM: 6101801159**

**Advisor: Lidya Fransisca Tjong, Ir., M.T.
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

Indonesia is a country that is vulnerable to earthquakes because of it is located at the meeting of three major tectonic plates. One of the preventive methods to overcome earthquake damage is using base isolation. Double friction pendulum system is one of the new innovations of base isolation system that is useful for earthquake disaster mitigation. In this study, a comparative analysis of fixed base building and buildings using base isolation (double friction pendulum system) with 2 different friction coefficients. The purpose of this study is to determine the effectiveness of the double friction pendulum system and to determine the optimal coefficient of friction in a 20-story dual system reinforced concrete buildings. Three pairs of earthquake recordings were used in the non linier time history analysis, namely the Sitka 1972, Landers 1992, and Chi-Chi 1999. The parameters that will be compared are the structural performance such as base shear force, top story acceleration, maximum displacement, and story drift ratio.

Keywords: Base isolation, Double friction pendulum system, Response spectrum analysis, Nonlinear time history analysis.

PRAKATA

Puji Syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas kasih karunia, berkat, dan anugerah-Nya yang senantiasa memberikan kesehatan, akal budi, dan pemahaman yang baik sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul Studi Efektivitas Sistem Isolasi Dasar Tipe *Double Friction Pendulum* Pada Bangunan Beton Bertulang Sistem Ganda. Skripsi ini merupakan salah satu syarat akademik untuk memperoleh gelar sarjana di Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil, Universitas Katolik Parahyangan.

Selama proses penulisan skripsi ini, penulis mengalami banyak hambatan baik yang bersifat fisik maupun emosional. Namun, penulis sangat bersyukur atas kehadiran orang-orang yang sangat membantu penulis untuk mengatasi berbagai hambatan tersebut. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Seluruh anggota keluarga yang telah memberikan dukungan dalam bentuk doa dan kasih sayang bagi penulis sehingga skripsi ini dapat selesai di tengah-tengah masa pandemi.
2. Ibu Lidya Fransisca Tjong, Ir., M.T., selaku dosen pembimbing yang dengan sabar membimbing, meluangkan waktu, dan pikiran untuk membimbing penulis dalam penyusunan skripsi ini.
3. Bapak Liyanto Eddy, Ph.D. selaku dosen ko-pembimbing yang dengan sabar membimbing, meluangkan waktu untuk berdiskusi, dan memberikan saran selama penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Dr. Johannes Adhijoso Tjondro dan Bapak Helmy Hermawan Tjahjanto, Ph.D. selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik dan saran yang berguna agar skripsi ini menjadi lebih baik.
5. Seluruh dosen dan asisten dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan yang telah memberikan ilmu pengetahuan kepada penulis.

6. Jennifer Margaretha selaku sahabat penulis yang telah meluangkan waktu untuk doa bersama dan menghibur penulis ketika mengalami hambatan dalam penyusunan skripsi.
7. Laurensius Ivan Filigon dan Taufan Rahman Santoso yang telah menjadi teman seperjuangan dan teman diskusi bersama selama penulisan skripsi ini berlangsung.
8. Tan Leonardo selaku teman penulis yang sudah lulus namun tetap membantu dalam proses penyusunan skripsi.
9. Sipil Unpar 2018 dan Masyarakat Sipil yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa terdapat banyak kekurangan pada penulisan skripsi ini. Oleh sebab itu, penulis bersedia untuk menerima kritik dan saran yang membangun agar kedepannya dapat menjadi lebih baik lagi. Penulis berharap, skripsi ini dapat memberikan manfaat untuk mahasiswa Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan lain dan pembaca pada umumnya.

Bandung, 9 Januari 2022



Elbert Adelwin

6101801159

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
PRAKATA	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xi
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1-1
1.1 Latar Belakang	1-1
1.2 Inti Permasalahan	1-3
1.3 Tujuan Penulisan	1-3
1.4 Pembatasan Masalah	1-3
1.5 Metode Penelitian	1-8
1.6 Sistematika Penulisan.....	1-8
1.7 Diagram Alir	1-10
BAB 2 DASAR TEORI	2-1
2.1 Konsep <i>Base Isolation</i>	2-1
2.2 Tipe <i>Base Isolation</i>	2-1
2.2.1 Elastomeric Bearings	2-2
2.2.2 <i>Sliding Isolation Systems</i>	2-4
2.3 Pemodelan <i>Base Isolation</i>	2-5
2.3.1 Preliminary Desain Friction Pendulum System.....	2-5
2.3.2 Properti <i>Friction Isolator</i> pada ETABS.....	2-7
2.4 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.....	2-9

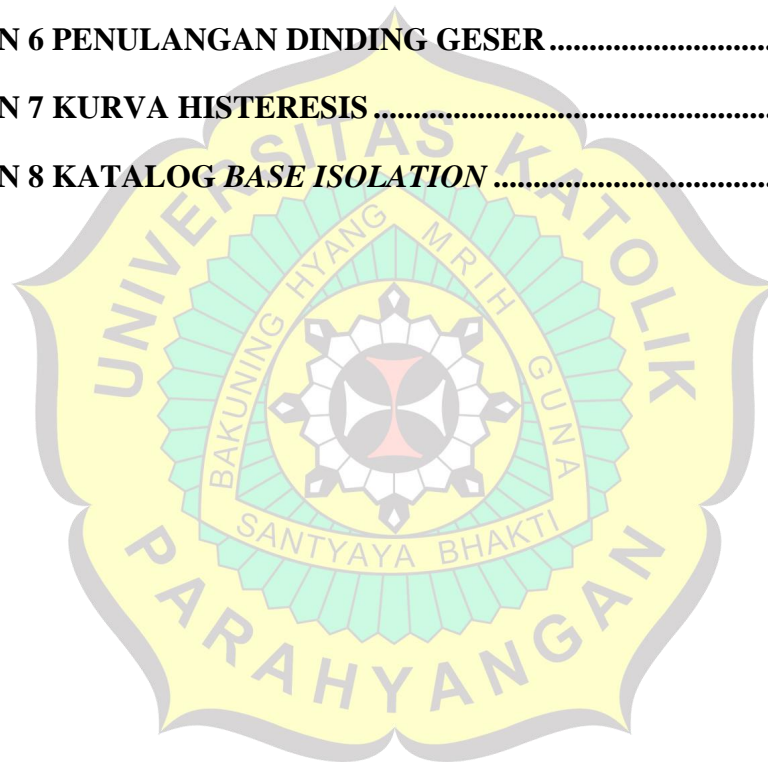
2.4.1	Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Faktor Keutamaan Gempa	2-9
2.4.2	Kombinasi Pembebanan.....	2-10
2.4.3	Klasifikasi Situs	2-12
2.4.4	Koefisien Situs dan Parameter – Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko – Tertarget (MCER).....	2-13
2.4.5	Parameter Percepatan Spektral Desain	2-15
2.4.6	Kategori Desain Seismik.....	2-17
2.4.7	Sistem Struktur.....	2-18
2.4.8	Faktor Redundansi	2-18
2.4.9	Gaya Lateral Ekuivalen.....	2-19
2.4.10	Analisis Spektrum Respons Ragam.....	2-21
2.4.11	Simpangan Antar Tingkat.....	2-22
2.4.12	Ketidakteraturan Horizontal.....	2-23
2.4.13	Ketidakteraturan Vertikal.....	2-26
2.5	Persyaratan Sistem Ganda.....	2-29
2.6	Struktur dengan Isolasi Dasar.....	2-30
2.6.1	Faktor Keutamaan Gempa	2-30
2.6.2	Faktor Redudansi	2-30
2.6.3	Properti sistem isolasi pada perpindahan maksimum	2-30
2.6.4	Bencana seismik spesifik situs.....	2-30
2.6.5	Respons spektra dan parameter percepatan respons spektral MCE_R	2-30
2.6.6	Rekaman gerak tanah MCE_R	2-31
2.7	Pemilihan prosedur analisis untuk Struktur dengan Isolasi Dasar	2-31
2.7.1	Prosedur gaya lateral ekuivalen	2-31

2.7.2	Prosedur Respons Spektrum	2-32
2.7.3	Prosedur Riwayat Waktu	2-32
2.8	Prosedur Gaya Lateral Ekuivalen untuk Sistem Isolasi Dasar	2-32
2.8.1	Perpindahan Maksimum	2-32
2.8.2	Periode Efektif pada Saat Perpindahan Maksimum.....	2-33
2.8.3	Gaya Lateral Minimum yang diperlukan untuk Sistem Isolasi dan Elemen – Elemen Struktural di Bawah Tingkat Dasar	2-34
2.8.4	Gaya Lateral Minimum untuk Elemen Struktural di Atas Tingkat Dasar	2-34
2.8.5	Batas Simpangan Antar Tingkat	2-35
2.9	Prosedur Analisis Dinamik.....	2-35
2.9.1	Sistem Isolasi dan Elemen – Elemen Struktural di Bawah Sistem Isolasi	2-35
2.9.2	Elemen – Elemen Struktural di Atas Tingkat Dasar	2-35
2.9.3	Batasan Simpangan antar tingkat.....	2-35
2.10	Analisis Riwayat waktu	2-36
2.10.1	Rekaman Percepatan Gempa	2-36
2.10.2	Sendi Plastis	2-38
2.10.3	Tingkat Kinerja Struktur	2-39
BAB 3 STUDI KASUS.....		3-1
3.1	Model Gedung	3-1
3.2	Data Gedung.....	3-2
3.3	Data Material	3-2
3.4	Pembebanan	3-3
3.4.1	Beban Mati (DL).....	3-3
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.....	3-4
3.5	Elemen Struktur.....	3-4
3.6	Data <i>Base Isolation Friction Pendulum System</i>	3-5
3.7	Analisis Riwayat Waktu.....	3-6
3.7.1	Penskalaan Percepatan Rekaman Gempa	3-7
3.7.2	Beban Gravitasi.....	3-7
3.7.3	Pemodelan Sendi Plastis	3-7
BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN		4-1
4.1	Analisis Respons Spektrum Gedung Tanpa <i>Base Isolation</i>	4-1
4.1.1	Gerak Dominan Gedung	4-1
4.1.2	Ragam Getar dan Periode Getar.....	4-1
4.1.3	Gaya Geser Dasar.....	4-4
4.1.4	Simpangan Antar Tingkat.....	4-4
4.1.5	Ketidakteraturan Horizontal.....	4-6
4.1.6	Ketidakteraturan Vertikal.....	4-8
4.1.7	Pengecekan Persyaratan Sistem Ganda.....	4-15
4.1.8	Pengecekan <i>Strong Column Weak Beam</i>	4-20
4.2	Penulangan Elemen Struktur.....	4-21
4.3	Analisis Non Linier Riwayat Waktu Gedung <i>Fixed Base</i> (Model 1)..	4-23
4.3.1	Gaya Geser Dasar.....	4-23
4.3.2	Rasio Simpangan Antar Tingkat.....	4-24
4.3.3	Simpangan Antar Tingkat	4-24
4.3.4	Percepatan Lantai Atap	4-25
4.3.5	Perpindahan.....	4-26
4.3.6	Sendi Plastis	4-27

4.3.7	Tingkat Kinerja Struktur	4-27
4.4	Analisis Non Linier Riwayat Waktu Gedung Dengan <i>Base Isolation Medium Friction</i> (Model 2)	4-27
4.4.1	Gaya Geser Dasar.....	4-27
4.4.2	Rasio Simpangan Antar Tingkat.....	4-28
4.4.3	Simpangan Antar Tingkat	4-29
4.4.4	Percepatan Lantai Atap	4-30
4.4.5	Perpindahan.....	4-30
4.4.6	Sendi Plastis	4-31
4.5	Analisis Non Linier Riwayat Waktu Gedung Dengan <i>Base Isolation Low Friction</i> (Model 3)	4-31
4.5.1	Gaya Geser Dasar.....	4-31
4.5.2	Rasio Simpangan Antar Tingkat.....	4-32
4.5.3	Simpangan Antar Tingkat	4-33
4.5.4	Percepatan Lantai Atap.....	4-34
4.5.5	Perpindahan.....	4-34
4.5.6	Sendi Plastis	4-35
4.6	Perbandingan Model Gedung Fixed Base dengan Model Gedung <i>Base Isolation</i>	4-35
4.6.1	Gaya Geser Dasar.....	4-35
4.6.2	Rasio Simpangan Antar Tingkat.....	4-36
4.6.3	Percepatan Lantai Atap	4-41
4.6.4	Perpindahan Dasar Maksimum	4-42
4.6.5	Penulangan Elemen Struktur.....	4-42
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....		5-1
5.1	Kesimpulan.....	5-1
5.2	Saran.....	5-2

DAFTAR PUSTAKA	XX
LAMPIRAN 1 PRELIMINARY DESIGN ELEMEN STRUKTUR.....	L1-1
LAMPIRAN 2 PERHITUNGAN FAKTOR SKALA.....	L2-1
LAMPIRAN 3 PRELIMINARY DESIGN <i>DOUBLE FRICTION PENDULUM</i> SYSTEM	L3-1
LAMPIRAN 4 PENULANGAN BALOK	L4-1
LAMPIRAN 5 PENULANGAN KOLOM.....	L5-1
LAMPIRAN 6 PENULANGAN DINDING GESER	L6-1
LAMPIRAN 7 KURVA HISTERESIS	L7-1
LAMPIRAN 8 KATALOG <i>BASE ISOLATION</i>	L8-1



DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

A_{ch}	: Luas penampang inti beton
ACI	: <i>American Concrete Institute</i>
ASCE	: <i>American Society of Civil Engineers</i>
A_{cv}	: Luas penampang dinding geser
A_g	: Luas penampang elemen beton
A_s	: Luas tulangan longitudinal
A_{sh}	: Luas tulangan transversal
b_w	: Lebar balok
CP	: <i>Collapse Prevention</i>
C_d	: Faktor pembesaran defleksi
C_s	: Koefisien respons seismik
C_t	: Parameter periode pendekatan
C_u	: Koefisien untuk batas atas periode yang dihitung
c	: Kedalaman garis netral
Cover	: Tebal selimut beton
DL	: Beban mati
D_0	: Perpindahan awal
D	: Perpindahan
D_M	: Perpindahan maksimum
D/C	: <i>Deman/Capacity Ratio</i>
d_b	: Diameter tulangan longitudinal
d_s	: Diameter tulangan transversal
E_c	: Modulus elastisitas beton
E_s	: Modulus elastisitas baja
FEMA	: <i>Federal Emergency Management Agency</i>
F_a	: Faktor amplifikasi periode pendek
F_v	: Faktor amplifikasi periode 1 detik
f_D	: Faktor skala
f_c'	: Mutu beton
f_y	: Mutu baja
g	: Percepatan gravitasi

H	: Tinggi kolom
H _n	: Tinggi bersih kolom
h	: Tinggi balok
h _{sx}	: Tinggi struktur
h _u	: Tinggi tingkat
h _w	: Tinggi dinding geser
IO	: <i>Immediate Occupancy</i>
I _e	: Faktor keutamaan gempa
KDS	: Kategori desain seismik
K _{eff}	: Kekakuan efektif
LL	: Beban hidup
LS	: <i>Life safety</i>
L _{be}	: Panjang horizontal elemen batas khusus
L _n	: Bentang bersih balok
L _r	: Beban hidup atap
l _w	: Panjang dinding geser
MCE _R	: <i>Maximum Considered Earthquake Risk</i>
M _n	: Momen nominal
M _{pr}	: Momen plastis
M _u	: Momen ultimit
m	: Massa
NEHRP	: <i>National Earthquake Hazard Reduction Program</i>
n	: Jumlah tulangan longitudinal
n _s	: Jumlah tingkat
n _{kaki}	: Jumlah kaki sengkang
P _u	: Gaya aksial ultimit
R	: Koefisien modifikasi respons
SCWB	: <i>Strong Column Weak Beam</i>
SDL	: Beban mati tambahan
S _{DS}	: Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek
S _{D1}	: Parameter percepatan spektral desain untuk periode 1 detik
S _{MS}	: Parameter spektrum respons percepatan pada periode pendek

S_{M1}	: Parameter spektrum respons percepatan pada periode 1 detik
SNI	: Standar Nasional Indonesia
SRPMK	: Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus
SW	: <i>Shear wall</i>
S_a	: Spektrum respons percepatan desain
S_s	: Percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode pendek
S_1	: Percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode 1 detik
s	: Spasi tulangan transversal
T	: Periode fundamental getaran struktur
T_L	: Transisi periode panjang
T_a	: Periode bangunan pendekatan
T_{eff}	: Periode efektif
T_s, T_0	: Parameter periode untuk respons desain seismik
T_u	: Momen torsi ultimit
t_w	: Tebal dinding geser
t_p	: Tebal pelat
V	: Gaya geser
V_c	: Kuat geser nominal beton
V_e	: Gaya geser desain
V_g	: Gaya geser akibat kombinasi beban 1,2D+L
V_n	: Kuat geser nominal
V_s	: Kuat geser nominal tulangan geser
V_u	: Gaya geser ultimit
W	: Berat seismik efektif
x	: Parameter untuk perioda fundamental pendekatan
β_1	: Faktor yang menghubungkan tinggi tekan dan tinggi sumbu netral
β_{eff}	: Redaman efektif
γ_c	: Berat jenis beton
γ_s	: Berat jenis baja
Ω_0	: Faktor kuat lebih sistem
ϕ	: Faktor reduksi kuat lentur

- ϕ_s : Faktor reduksi kuat geser
 δ_x : Simpangan pusat massa di tingkat-x
 δ_{xe} : Simpangan di tingkat-x yang ditentukan dengan analisis elastik
 δ_{total} : Simpangan di tingkat-x diukur dari lantai dasar
 ρ : Faktor redudansi
 Δ_{izin} : Simpangan izin antar tingkat



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Tampak Atas Bangunan	1-4
Gambar 1.2 Tampak Depan Bangunan (Model 1)	1-5
Gambar 1.3 Potongan Bangunan As-3 (Model 1).....	1-6
Gambar 1.4 Tampak 3D Bangunan (Model 1).....	1-7
Gambar 1.5 Diagram Alir Penelitian.....	1-10
Gambar 1.6 Diagram Alir Penelitian (lanjutan)	1-11
Gambar 2.1 Konsep <i>Base Isolation</i> (Sumber: Webinar Freyssinet 5 Mei 2020).....	2-1
Gambar 2.2 Natural Rubber Bearing (Sumber: https://www.bridgestone.com/).....	2-2
Gambar 2.3 Lead Rubber Bearing (Sumber: https://www.bridgestone.com/) ...	2-3
Gambar 2.4 High Damping Rubber Bearing (Sumber: https://www.bridgestone.com/).....	2-3
Gambar 2.5 Flat Sliding System (Sumber: Higashino, M., Hamaguchi, H., Minewaki, S., & Aizawa, S. (2003). Basic Characteristics and Durability of Low-Friction Sliding Bearings for <i>Base Isolation</i> .)	2-4
Gambar 2.6 <i>Single Friction Pendulum</i>	2-5
Gambar 2.7 <i>Double Friction Pendulum</i>	2-5
Gambar 2.8 Properti Linier DFPS sebagai link element pada ETABS 18.....	2-8
Gambar 2.9 Properti Non Linier DFPS sebagai link element pada ETABS 2182-9	
Gambar 2.10 Parameter gerak tanah S_s , gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER).....	2-15
Gambar 2.11 Parameter gerak tanah S_1 , gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER).....	2-15
Gambar 2.12 Spektrum respons desain	2-17
Gambar 2.13 Penentuan simpangan antar tingkat	2-22
Gambar 2.14 Ilustrasi Ketidakberaturan Horizontal	2-26
Gambar 2.15 Ilustrasi Ketidakberaturan Vertikal	2-29
Gambar 2.16 Rekaman Gempa Landers-ABY-000	2-36
Gambar 2.17 Rekaman Gempa Landers-ABY-090	2-37
Gambar 2.18 Rekaman Gempa Chichi-TCU090-E.....	2-37
Gambar 2.19 Rekaman Gempa Chichi-TCU090-N	2-37
Gambar 2.20 Rekaman Gempa Sitka 212 V5180	2-37

Gambar 2.21 Rekaman Gempa Sitka 212 V5090	2-38
Gambar 3.1 Model Gedung 3D	3-1
Gambar 3.2 Model Jenis Perletakan Fixed Base	3-1
Gambar 3.3 Model Jenis Perletakan <i>Base Isolation</i>	3-2
Gambar 4.1 Pengecekan <i>Strong Column Weak Beam</i>	4-21
Gambar 4.2 Perbandingan Gaya Geser Dasar	4-36
Gambar 4.3 Perbandingan Rasio Simpangan Antar Tingkat Gempa Sitka 1972. 4-38	
Gambar 4.4 Perbandingan Rasio Simpangan Antar Tingkat Gempa Landers 1992	4-39
Gambar 4.5 Perbandingan Rasio Simpangan Antar Tingkat Gempa Chi-Chi 1999	4-40
Gambar 4.6 Perbandingan Percepatan Lantai Atap.....	4-41
Gambar 4.7 Perbandingan Perpindahan Dasar Maksimum.....	4-42



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kategori risiko bangunan gedung dan nongedung untuk beban gempa 2-10	
Tabel 2.2 Faktor Keutamaan Gempa.....	2-10
Tabel 2.3 Klasifikasi Situs	2-12
Tabel 2.4 Koefisien situs, F_a	2-14
Tabel 2.5 Koefisien Situs, F_v	2-14
Tabel 2.6 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek	2-17
Tabel 2.7 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik.....	2-18
Tabel 2.8 Faktor R, Cd, dan Ω_0 untuk Sistem Penahan Gaya Gempa	2-18
Tabel 2.9 Nilai parameter periode pendekatan Ct dan x	2-19
Tabel 2.10 Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung	2-20
Tabel 2.11 Simpangan antar tingkat izin.....	2-23
Tabel 2.12 Ketidakberaturan horizontal pada struktur.....	2-24
Tabel 2.13 Ketidakberaturan vertikal pada struktur.....	2-27
Tabel 2.14 Faktor redaman, BM	2-33
Tabel 2.15 Batasan <i>Roof Drift Ratio</i> (sumber: FEMA 356 Tabel C1-3)	2-40
Tabel 3.1 SIDL pada Pelat Lantai dan Atap Gedung.....	3-3
Tabel 3.2 SIDL pada Balok.....	3-3
Tabel 3.3 Beban LL pada Pelat Lantai dan Atap Gedung.....	3-4
Tabel 3.4 Dimensi Penampang Elemen Struktur	3-5
Tabel 3.5 Tipe <i>Base Isolation Friction Pendulum System</i>	3-5
Tabel 3.6 Properti <i>Friction Pendulum System</i> Model 2	3-5
Tabel 3.7 Properti <i>Friction Pendulum System</i> Model 3	3-6
Tabel 4.1 Pola Gerak Dominan Model Gedung.....	4-1
Tabel 4.2 Ragam Getar dan Periode Getar Model Gedung <i>fixed base</i>	4-2
Tabel 4.3 Gaya Geser Dasar pada Model Gedung	4-4
Tabel 4.4 Simpangan Antar Tingkat Arah X Pada Model Gedung	4-4
Tabel 4.5 Simpangan Antar Tingkat Arah Y Pada Model Gedung	4-5
Tabel 4.6 Pengecekan Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1A dan 1B Arah X ...	4-6

Tabel 4.7 Pengecekan Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1A dan 1B Arah Y ...	4-7
Tabel 4.8 Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1A Arah X.....	4-8
Tabel 4.9 Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1B Arah X.....	4-9
Tabel 4.10 Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1A Arah Y.....	4-10
Tabel 4.11 Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1B Arah Y.....	4-11
Tabel 4.12 Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 2.....	4-12
Tabel 4.13 Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 3.....	4-13
Tabel 4.14 Pemeriksaan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 5A dan 5B pada Arah X	4-14
Tabel 4.15 Pemeriksaan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 5A dan 5B pada Arah Y	4-15
Tabel 4.16 Pengecekan Persyaratan Sistem Ganda Model 1 Arah X.....	4-16
Tabel 4.17 Pengecekan Persyaratan Sistem Ganda Model 1 Arah Y.....	4-16
Tabel 4.18 Pengecekan Persyaratan Sistem Ganda Model 2 Arah X.....	4-17
Tabel 4.19 Pengecekan Persyaratan Sistem Ganda Model 2 Arah Y.....	4-18
Tabel 4.20 Pengecekan Persyaratan Sistem Ganda Model 3 Arah X.....	4-19
Tabel 4.21 Pengecekan Persyaratan Sistem Ganda Model 3 Arah Y.....	4-20
Tabel 4.22 Penulangan Balok Induk.....	4-21
Tabel 4.23 Penulangan Balok Anak.....	4-22
Tabel 4.24 Penulangan Kolom.....	4-22
Tabel 4.25 Penulangan Dinding Geser.....	4-23
Tabel 4.26 Gaya Geser Dasar pada Model 1.....	4-23
Tabel 4.27 Rasio Simpangan Antar Tingkat pada Model 1.....	4-24
Tabel 4.28 Simpangan Antar Tingkat Model 1.....	4-25
Tabel 4.29 Percepatan Lantai Atap pada Model 1.....	4-26
Tabel 4.30 Perpindahan pada Model 1.....	4-26
Tabel 4.31 Sendi Plastis Model 1.....	4-27
Tabel 4.32 Tingkat Kinerja Struktur Model 1.....	4-27
Tabel 4.33 Gaya Geser Dasar pada Model 2.....	4-28
Tabel 4.34 Rasio Simpangan Antar Tingkat pada Model 2.....	4-28
Tabel 4.35 Simpangan Antar Tingkat pada Model 2.....	4-29
Tabel 4.36 Percepatan Lantai Atap pada Model 2.....	4-30

Tabel 4.37 Perpindahan pada Model 2.....	4-30
Tabel 4.38 Sendi Plastis Model 2.....	4-31
Tabel 4.39 Gaya Geser Dasar pada Model 3.....	4-32
Tabel 4.40 Rasio Simpangan Antar Tingkat pada Model 3	4-32
Tabel 4.41 Simpangan Antar Tingkat pada Model 3	4-33
Tabel 4.42 Percepatan Lantai Atap pada Model 3	4-34
Tabel 4.43 Perpindahan pada Model 3.....	4-34
Tabel 4.44 Sendi Plastis Model 3.....	4-35
Tabel 4.45 Perbandingan Gaya Geser Dasar.....	4-35
Tabel 4.46 Perbandingan Rasio Simpangan Antar Tingkat Gempa Sitka 1972	4-36
Tabel 4.47 Perbandingan Rasio Simpangan Antar Tingkat Gempa Landers 19924-	38
Tabel 4.48 Perbandingan Rasio Simpangan Antar Tingkat Gempa Chi-Chi 1994-	39
Tabel 4.49 Perbandingan Percepatan Lantai Atap	4-41
Tabel 4.50 Perbandingan Perpindahan Dasar Maksimum	4-42
Tabel 4.51 Perbandingan Penulangan Balok Induk 350 x 700	4-43
Tabel 4.52 Perbandingan Penulangan Balok Induk 300 x 600	4-43
Tabel 4.53 Perbandingan Penulangan Dinding Geser Lantai 1 – 10.....	4-43
Tabel 4.54 Perbandingan Penulangan Dinding Geser Lantai 11 – 20.....	4-44
Tabel 5.1 Resume Persentase Penurunan Gaya Geser	5-1
Tabel 5.2 Resume Persentase Penurunan Percepatan Lantai Atap	5-2

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara berkembang yang sedang fokus membangun infrastruktur. Salah satu masalah yang mempengaruhi dalam membangun infrastruktur adalah gempa bumi. Gempa bumi adalah peristiwa bergetarnya bumi akibat pelepasan energi dari dalam bumi secara tiba-tiba yang kemudian dipancarkan ke segala arah dalam bentuk gelombang seismik, sehingga efeknya dapat dirasakan sampai permukaan bumi. Getaran tersebut diakibatkan oleh pergerakan lempeng-lempeng tektonik yang bergerak saling mendekat, saling menjauh, dan saling melewati. Sebagai negara yang berada pada pertemuan tiga pelat tektonik yaitu lempeng Eurasia, lempeng Pasifik, dan lempeng Indo – Australia, maka Indonesia tidak akan lepas dari ancaman gempa bumi.

Gempa bumi dapat menyebabkan kerusakan pada infrastruktur, salah satu infrastruktur dalam bidang ilmu teknik sipil adalah gedung. Gedung mempunyai beberapa fungsi bagi kehidupan manusia, terutama sebagai tempat berlindung dari cuaca, tempat tinggal, dan tempat bekerja. Selain itu, gedung juga dapat menjadi tempat perlindungan apabila sedang terjadi bencana alam seperti gempa bumi. Oleh sebab itu, dikembangkan konsep bangunan tahan gempa dalam merencanakan bangunan. Bangunan tahan gempa adalah bangunan yang mampu bertahan dan menjaga keselamatan penggunanya saat terjadi gempa bumi, bangunan tersebut boleh mengalami kerusakan tetapi tidak boleh runtuh. Berikut penjelasan mengenai filosofi bangunan tahan gempa:

1. Pada gempa kecil yang sering terjadi, maka struktur utama bangunan harus tidak rusak dan berfungsi dengan baik. Kerusakan kecil yang masih dapat ditoleransi pada elemen non struktur masih dibolehkan,
2. Pada gempa menengah yang jarang terjadi, maka struktur utama bangunan boleh rusak/retak ringan tapi masih dapat/ekonomis diperbaiki.
3. Pada gempa kuat yang jarang terjadi, maka bangunan boleh rusak tetapi tidak boleh runtuh total.

Seiring dengan perkembangan teknologi dalam merencanakan bangunan tahan gempa, telah dikembangkan metode alternatif untuk mereduksi gaya gempa, yaitu dengan menggunakan *base isolation*. Konsep dasar *base isolation* adalah menggunakan material khusus peredam getaran yang terletak diantara bangunan dengan pondasi untuk mencegah getaran gempa langsung mengenai struktur. Penggunaan *base isolation* bertujuan untuk mempebesar waktu getar struktur akibat gempa, sehingga beban gempa yang diterima oleh struktur menjadi lebih kecil.

Terdapat beberapa tipe *base isolator* dimana masing-masing *base isolator* memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Tipe *base isolator* yang pertama adalah *Elastomeric Bearing*. *Base isolator* ini terbuat dari lembaran-lembaran karet yang direkatkan pada pelat baja. Pelat baja tersebut mencegah lapisan-lapisan karet mengembang akibat beban vertikal dari bangunan. Contoh dari *Elastomeric Bearing* adalah *Low Damping Natural Rubber*, *Lead Rubber Bearing*, dan *High Damping Natural Rubber*. Tipe *base isolator* yang kedua adalah *Sliding System*. *Sliding System* menggunakan sistem geser yang menimbulkan gesekan, dimana gesekan tersebut dapat meredam gaya gempa. Contoh dari *sliding system* adalah *Flat Sliding* dan *Friction Pendulum System (FPS)*. *Friction Pendulum System* merupakan pengembangan dari *base isolator Flat Sliding*, dimana pada *Flat Sliding* memiliki permukaan gesekan yang datar sehingga *base isolator* ini tidak memiliki kemampuan untuk kembali ke posisi awal apabila melakukan deformasi. Sedangkan untuk *base isolator Friction Pendulum System* mengikuti prinsip bandul sederhana, pada saat terjadi gempa dengan gaya yang melebihi tahanan friksi yang ada, maka *slider* akan bergerak pada permukaan lengkung yang dimiliki oleh FPS. Permukaan lengkung pada FPS memiliki *restoring force*, yaitu kemampuan untuk mengembalikan *bearing* ke posisi netral. Tipe *base isolation* ini sudah diaplikasikan pada beberapa bangunan seperti *AboveNet Building*, *Los Angeles City Hall*, *United State Court House*, dan *National Library of Greece*.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan bahwa gedung beton bertulang 10 lantai dengan sistem *base isolation* tipe *Double Friction Pendulum System (DFPS)* memiliki performa lebih baik dibandingkan struktur jepit pada gaya geser dasar, percepatan lantai atap, rasio amplifikasi, dan simpangan antar lantai (Iswandi, Siringoringo, & Michael, 2021). Sehingga, pada skripsi ini akan

dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai efektivitas pengaruh ketinggian bangunan pada kinerja struktur yang diperlengkapi *base isolation* tipe *Double Friction Pendulum System* (DFPS).

1.2 Inti Permasalahan

Berdasarkan penelitian oleh (Iswandi, Siringoringo, & Michael, 2021) pada gedung beton bertulang 10 lantai diketahui bahwa struktur yang dilengkapi *double friction pendulum* dengan koefisien friksi rendah memiliki performa yang lebih baik dibandingkan struktur yang dilengkapi *base isolation* tipe *double friction pendulum* dengan koefisien friksi sedang. Sehingga, pada skripsi ini akan dibahas lebih lanjut mengenai pengaruh ketinggian bangunan terhadap efektivitas *base isolation double friction pendulum* dengan koefisien friksi sedang dan rendah.

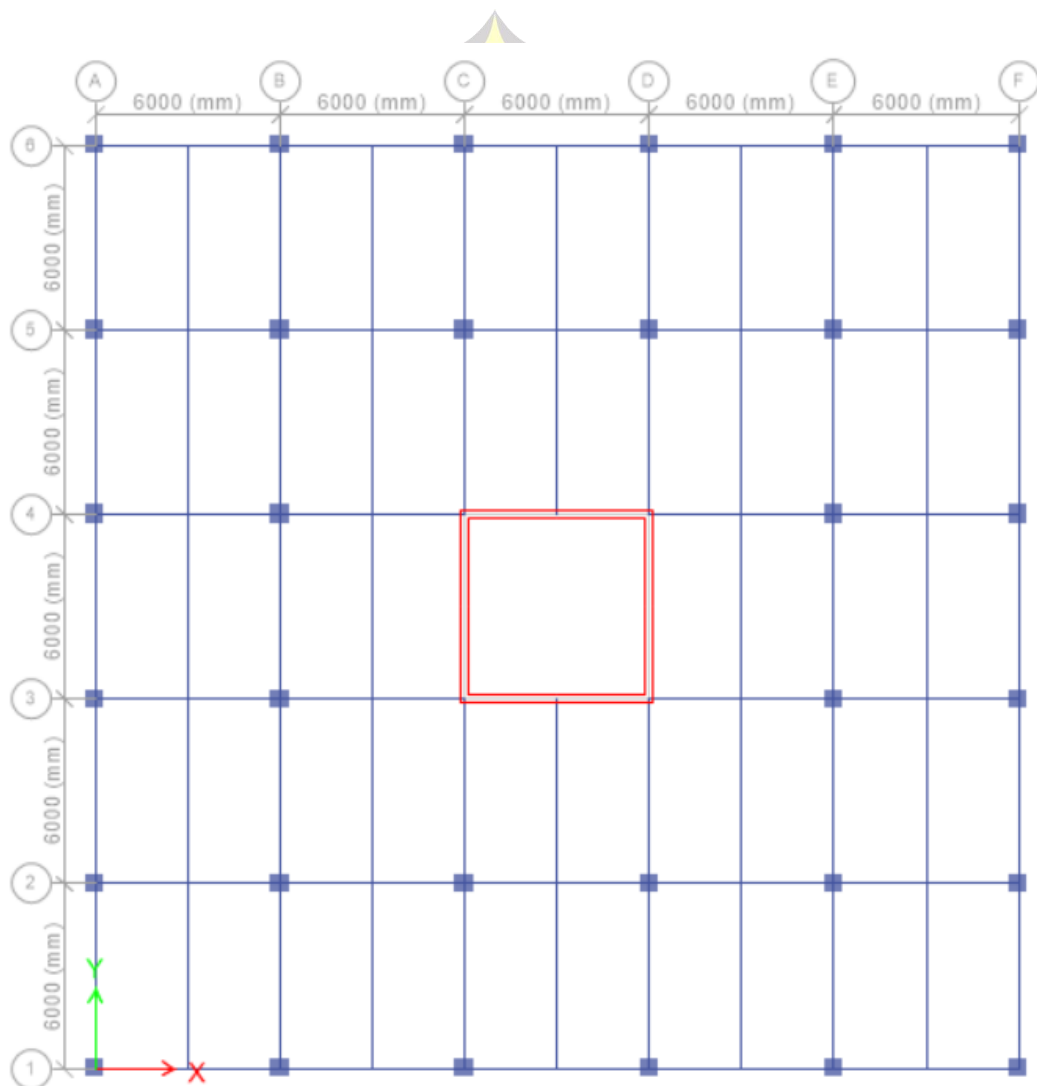
1.3 Tujuan Penulisan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui efektivitas penggunaan *base isolation* tipe *double friction pendulum* pada bangunan gedung sistem ganda 20 lantai terhadap gaya geser dasar, percepatan lantai atap, dan rasio simpangan antar tingkat serta mengetahui koefisien gesek optimal untuk bangunan gedung sistem ganda 20 lantai.

1.4 Pembatasan Masalah

1. Fungsi bangunan gedung adalah perkantoran dengan jumlah tingkat 20 lantai.
2. *Base isolation* yang digunakan adalah *Double Friction Pendulum System*.
3. Bangunan gedung terletak di Jakarta dengan kelas situs SD (tanah sedang).
4. Mutu beton yang digunakan adalah $f_c' = 35$ MPa serta mutu tulangan baja yang digunakan adalah $f_y = 420$ MPa.
5. Sistem penahan gaya gempa yang digunakan adalah Sistem ganda dinding geser beton bertulang khusus.
6. Pemodelan gedung menggunakan struktur beton bertulang dengan jumlah tingkat 20 lantai. Ketinggian lantai tipikal adalah 4 m. Dimensi gedung memiliki 5 bentang dengan panjang bentang 6 m untuk arah x dan y.
7. Peraturan yang digunakan adalah:

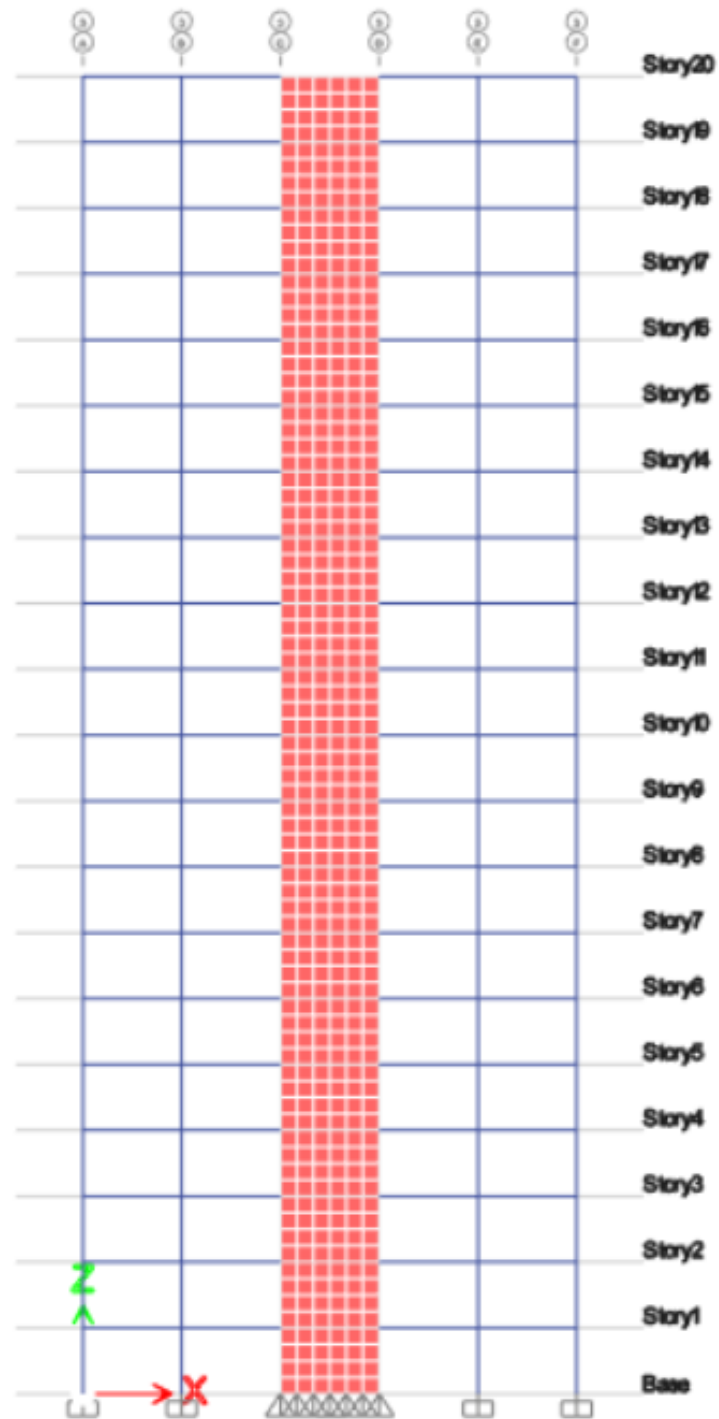
- a) SNI 1726:2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan gedung dan Non Gedung.
 - b) RSNI 1727:2020 Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain
 - c) SNI 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan
8. Perancangan dan perhitungan pondasi tidak dilakukan.
 9. Desain struktur, analisis respons spektra, dan analisis riwayat waktu menggunakan program ETABS.



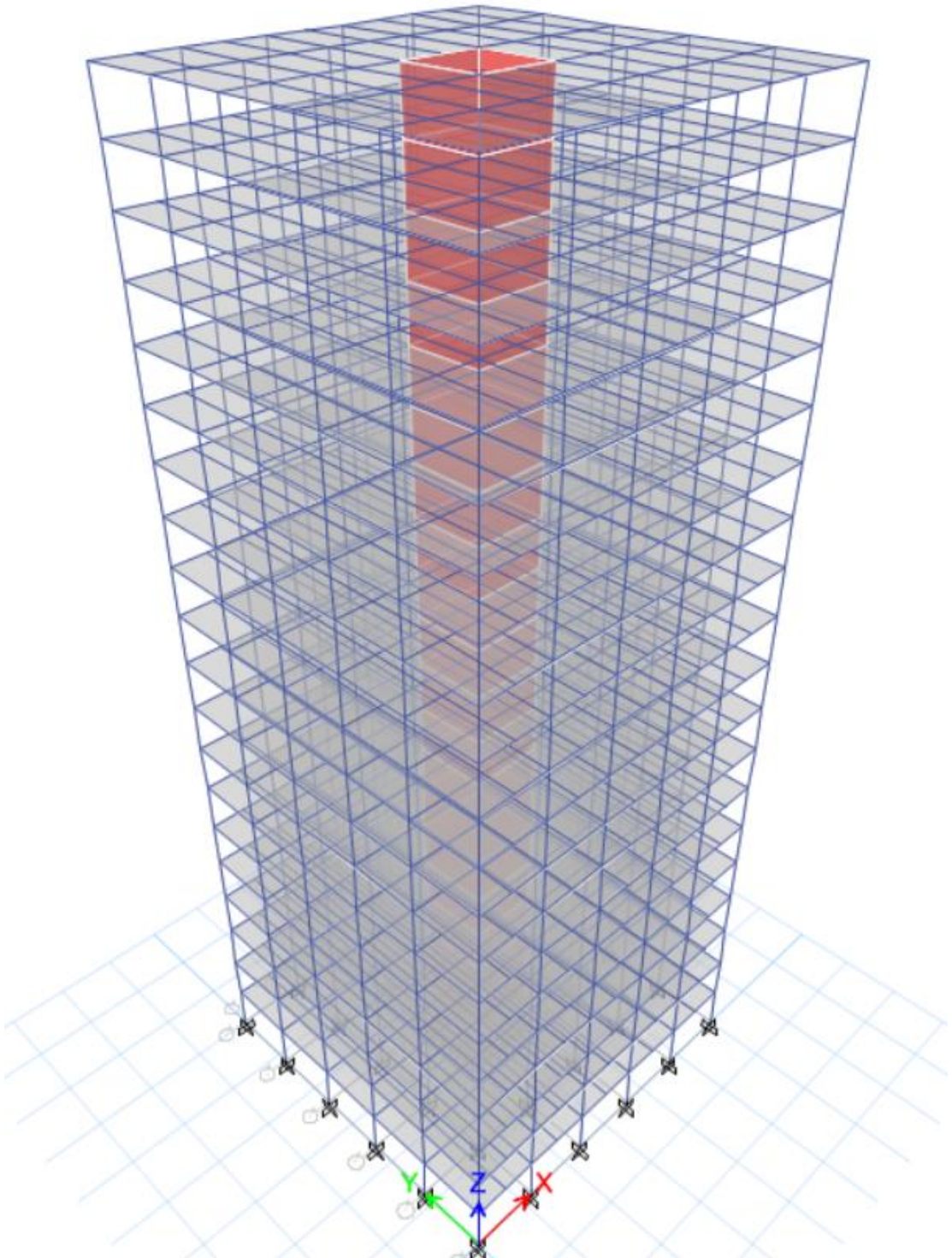
Gambar 1.1 Tampak Atas Bangunan



Gambar 1.2 Tampak Depan Bangunan (Model 1)



Gambar 1.3 Potongan Bangunan As-3 (Model 1)



Gambar 1.4 Tampak 3D Bangunan (Model 1)

1.5 Metode Penelitian

1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan agar memperoleh pemahaman mengenai topik pembahasan dan berguna sebagai pendukung analisis. Sumber-sumber penulisan yang digunakan berasal dari buku-buku, jurnal, peraturan yang berlaku, dan artikel atau tulisan yang terdapat di internet.

2. Studi Analisis

Studi analisis dilakukan agar menolong proses perancangan bangunan gedung yang diteliti. Program yang digunakan untuk melakukan perancangan serta analisis gedung adalah ETABS

1.6 Sistematika Penulisan

1. BAB 1 PENDAHULUAN

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

2. BAB 2 STUDI PUSTAKA

Bab ini berisi tentang studi literatur dari konsep dasar yang berkaitan dengan topik pembahasan dan peraturan yang digunakan dalam penyusunan skripsi.

3. BAB 3 DESAIN DAN PEMODELAN STRUKTUR

Bab ini berisi tentang desain dan pemodelan bangunan gedung beton bertulang 20 lantai perletakan *fixed base* dan yang menggunakan *base isolation* tipe *Double Friction Pendulum System* dengan menggunakan program ETABS.

4. BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN

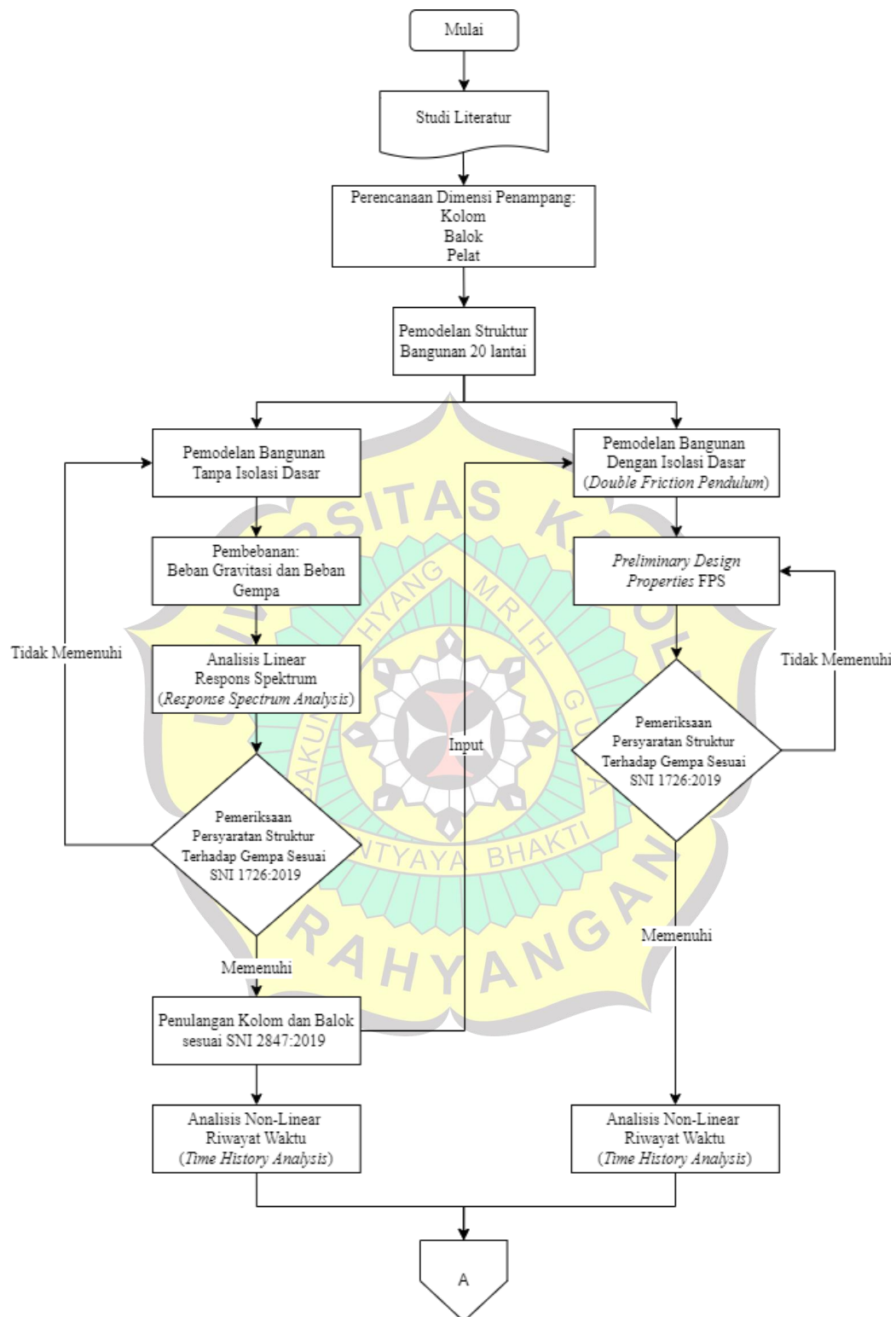
Bab ini berisi tentang analisis dan pembahasan mengenai perbandingan respons (gaya geser dasar, perpindahan, rasio simpangan antar tingkat, dan percepatan lantai atap dari struktur perletakan *fixed base* terhadap struktur yang terisolasi dengan *Double Friction Pendulum System* pada bangunan gedung 20 lantai.

5. BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

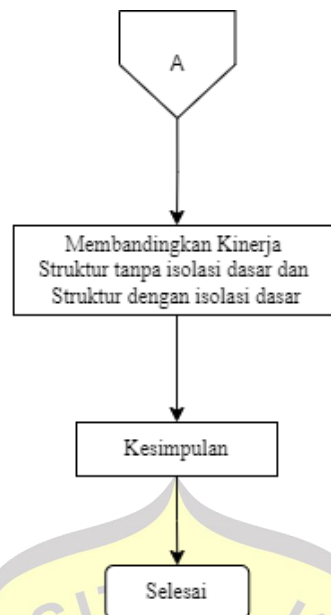
Bab ini berisi tentang kesimpulan yang didapat berkait dengan tujuan dari penulisan skripsi ini dan saran untuk kajian selanjutnya.



1.7 Diagram Alir



Gambar 1.5 Diagram Alir Penelitian



Gambar 1.6 Diagram Alir Penelitian (lanjutan)

