

TUGAS AKHIR - CS234801

STUDI EFEKTIVITAS PENGGUNAAN BASE ISOLATOR TIPE LEAD RUBBER BEARING (LRB) UNTUK STRUKTUR BETON PRACETAK PADA HOTEL KAI BOUTIQUE BANDUNG

MUHAMAD RIZKI ISMAIL

NRP 5012211059

Dosen Pembimbing I

Ahmad Basshofi Habieb, S.T., M.T. Ph.D.

NIP 1992202011038

Dosen Pembimbing II

Dr. Candra Irawan, S.T., M.T.

NIP 199008232015041001

Program Studi Sarjana

Departemen Teknik Sipil

Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2025

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



TUGAS AKHIR - CS234801

**STUDI EFEKTIVITAS PENGGUNAAN BASE ISOLATOR
TIPE LEAD RUBBER BEARING (LRB) UNTUK
STRUKTUR BETON PRACETAK PADA HOTEL KAI
BOUTIQUE BANDUNG**

MUHAMAD RIZKI ISMAIL

NRP 5012211059

Dosen Pembimbing I

Ahmad Basshofi Habieb, S.T., M.T. Ph.D.

NIP 1992202011038

Dosen Pembimbing II

Dr. Candra Irawan, S.T., M.T.

NIP 199008232015041001

Program Studi Sarjana

Departemen Teknik Sipil

Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2025

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



FINAL PROJECT - CS234801

**EFFECTIVENESS STUDY OF THE USE OF LEAD
RUBBER BEARING (LRB) TYPE BASE ISOLATOR FOR
PRECAST CONCRETE STRUCTURE AT KAI
BOUTIQUE HOTEL BANDUNG**

MUHAMAD RIZKI ISMAIL

NRP 5012211059

Advisor I

Ahmad Basshofi Habieb, S.T., M.T. Ph.D.

NIP 1992202011038

Advisor II

Dr. Candra Irawan, S.T., M.T.

NIP 199008232015041001

Undergraduate Program

Department of Civil Engineering

Faculty of Civil, Planning, and Geo Engineering

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2025

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN




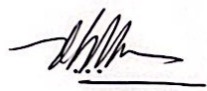
STUDI EFEKTIVITAS PENGGUNAAN BASE ISOLATOR TIPE LEAD RUBBER BEARING (LRB) UNTUK STRUKTUR BETON PRACETAK PADA HOTEL KAI BOUTIQUE BANDUNG

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana Teknik pada
Program Studi Sarjana
Departemen Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh : **MUHAMAD RIZKI ISMAIL**
NRP. 5012211059

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

- | | | |
|--|---------------|---|
| 1. Ahmad Basshofi Habieb, S.T., M.T. Ph.D
1992202011038 | Pembimbing |  |
| 2. Dr. Candra Irawan, S.T., M.T.
199008232015041001 | Ko-pembimbing |  |
| 3. Budi Suswanto, S.T., M.T., Ph.D.
197301281998021002 | Penguji |  |
| 4. Dr.Eng. Aniendhita Rizki Amalia, S.T., M.T.
198905212015042002 | Penguji |  |



SURABAYA

Januari, 2025

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

APPROVAL SHEET

EFFECTIVENESS STUDY OF THE USE OF LEAD RUBBER BEARING (LRB) TYPE BASE ISOLATOR FOR PRECAST CONCRETE STRUCTURE AT KAI BOUTIQUE HOTEL BANDUNG

FINAL PROJECT

Submitted to fulfill one of the requirements

for obtaining a Bachelor Degree at

Undergraduate Program

Department of Civil Engineering

Faculty of Civil, Planning, And Geo Engineering

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

By : **MUHAMAD RIZKI ISMAIL**

NRP. 5012211059

Approved by Final Project Examiner Team:

- | | |
|--|------------|
| 1. Ahmad Basshofi Habieb, S.T., M.T. Ph.D
1992202011038 | Advisor |
| 2. Dr. Candra Irawan, S.T., M.T.
199008232015041001 | Co-Advisor |
| 3. Budi Suswanto, S.T., M.T., Ph.D.
197301281998021002 | Examiner |
| 4. Dr.Eng. Aniendhita Rizki Amalia, S.T., M.
198905212015042002 | Examiner |



SURABAYA

Januari, 2025

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa/NRP : Muhamad Rizki Ismail/5012211059
Departemen : Teknik Sipil
Dosen Pembimbing/NIP : Ahmad Basshofi Habieb, S.T., M.T.
Ph.D/1992202011038
Dr. Candra Irawan, S.T., M.T./199008232015041001

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “STUDI EFEKTIVITAS PENGGUNAAN BASE ISOLATOR TIPE LEAD RUBBER BEARING (LRB) UNTUK STRUKTUR BETON PRACETAK PADA HOTEL KAI BOUTIQUE BANDUNG” adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 24 Januari 2025

Mengetahui,
Dosen Pembimbing I



Ahmad Basshofi Habieb, S.T.,
M.T. Ph.D
1992202011038

Dosen Pembimbing II



Dr. Candra Irawan, S.T., M.T.
199008232015041001

Mahasiswa



Muhamad Rizki Ismail
5012211059

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

STATEMENT OF ORIGINALITY

The undersigned below:

Name of student / NRP : Muhamad Rizki Ismail/5012211059
Department : Civil Engineering
Advisor / NIP : Ahmad Basshofi Habieb, S.T., M.T.
Ph.D/1992202011038
Dr. Candra Irawan, S.T., M.T./199008232015041001

hereby declare that the Final Project with the title of “EFFECTIVENESS STUDY OF THE USE OF LEAD RUBBER BEARING (LRB) TYPE BASE ISOLATOR FOR PRECAST CONCRETE STRUCTURE AT KAI BOUTIQUE HOTEL BANDUNG” is the result of my own work, is original, and is written by following the rules of scientific writing.

If in the future there is a discrepancy with this statement, then I am willing to accept sanctions in accordance with the provisions that apply at Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 24 January 2025

Acknowledged
Advisor I



Ahmad Basshofi Habieb, S.T.,
M.T. Ph.D
1992202011038

Advisor II



Dr. Candra Irawan, S.T., M.T.
199008232015041001

Student



Muhamad Rizki Ismail
5012211059

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

STUDI EFEKTIVITAS PENGGUNAAN BASE ISOLATOR TIPE LEAD RUBBER BEARING (LRB) UNTUK STRUKTUR BETON PRACETAK PADA HOTEL KAI BOUTIQUE BANDUNG

Nama Mahasiswa / NRP : **Muhamad Rizki Ismail / 5012211059**
Departemen : **Teknik Sipil FTSPK - ITS**
Dosen Pembimbing : **Ahmad Basshofi Habieb, S.T., M.T. Ph.D.**
Dr. Candra Irawan, S.T., M.T.

Abstrak

Kombinasi metode pracetak dengan sistem isolasi gempa ini tidak hanya menawarkan kecepatan dan kualitas dalam proses konstruksi, tetapi juga meningkatkan kemampuan struktur untuk meredam gaya horizontal akibat gempa, memperpanjang periode alami, dan mengurangi beban pada elemen struktur atas. Hal ini menjadikan inovasi tersebut solusi yang strategis untuk menciptakan bangunan yang aman sekaligus efisien. Tipe base isolator yang digunakan pada tugas akhir ini yaitu Lead Rubber Bearing. Base isolator tipe ini memiliki redaman yang lebih besar dibandingkan base isolator pada biasanya dikarenakan terdapat leadplug di tengah base isolator. Hasil analisis pada gedung hotel KAI Boutique Bandung menunjukkan bahwa model fixed base memenuhi kriteria desain kecuali pada mode pertama yang dipengaruhi oleh eksentrisitas besar antara pusat massa dan pusat kekakuan, sehingga rentan terhadap torsi. Sebaliknya, model isolated base berhasil memenuhi seluruh kriteria desain dan menunjukkan keunggulan signifikan dibandingkan fixed base termasuk analisa histeresis loop serta ketidakberaturan struktur. Penggunaan isolator meningkatkan perpindahan arah X sebesar 845% dan Y sebesar 1310%, dengan simpangan antar tingkat lebih besar, khususnya di tingkat bawah, yang dapat diatasi dengan memperkuat elemen struktur bawah. Struktur isolated base menghasilkan gaya geser dasar lebih kecil, yaitu penurunan sebesar 5% di arah X dan 15% di arah Y. Peningkatan periode alami mencapai 164% di arah X dan 191% di arah Y. Selain itu, struktur isolated base membutuhkan volume beton 22% lebih sedikit dan penggunaan tulangan berkurang sebesar 27% dibandingkan dengan struktur fixed base, sehingga menunjukkan efisiensi material yang signifikan. Keunggulan tambahan dari struktur isolated base adalah penghematan volume material, khususnya tulangan, karena gaya dalam yang lebih kecil. Sistem ini juga memungkinkan penggunaan sistem pemikul gaya gempa SRPMM, yang lebih hemat dibandingkan SRPMK. Dengan demikian, struktur isolated base terbukti lebih efektif dan efisien dibandingkan fixed base, baik dari segi performa dinamis maupun kebutuhan material.

Kata kunci: Sistem Isolasi Dasar, Beton Pracetak, Lead Rubber Bearing, Metode Riwayat Waktu.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

EFFECTIVENESS STUDY OF THE USE OF LEAD RUBBER BEARING (LRB) TYPE BASE ISOLATOR FOR PRECAST CONCRETE STRUCTURE AT KAI BOUTIQUE HOTEL BANDUNG

Student Name / NRP : **Muhamad Rizki Ismail / 5012211059**
Department : **Teknik Sipil FTSPK - ITS**
Advisor : **Ahmad Basshofi Habieb, S.T., M.T. Ph.D.**
Dr. Candra Irawan, S.T., M.T.

Abstract

The combination of the precast method with the earthquake isolation system not only offers speed and quality in the construction process, but also enhances the structure's ability to absorb horizontal forces due to earthquakes, extends its natural period, and reduces the load on the upper structural elements. This makes the innovation a strategic solution for creating buildings that are both safe and efficient. The type of base isolator used in this thesis is Lead Rubber Bearing. This type of base isolator has greater damping than the usual base isolator because there is a leadplug in the center of the base isolator. The results of the analysis on the KAI Boutique Bandung hotel building show that the fixed base model meets the design criteria except in the first mode which is affected by the large eccentricity between the center of mass and the center of rigidity, making it vulnerable to torsion. In contrast, the isolated base model successfully met all design criteria and showed significant advantages over the fixed base including loop hysteresis analysis and structural irregularities. The use of isolators increased the X-direction displacement by 845% and Y-direction displacement by 1310%, with larger inter-level deviations, especially at the lower levels, which could be overcome by strengthening the lower structural elements. The isolated base structure resulted in a smaller base shear force, which decreased by 5% in the X-direction and 15% in the Y-direction. The increase in natural period was 164% in the X-direction and 191% in the Y-direction. In addition, the isolated base structure required 22% less concrete volume and reduced reinforcement usage by 27% compared to the fixed base structure, thus showing significant material efficiency. An additional advantage of the isolated base structure is the saving of material volume, especially reinforcement, due to smaller internal forces. The system also allows the use of SRPMM earthquake force resisting system, which is more efficient than SRPMK. Thus, the isolated base structure proved to be more effective and efficient than the fixed base, both in terms of dynamic performance and material requirements.

Keywords: Base Isolation System, Precast Concrete, Lead Rubber Bearing, Time History Analysis.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN ORISINALITAS	v
STATEMENT OF ORIGINALITY	vii
Abstrak	ix
Abstract	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL	xix
BAB 1 PENDAHULUAN	5
1.1 Latar Belakang.....	5
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Batasan Masalah	6
1.4 Tujuan.....	6
1.5 Manfaat.....	6
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 Umum.....	9
2.2 Efek Beban Gempa Pada Gedung Beton Pracetak	9
2.3 Sambungan Beton Pracetak Akibat Beban Gempa	11
2.3.1 Sambungan Basah	11
2.3.2 Sambungan Kering	11
2.4 Base Isolator Sebagai Pereduksi Beban Gempa	12
2.4.1 Friction Based Isolator	12
2.4.2 Elastomeric Rubber Bearing.....	13
2.5 Penggunaan Lead Rubber Bearing Pada Bangunan Mid-High Rise Building	13
BAB 3 METODOLOGI	15
3.1 Umum.....	15
3.2 Data Perencanaan	15
3.2.1 Data Umum Bangunan	15
3.2.2 Data Bahan Material	15
3.3 Studi Literatur.....	15
3.4 Diagram Alir.....	16
3.5 Pembebanan.....	17

3.5.1	Beban Mati.....	17
3.5.2	Beban Hidup	17
3.5.3	Beban Gempa.....	17
3.5.4	Kombinasi Pembebanan.....	20
3.6	Pemodelan dan Analisa Struktur Fixed Base.....	20
3.7	Perencanaan Base Isolator	21
3.7.1	Perhitungan Perencanaan Dimensi LRB.....	21
3.8	Pemodelan dan Analisa Struktur Isolated Base	24
3.9	Kontrol Desain Isolated Base.....	24
3.9.1	Kontrol Displacement Total.....	24
3.9.2	Kontrol Simpangan Antar Tingkat.....	24
3.9.3	Kontrol Gaya Geser Seismik.....	24
3.9.4	Kontrol Partisipasi Massa	24
3.10	Verifikasi Kapasitas LRB dengan Analisis Time History	25
3.11	Perbandingan Efektivitas Fixed Base dan Isolated Base	25
3.12	Perencanaan Struktur Primer	25
3.12.1	Perencanaan Balok Induk.....	25
3.12.2	Perencanaan Kolom	28
3.13	Kontrol Sambungan Pracetak.....	29
3.13.1	Sambungan Balok dan Kolom	31
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN	33
4.1	Data Perencanaan.....	33
4.1.1	Umum.....	33
4.1.2	Data Perencanaan	33
4.1.3	Data Komponen Elemen Struktural	33
4.1.4	Denah Komponen Elemen Struktural	34
4.2	Analisis Pembebanan	34
4.2.1	Beban Mati.....	34
4.2.2	Beban Hidup	35
4.2.3	Beban Gempa.....	35
4.3	Pemodelan dan Analisa Struktur Fixed Base.....	36
4.3.1	Umum.....	36
4.3.2	Kontrol Waktu Getar Alami Struktur.....	38
4.3.3	Kontrol Partisipasi Massa	39

4.3.4	Kontrol Gaya Geser Dasar.....	40
4.3.5	Kontrol Drift.....	42
4.3.6	Rekapitulasi Hasil Analisa Struktur <i>Fixed Base</i>	43
4.4	Perencanaan Struktur Primer Fixed Base	44
4.4.1	Perencanaan Balok Induk	44
4.4.2	Perencanaan Kolom.....	59
4.4.3	Perencanaan Tulangan Shearwall	64
4.4.4	Rekapitulasi Desain Struktur Primer	68
4.5	Pemodelan dan Analisa Struktur <i>Isolated Base</i>	70
4.5.1	Umum	70
4.5.2	Kontrol Waktu Getar Alami Struktur	70
4.5.3	Kontrol Partisipasi Massa.....	71
4.5.4	Kontrol Gaya Geser Dasar.....	72
4.6	<i>Preliminary Base Isolator</i>	74
4.6.1	Umum	74
4.6.2	Reaksi Perletakan	75
4.6.3	Kontrol Kapasitas Aksial <i>Base Isolator</i>	78
4.6.4	Kontrol Perpindahan Maksimum Desain Isolator	79
4.6.5	Kontrol Periode Efektif	82
4.7	Pemodelan dan Kontrol Desain <i>Isolated Base</i>	83
4.7.1	Pemodelan Base Isolator Pada Program Bantu	83
4.7.2	Gaya Geser Dasar Minimum	85
4.7.3	Pengecekan Perpindahan Isolator	87
4.7.4	Pengecekan Simpangan Antar Lantai.....	87
4.7.5	Kontrol Ketidakberaturan Struktur.....	89
4.7.6	Verifikasi Kapasitas LRB dengan Time History Analisis.....	93
4.8	Perencanaan Struktur Primer	100
4.8.1	Perencanaan Balok Induk	100
4.8.2	Perencanaan Kolom.....	115
4.8.3	Rekapitulasi Desain Struktur Primer	119
4.9	Perencanaan Sambungan Elemen Pracetak	121
4.9.1	Perencanaan Korbek	121
4.9.2	Perencanaan Sambungan Kolom-Balok	123
4.9.3	Rekapitulasi Desain Sambungan	128

4.10	Perbandingan Efektivitas Fixed Base dan Isolated Base	129
4.10.1	Simpangan dan Simpangan Antar Lantai.....	129
4.10.2	Gaya Geser Dasar.....	131
4.10.3	Periode Struktur	131
4.10.4	Perbandingan Berat Efektif Struktur.....	131
4.10.5	Perbandingan Desain Elemen Struktur Utama.....	132
4.10.6	Perbandingan Volume.....	133
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	135
5.1	Kesimpulan	135
5.2	Saran.....	136
DAFTAR PUSTAKA	137
LAMPIRAN	141
BIODATA PENULIS	143

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kerusakan di China Pada Gedung Beton Pracetak.....	10
Gambar 2.2 Kasus Gempa Bumi Turki 2023	10
Gambar 2.3 Sambungan balok ke kolom hybrid	11
Gambar 2.4 Friction Pendulum System	12
Gambar 2.5 Lead Rubber Bearing.....	13
Gambar 3.1 Diagram Alir.....	16
Gambar 3.2 Spektrum Respons Desain	19
Gambar 3.3 Konsol Pendek.....	30
Gambar 3.4 Sambungan Balok Induk dan Kolom	31
Gambar 4.1 Denah Elemen Struktur Fixed Base (a) dan Isolated Base (b)	34
Gambar 4.2 Respon Spektrum.....	36
Gambar 4.3 Pemodelan Struktur Fixed Base	37
Gambar 4.4 Pemodelan Kolom	61
Gambar 4.5 Pemodelan Shearwall Pada Program Bantu	65
Gambar 4.6 Pemodelan Struktur Isolated Base	70
Gambar 4.7 Denah Base Isolator	74
Gambar 4.8 Input Parameter Umum Base Isolator	84
Gambar 4.9 Input Parameter Arah U1 (a) U2 dan U3 (b).....	85
Gambar 4.10 Hasil Pemodelan Isolator.....	85
Gambar 4.11 Panjang Struktur Sudut Dalam	90
Gambar 4.12 Area Diskontinuitas Diafragma	91
Gambar 4.13 Spectral Matching Data Gempa.....	94
Gambar 4.14 Kapasitas Base Isolator.....	95
Gambar 4.15 Grafik Kapasitas Base Isolator Tipe Eksterior	95
Gambar 4.16 Histeresis Gempa SC2 Pada Joint 2	96
Gambar 4.17 Histeresis Loop Akibat Gaya Gempa Shallow Crustal 1	96
Gambar 4.18 Histeresis Loop Akibat Gaya Gempa Shallow Crustal 2	97
Gambar 4.19 Histeresis Loop Akibat Gaya Gempa Shallow Crustal 3	97
Gambar 4.20 Histeresis Loop Akibat Gaya Gempa Shallow Crustal 4	98
Gambar 4.21 Histeresis Loop Akibat Gaya Gempa Shallow Crustal 5	98
Gambar 4.22 Histeresis Loop Akibat Gaya Gempa Benioff.....	99
Gambar 4.23 Histeresis Loop Akibat Gaya Gempa Shallow Crustal 1	99
Gambar 4.24 Pemodelan Kolom	116
Gambar 4.25 Persyaratan Korbek	121
Gambar 4.26 Grafik Perbandingan Simpangan Antar Lantai	130
Gambar 4.27 Perbandingan Desain Balok	132
Gambar 4.28 Perbandingan Desain Kolom.....	133
Gambar 4.29 Pemodelan 3D Menggunakan Autodesk Revit 2025.....	133

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Koefisien Situs Fa.....	18
Tabel 3.2 Koefisien Situs Fv.....	18
Tabel 3.3 Klasifikasi Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Periode Pendek	19
Tabel 3.4 Klasifikasi Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Periode 1 Detik	19
Tabel 3.5 Tabel menentukan β_1	25
Tabel 3.6 Panjang Penyaluran Dalam Kondisi Tarik	29
Tabel 4.1 Pembebanan Beban Mati	35
Tabel 4.2 Pembebanan Beban Mati Tambahan	35
Tabel 4.3 Pembebanan Beban Hidup.....	35
Tabel 4.4 Kombinasi Pembebanan LRFD	38
Tabel 4.5 Modal Participating Mass Rasio Struktur Fixed Base	40
Tabel 4.6 Berat Efektif Struktur Fixed Base.....	41
Tabel 4.7 Simpangan Antar Tingkat Struktur Fixed Base.....	43
Tabel 4.8 Rekapitulasi Gaya Geser dan Periode Struktur <i>Fixed Base</i>	43
Tabel 4.9 Rekapitulasi Perpindahan dan Simpangan Antar Tingkat Struktur <i>Fixed Base</i>	44
Tabel 4.10 Rekapitulasi Gaya Dalam Balok.....	47
Tabel 4.11 Rekapitulasi Gaya Dalam Kolom Sesuai Kondisi	60
Tabel 4.12 Hasil Analisa Struktur Kolom	61
Tabel 4.13 Hasil Analisa Shearwall menggunakan program bantu	65
Tabel 4.14 Rekapitulasi Desain Balok.....	68
Tabel 4.15 Rekapitulasi Desain Kolom	69
Tabel 4.16 Rekapitulasi Desain Shearwall	69
Tabel 4.17 Modal Participating Mass Rasio Struktur <i>Isolated Base</i> (Masih Jepit).....	72
Tabel 4.18 Berat Efektif Struktur <i>Isolated Base</i>	73
Tabel 4.19 Joint Reaction untuk Type A	76
Tabel 4.20 Joint reaction untuk Type B.....	76
Tabel 4.21 Spesifikasi <i>Base Isolator</i>	78
Tabel 4.22 Pengecekan Kapasitas Aksial <i>Base Isolator</i>	79
Tabel 4.23 Modulus Geser Material Base Isolator	79
Tabel 4.24 Rekapitulasi Pengecekan Perpindahan Maksimum Base Isolator	82
Tabel 4.25 Hasil Perpindahan Isolator.....	87
Tabel 4.26 Hasil Perpindahan Struktur <i>Isolated Base</i>	88
Tabel 4.27 Simpangan Antar Tingkat Struktur <i>Isolated Base</i>	88
Tabel 4.28 Ketidakberaturan Torsi	89
Tabel 4.29 Kekakuan Tiap Lantai.....	92
Tabel 4.30 Massa Tiap Lantai.....	93
Tabel 4.31 Data Gempa Time History Analysis.....	94
Tabel 4.32 Rekapitulasi Gaya Dalam Balok.....	103
Tabel 4.33 Rekapitulasi Gaya Dalam Kolom Sesuai Kondisi	116
Tabel 4.34 Hasil Analisa Struktur Kolom	117

Tabel 4.35 Rekapitulasi Desain Balok	120
Tabel 4.36 Rekapitulasi Desain Kolom.....	120
Tabel 4.37 Rekapitulasi Sambungan Tipe Satu Sisi.....	128
Tabel 4.38 Rekapitulasi Sambungan Tipe Dua Sisi	128
Tabel 4.39 Perbandingan Perpindahan	129
Tabel 4.40 Rekapitulasi Perbandingan Simpangan	129
Tabel 4.41 Perbandingan Simpangan Antar Tingkat	130
Tabel 4.42 Rekapitulasi Perbandingan Simpangan Antar Lantai.....	131
Tabel 4.43 Perbandingan Base Reaction	131
Tabel 4.44 Perbandingan Periode Struktur.....	131
Tabel 4.46 Perbandingan Berat Efektif	131
Tabel 4.45 Perbandingan Volume	134

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan era konstruksi saat ini, material beton masih menjadi bahan material yang digunakan pada ilmu ketekniksipil-an baik itu pada pembangunan gedung maupun jembatan. Pada penggunaannya material beton dapat menggunakan beberapa cara yaitu metode konvensional (*Cor in situ*) dan metode pracetak. Pada pembangunan Hotel KAI Boutique di Bandung masih menggunakan metode konvensional. Metode konvensional atau *cor in situ* merupakan metode dimana pengecoran dilakukan di lokasi konstruksi. Namun konstruksi yang menggunakan metode konvensional memerlukan waktu pelaksanaan yang lebih lama karena harus menunggu beton mengeras, selain itu mutu dari beton juga perlu dikontrol karena pengaruh cuaca di area konstruksi.

Berdasarkan kondisi tersebut, metode pracetak lebih diunggulkan karena waktu konstruksi yang lebih cepat tanpa mengurangi mutu yang harus dipenuhi. Beton pracetak merupakan teknologi konstruksi dimana beton dibuat di luar area konstruksi (fabrikasi). Hal ini dapat mempercepat waktu pelaksanaan karena beton tidak perlu ditunggu hingga mengering. Jika menggunakan Beton pracetak waktu pelaksanaan dapat lebih efisien sebesar 9,5% dan menghemat tenaga kerja sebesar 23,86% (Admilhusia, 2020).

Akan tetapi, penggunaan beton pracetak masih terdapat kekurangan dimana sambungan pada elemen beton pracetak. Kerusakan beberapa elemen struktur juga dapat dilihat pada kasus gempa di turki pada 6 Februari 2023, Kerusakan yang terjadi yaitu terjadi pada tidak mencukupinya sambungan balok kolom akibat gempa, balok atap terlepas dari sambungannya dan sebagian besar struktur runtuh, beserta penutup atap dan balok purlin. Selain itu, putaran yang berlebihan pada dasar kolom akibat gaya geser menyebabkan terbentuknya engsel plastis, tekuk, dan luluhnya tulangan memanjang.(Avcil, 2023)

Oleh karena itu, perlu digunakan perkuatan terhadap gaya seismik, salah satunya adalah penggunaan *base isolator*. *Base isolator* mempunyai konsep yaitu memisahkan bangunan dengan gaya horizontal yang terjadi pada pondasi. *Base isolator* diletakkan pada dasar struktur dengan tujuan memperpanjang periode alami struktur dan gaya yang berdampak pada struktur atas dapat dikurangi karena *displacement* terkonsentrasi pada *base isolator*.(Chen dkk., 2023). Dengan menggunakan *Base Isolator* pada struktur juga dapat mereduksi gaya geser gempa dan displacement serta meningkatkan periode struktur pada gedung 15 lantai di Dhaka, Bangladesh (Rahman, 2023).

Salah satu jenis *base isolator* yang dapat digunakan yaitu *Lead Rubber Bearing (LRB)*. LRB telah banyak digunakan untuk mengurangi kerusakan akibat gempa di wilayah dengan intensitas gempa tinggi. Hingga saat ini penggunaan LRB merupakan salah satu base isolator paling sukses sejak penerapan pertamanya di Selandia Baru (Chen dkk., 2023). Oleh karena itu, dalam tugas akhir ini akan dilakukan studi efektivitas penggunaan base isolator tipe *Lead*

Rubber Bearing (LRB) pada modifikasi perencanaan struktur dengan metode beton pracetak Hotel KAI Boutique Bandung..

1.2 Rumusan Masalah

Dalam studi efektivitas penggunaan *Base Isolator* tipe *Lead Rubber Bearing* ini terdapat beberapa rumusan masalah yang muncul. Adapun rumusan masalah adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pemodelan struktur bangunan menggunakan program bantu analisa struktur?
2. Bagaimana merencanakan *Lead Rubber Bearing* yang akan digunakan pada bangunan Hotel KAI Boutique Bandung?
3. Bagaimana cara pemilihan rekaman gempa pada analisa gempa riwayat waktu?
4. Bagaimana perbandingan perilaku struktur antara fixed base dan isolated base?
5. Bagaimana pengaruh penggunaan base isolation terhadap kebutuhan volume atau dimensi elemen struktur utama?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam studi efektivitas penggunaan base isolation tipe *Lead Rubber Bearing* pada modifikasi perencanaan struktur dengan metode beton pracetak pada Hotel KAI Boutique Bandung adalah sebagai berikut:

1. Studi efektivitas hanya dilakukan berdasarkan parameter gempa di kota Bandung dengan kondisi tanah SC
2. Perencanaan LRB hanya menggunakan produk dari Bridgestone Seismic Isolation Product.
3. Studi efektivitas tidak melakukan analisa waktu dan biaya.

1.4 Tujuan

Adapun tujuan dari studi efektivitas penggunaan *base isolation* tipe *Lead Rubber Bearing* pada modifikasi perencanaan struktur dengan metode beton pracetak pada Hotel KAI Boutique Bandung adalah sebagai berikut:

1. Melakukan pemodelan Analisa struktur bangunan menggunakan program bantu Analisa struktur,
2. Merencanakan *Lead Rubber Bearing* yang akan digunakan pada bangunan Hotel KAI Boutique Bandung,
3. Melakukan pemilihan rekaman gempa pada analisa gempa riwayat waktu.
4. Menghasilkan perbandingan perilaku struktur antara fixed base dan isolated base,
5. Melakukan analisa pengaruh penggunaan base isolation terhadap kebutuhan volume atau dimensi elemen struktur utama.

1.5 Manfaat

Manfaat yang diharapkan dalam penyusunan tugas akhir dengan judul studi efektivitas penggunaan base isolation tipe *Lead Rubber Bearing* pada modifikasi perencanaan struktur dengan metode beton pracetak pada Hotel KAI Boutique Bandung adalah sebagai berikut:

1. Menambah wawasan dan ilmu khususnya kepada penulis mengenai perencanaan bangunan menggunakan metode beton pracetak dan perkuatan seismik menggunakan base isolation.
2. Sebagai bahan pembelajaran dalam mengembangkan ilmu khususnya mengenai metode beton pracetak dan base isolation serta dapat digunakan sebagai bahan kajian untuk penelitian yang akan datang.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Bab ini akan membahas dasar teori secara umum dari beberapa jurnal dan sumber ilmiah yang akan digunakan sebagai dasar dalam melakukan studi efektivitas penggunaan base isolator tipe *lead rubber bearing* pada Modifikasi Perencanaan Struktur Hotel KAI Boutique Bandung.

2.2 Efek Beban Gempa Pada Gedung Beton Pracetak

Metode beton pracetak adalah suatu metode dimana komponen beton di fabrikasi terlebih dahulu pada suatu tempat selanjutnya dipasang di lokasi proyek. Sistem bangunan pracetak terdiri dari elemen-elemen pracetak yang dirangkai membentuk suatu sistem untuk menahan beban gravitasi dan beban lateral. Karena fleksibilitas yang ditawarkan, seperti pengerjaan simultan, standarisasi elemen, dan kontrol kualitas yang baik pada elemen RCC buatan pabrik, menjadikan konstruksi bangunan pracetak adalah solusi paling layak untuk pekerjaan konstruksi di negara berkembang (Ridhotullah, 2018). Namun, selain kelebihan yang diinginkan, ada beberapa kelemahan terkait struktur pracetak salah satu kelemahan utama penggunaan struktur pracetak adalah kerentanannya ketika terkena beban lateral yang kuat. Pada investigasi yang dilakukan Belleri pada tahun 2015 (Belleri dkk., 2015). Mereka menemukan bahwa kerentanan struktur pracetak terhadap gempa terutama disebabkan oleh beberapa faktor:

- i. Tidak adanya sambungan mekanis yang memadai antara elemen-elemen struktural pracetak menyebabkan gaya horizontal dari balok ke kolom tidak dapat ditransfer dengan baik. Hal ini mengakibatkan hilangnya penopang dan jatuhnya balok serta elemen atap.
- ii. Desain dan perincian elemen daktail yang kurang memadai
- iii. Diafragma yang tidak cukup kuat dan sangat fleksibel
- iv. Ketidakcocokan perpindahan antara elemen-elemen struktural dan non-struktural.

Begitu pun gempa yang pernah terjadi pada sebuah pabrik di kota Mianzhu, China. Seperti pada **Gambar 2.1** kerusakan terjadi pada fasad bangunan dan beberapa sambungan penopang elemen kolom dan beton pracetak mengalami retakan. (Zhao dkk., 2009)



Gambar 2.1 Kerusakan di China Pada Gedung Beton Pracetak
(Zhao dkk., 2009)

Hal ini juga telah dianalisis oleh (Avcil, 2023) Pada gempa yang terjadi di Adiyaman, Turki, salah satu kota yang terdampak gempa pada tahun 2023, terlihat efek beban gempa pada bangunan beton pracetak. Kolom dan balok beton pracetak diperkuat dihubungkan dengan 2 besi tulangan. Karena sambungan antara kolom dan balok tidak memadai saat gempa, balok atap terlepas dari sambungannya sehingga sebagian besar struktur, termasuk penutup atap dan balok purlin, runtuh. Selain itu, rotasi berlebihan pada dasar kolom akibat gaya geser menyebabkan terbentuknya sendi plastis, *buckling*, dan lelehnya tulangan longitudinal. Pada *Gambar 2.2a – c* dapat dilihat bahwa kerusakan yang terjadi pada sambungan balok ke kolom, dan *Gambar 2.2d – e* kerusakan terjadi akibat *buckling* pada kolom. (Avcil, 2023)



Gambar 2.2 Kasus Gempa Bumi Turki 2023
(sumber : Avcil, 2023)

Beberapa kerusakan yang terjadi akibat beban gempa pada gedung beton pracetak terjadi karena elemen sambungan pracetak yang tidak mampu menahan beban gempa. Oleh karena itu perlu diperhatikan dan dilakukan penelitian lebih lanjut terkait sambungan yang akan digunakan, agar bangunan yang menggunakan pracetak tetap bertahan ketika terjadinya gempa.

2.3 Sambungan Beton Pracetak Akibat Beban Gempa

2.3.1 Sambungan Basah

Sambungan basah adalah sambungan antara beton pracetak yang ditandai dengan adanya besi tulangan yang menonjol keluar dari beton pracetak. Besi tulangan ini dihubungkan dengan besi tulangan dari beton pracetak lainnya dan kemudian dicor di tempat. Proses penyambungan antar tulangan dapat dihubungkan dengan bantuan *mechanical joint* atau *mechanical coupler*. Sambungan dengan tipe seperti ini sangat cocok digunakan pada bangunan di daerah rawan gempa karena dapat menjadikan masing masing komponen monolit.

2.3.2 Sambungan Kering

Sambungan kering ini menggunakan pelat besi yang akan dihubungkan antar komponen beton precetak dengan cara di las atau di baut. Penggunaan. Salah satu inovasi sambungan balok-ke-kolom pracetak hibrida yang diusulkan oleh (Ghayeb dkk., 2017) menggunakan pelat baja menonjol untuk menghubungkan balok ke kolom pracetak *Gambar 2.3*. Kolom pracetak terdiri dari dua tabung baja berongga di ujung atas dan bawahnya. Pelat baja pada balok dihubungkan ke tabung baja dengan baut dan mur. Evaluasi kinerja seismik sambungan ini melalui pembebanan siklik menunjukkan bahwa sambungan tersebut memiliki siklus beban-perpindahan yang stabil dan disipasi energi lebih tinggi dibandingkan sambungan beton bertulang monolitik, menunjukkan respon yang memuaskan terhadap beban gempa. (Ghayeb dkk., 2017)



Gambar 2.3 Sambungan balok ke kolom hybrid
(Sumber : Ghayeb dkk., 2017)

Selama beberapa dekade terakhir, banyak sambungan pracetak inovatif antara balok dan kolom telah dikembangkan. Sebagian besar sambungan ini menunjukkan kinerja seismik yang baik. Namun, banyak yang cukup rumit dan memerlukan pekerja berpengalaman untuk

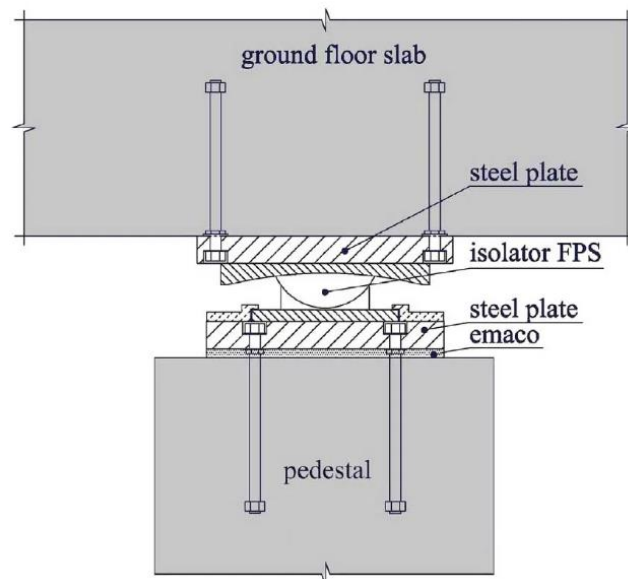
pemasangannya. Biaya fabrikasi sambungan ini juga merupakan masalah yang belum banyak dibahas dalam studi sebelumnya. Sehingga pada tugas akhir ini tipe sambungan yang akan digunakan yaitu sambungan basah.

2.4 Base Isolator Sebagai Pereduksi Beban Gempa

Konsep dasar base isolator adalah memisahkan struktur atas dengan struktur bawah, atau lebih tepatnya memisahkan struktur dari beban gempa yang dapat menyebabkan kerusakan struktur. *Base isolator* diletakkan pada dasar struktur dengan tujuan memperpanjang periode alami struktur dan gaya yang berdampak pada struktur atas dapat dikurangi karena *displacement* terkonsentrasi pada *base isolator* (Chen dkk., 2023). Base isolator juga akan meningkatkan periode fundamental struktur dari frekuensi dominan gerakan tanah akibat gempa bumi serta menyediakan peredaman untuk mengurangi respons sehingga percepatan respon dapat berkurang dan gaya geser dasar akan berkurang. Jenis base isolator terbagi menjadi beberapa tipe sesuai dengan mekanisme dan bahan yang digunakan.

2.4.1 Friction Based Isolator

Friction Based Isolator menggunakan elemen geser antara pondasi dan superstruktur. Terdapat dua jenis bantalan geser datar dan melengkung. Perpindahan geser dikontrol oleh pegas tegangan tinggi, bantalan karet laminasi, atau bentuk melengkung permukaan geser, yang memberikan gaya pemulih untuk mengembalikan struktur ke posisi seimbang. Jenis paling umum dari tipe ini yaitu *Friction Pendulum System (FPS)* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4. FPS bertujuan untuk memperpanjang periode struktur dengan prinsip pendulum. FPS terdiri dari permukaan cekung baja tahan karat berlapis material komposit. Saat terjadi gempa besar, penggeser bergerak di permukaan cekung, mengangkat struktur, dan membuang energi melalui gesekan. Isolator ini menghasilkan gaya pemulih dari aksi pendulum struktur pada permukaan cekung. (Antoniou, 2022)



Gambar 2.4 Friction Pendulum System

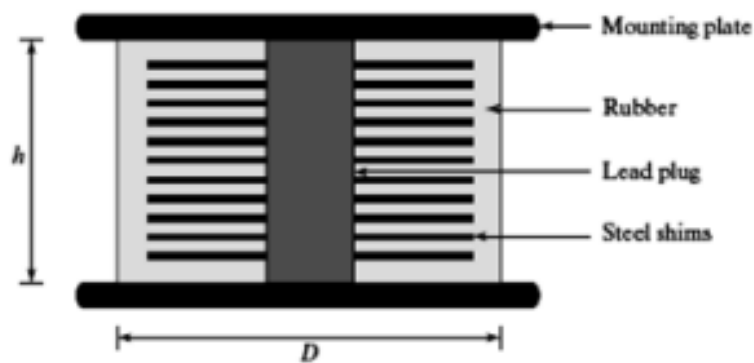
2.4.2 Elastomeric Rubber Bearing

Elastomeric Isolation yang bisa memiliki redaman rendah *Low Damping Rubber Bearing (LDRB)* atau redaman tinggi *High Damping Rubber Bearing (HDRB)* tergantung pada bahannya, terdiri dari lapisan elastomer (karet sintetis atau alami) dan pelat baja. Isolator ini sangat kaku secara vertikal, mampu menahan beban besar dengan sedikit deformasi, tetapi fleksibel di bawah beban lateral. Pelat baja menambah kekakuan vertikal dan membatasi deformasi lateral karet. Parameter utama desain isolator elastomer meliputi beban vertikal maksimum, kekakuan horizontal, dan perpindahan horizontal relatif maksimum.

Tipe lain dari elastomeric ini yaitu *Lead Rubber Bearing (LRB)*, bantalan karet timbal elastomer serupa dengan bantalan elastomer biasa tetapi memiliki silinder pusat yang menyediakan redaman lebih besar melalui deformasi geser bahan timbal, karena bantalan biasa memiliki kapasitas disipasi energi yang terbatas (Antoniou, 2022).

2.5 Penggunaan Lead Rubber Bearing Pada Bangunan Mid-High Rise Building

Lead Rubber Bearing (LRB), elastomer umumnya terdiri dari dua pelat baja di bagian atas dan bawah bantalan, beberapa lapisan elastomer dan shim baja yang disusun bergantian, serta inti timbal di tengahnya seperti pada Gambar 2.5. Bahan elastomer memberikan fleksibilitas lateral, inti timbal berfungsi untuk disipasi energi atau redaman, sedangkan shim baja internal memberikan kapasitas beban vertikal. Shim baja bersama dengan pelat baja atas dan bawah juga membatasi inti timbal di tengah.



Gambar 2.5 Lead Rubber Bearing
(Hameed dkk., 2008)

Jika melihat dari penggunaan LRB pada gedung diatas 10 lantai dapat dilihat pada studi yang dilakukan (Rahman, 2023) yaitu studi penggunaan *base isolator* tipe *Lead Rubber Bearing* pada bangunan gedung 15 lantai pada zona gempa II. Hasil dari studi yang dilakukan yaitu penggunaan base isolator tipe *lead rubber bearing* dapat mengurangi presentase penggunaan tulangan sebesar 30-40%. Penggunaan *base isolator* juga dapat mereduksi simpangan antar tingkat sebesar 58% dan gaya geser dasar sebesar 21.2%, serta dapat meningkatkan periode struktur sebesar 48.2%. (Rahman, 2023)

Studi lain yang melakukan analisa serupa juga sudah pernah dilakukan oleh (Munot, 2021) yaitu pada bangunan 11 lantai. Hasil studi yang dilakukan yaitu mereduksi *story displacement* sebesar 40-44%, mereduksi 88% *base shear*, dan mereduksi *story drift* 25%.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 3

METODOLOGI

3.1 Umum

Tugas akhir ini memiliki susunan langkah-langkah pengerjaan sesuai dengan urutan kegiatan yang akan dilakukan. Urutan kegiatan ini dimulai dari pengumpulan data dan studi literatur sampai dengan menghasilkan perbandingan efektivitas penggunaan LRB serta gambar teknik.

3.2 Data Perencanaan

Berikut ini merupakan data data yang didapatkan dari modifikasi perencanaan struktur dengan metode beton pracetak pada Hotel KAI Boutique Bandung:.

3.2.1 Data Umum Bangunan

- Nama gedung = Hotel KAI Boutique Bandung
- Lokasi = Cihampelas, Bandung
- Fungsi = Gedung hotel
- Jumlah lantai = 13 lantai
- Struktur utama = Struktur Beton Bertulang

3.2.2 Data Bahan Material

- Mutu beton = 35 MPa
- Tegangan leleh Baja = 420 MPa

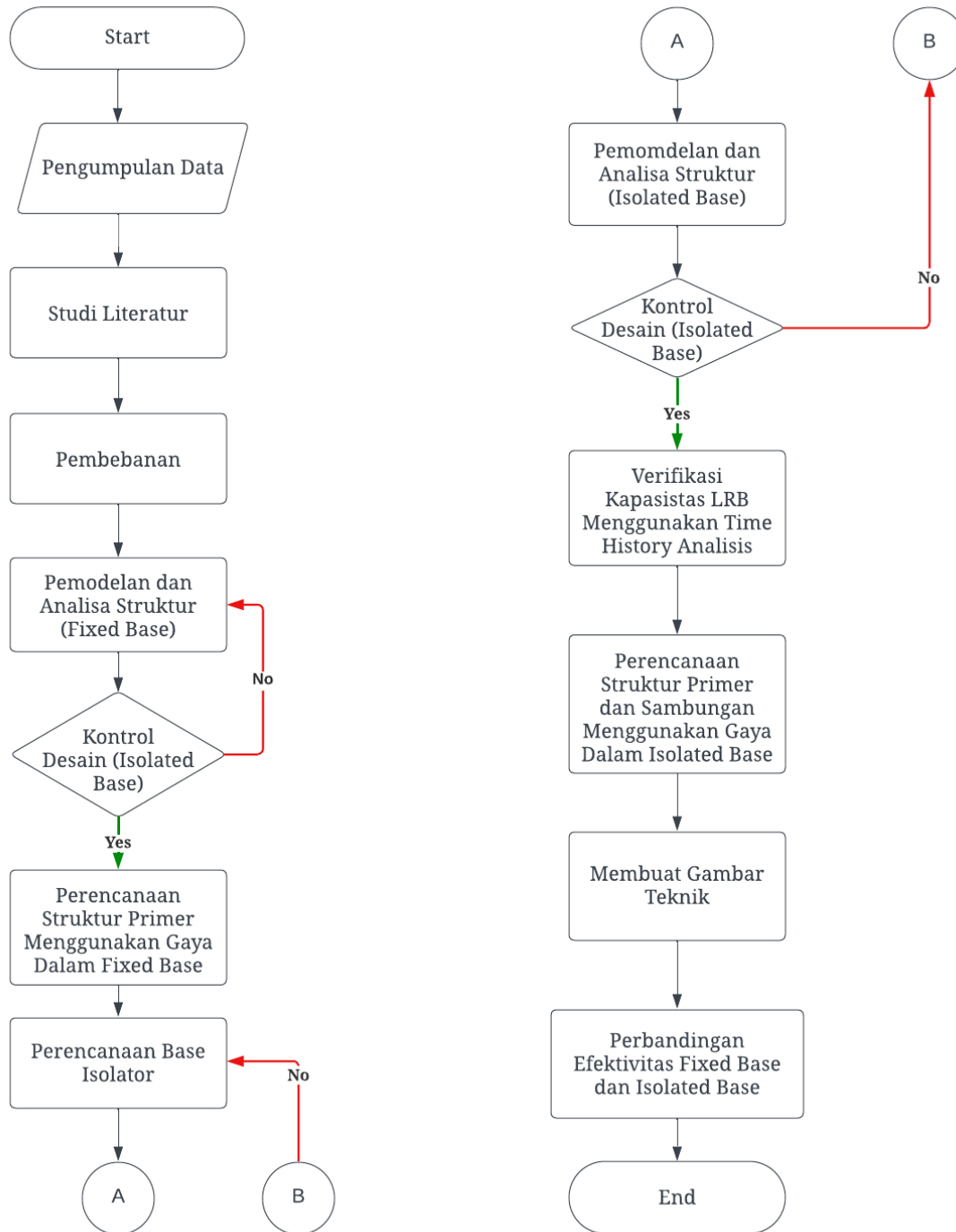
3.3 Studi Literatur

Dalam proses mengerjakan tugas akhir ini, digunakan beberapa peraturan dan buku untuk membantu pengerjaan tugas akhir. Peraturan dan buku tersebut antara lain:

1. SNI 2847:2019 Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Beton. (Badan Standarisasi Nasional, 2019b)
2. SNI 1726:2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Gedung dan Non Gedung. (Badan Standarisasi Nasional, 2019a)
3. SNI 1727:2020 Tata Cara Perhitungan Pembebanan untuk Bangunan Gedung.(Badan Standarisasi Nasional, 2020)
4. James M. Kelly dan F. Naeim (1999) : Design of Seismic Isolated Structures (Naeim & Kelly, 1999)
5. PCI Design Handbook 7th Edition : Precast and Prestressed Concrete (Precast/Prestressed Concrete Institute, 2010)
6. Ahmad Basshofi Habieb (2023) : Struktur Gedung Tahan Gempa Dengan Sistem Isolasi(Habieb, 2023)

3.4 Diagram Alir

Berikut di bawah ini merupakan diagram alir dari tahap – tahap pengerjaan Tugas Akhir ini.



Gambar 3.1 Diagram Alir

3.5 Pembebanan

3.5.1 Beban Mati

Menurut RSNi2 1727:2020 beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, finishing, dan komponen arsitektural serta struktural lainnya, serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat derek dan sistem pengangkut material. Untuk nilai beban mati akan mengikuti sesuai yang disyaratkan pada Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung 1983 (PPIuG 1983), RSNi2 1727:2020, serta brosur-brosur.

3.5.2 Beban Hidup

Menurut RSNi2 1727:2020 beban hidup adalah beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati. Untuk nilai yang akan digunakan pada beban hidup, acuan yang dipakai berasal dari RSNi2 1727:2020 maupun sumber aslinya, yaitu ASCE 7-16.

3.5.3 Beban Gempa

Analisis pembebanan gempa mengacu pada SNI 1726 : 2019. Lokasi yang ditinjau sesuai dengan lokasi objek studi yaitu Kota Bandung. Berikut merupakan tahap-tahap mendapatkan beban gempa:

1. Menentukan kategori risiko dan faktor keutamaan gempa pada SNI 1726:2019 pasal 4.1.2
2. Menentukan kelas situs sesuai SNI 1726:2019 pasal 5.3
3. Menghitung parameter respons spektral sesuai SNI 1726:2019 pasal 6.2 seperti pada persamaan (3-1) dan (3-2).

$$S_{MS} = Fa \times S_S \quad (3-1)$$

$$S_{M1} = Fv \times S_1 \quad (3-2)$$

Keterangan :

S_{MS} = Parameter percepatan respons spektral MCE pada periode pendek

Fa = Koefisien situs untuk periode pendek

S_S = Parameter respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan untuk periode pendek

S_{M1} = Percepatan percepatan respons spektral MCE pada periode 1 detik

Fv = Koefisien situs untuk periode panjang

S_1 = Parameter respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan untuk periode 1,0 detik

Koefisien Fa dan Fv diambil sesuai Tabel 3.1 dan Tabel 3.2.

Tabel 3.1 Koefisien Situs Fa
(Sumber SNI 1726:2019 Tabel 6)

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) terpetakan pada periode pendek, T = 0,2 detik, S _s					
	S _s ≤ 0.25	S _s = 0.5	S _s = 0.75	S _s = 1	S _s = 1.25	S _s > 1.5
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik					

Tabel 3.2 Koefisien Situs Fv
(Sumber SNI 1726:2019 Tabel 7)

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) terpetakan pada periode 1 detik, S ₁					
	S _s ≤ 0.1	S _s = 0.2	S _s = 0.3	S _s = 0.4	S _s = 0.5	S _s > 0.6
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik					

4. Menghitung parameter spektral desain sesuai SNI 1726:2019 pasal 6.3 seperti pada persamaan (3-3) dan (3-4).

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times S_{MS} \quad (3-3)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times S_{M1} \quad (3-4)$$

Keterangan :

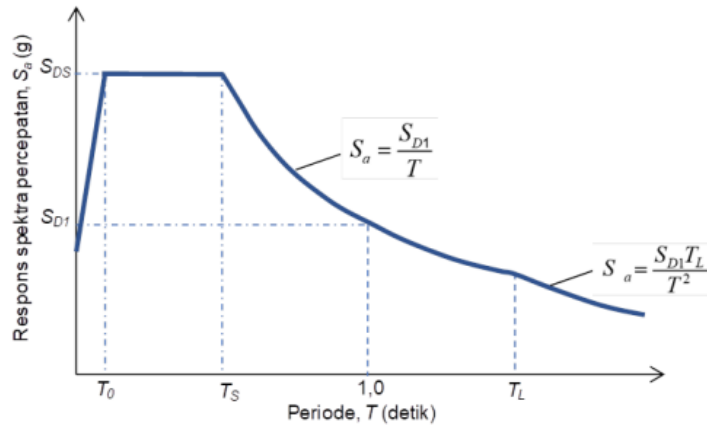
S_{DS} = Parameter percepatan respons spektral pada periode pendek, redaman 5 persen.

S_{MS} = Parameter percepatan respons spektral MCE pada periode pendek.

S_{D1} = Parameter percepatan respons spektral pada periode 1 detik, redaman 5 persen.

S_{M1} = Percepatan percepatan respons spektral MCE pada periode 1 detik.

5. Membuat respons spektrum desain sesuai SNI 1726:2019 pasal 6.4 seperti pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Spektrum Respons Desain
(Badan Standarisasi Nasional, 2019b)

6. Menentukan kategori desain seismik (KDS) sesuai SNI 1726:2019 pasal 6.5 seperti pada Tabel 3.3 dan Tabel 3.4.

Tabel 3.3 Klasifikasi Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Periode Pendek
(Sumber SNI 1726:2019 Tabel 8)

Nilai S_{DS}	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0.167$	A	A
$0.167 < S_{DS} < 0.33$	B	C
$0.33 < S_{DS} < 0.5$	C	D
$0.5 < S_{DS}$	D	D

Tabel 3.4 Klasifikasi Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Periode 1 Detik
(Sumber SNI 1726:2019 Tabel 9)

Nilai S_{D1}	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0.067$	A	A
$0.067 < S_{D1} < 0.133$	B	C
$0.133 < S_{D1} < 0.2$	C	D
$0.2 < S_{D1}$	D	D

7. Menentukan nilai, R, Cd, dan Ω_0 sesuai SNI 1726:2019 pasal 7.2.2
 8. Menghitung koefisien respons seismik sesuai SNI 1726:2019 pasal 7.8.1.1 harus ditentukan sesuai dengan persamaan seperti pada persamaan (3-5).

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\frac{R}{I_e}} \quad (3-5)$$

Keterangan :

S_{DS} = Percepatan respons spektrum desain dalam rentang periode pendek

R = Faktor modifikasi respons

I_e = Faktor keamanan bangunan

9. Menghitung gaya geser dasar seismik sesuai SNI 1726:2019 pasal 7.8.1 harus ditentukan sesuai dengan persamaan (3-6).

$$V = C_s \times W \quad (3-6)$$

Keterangan :

C_s = koefisien respons seismik

W = Berat seismik efektif

3.5.4 Kombinasi Pembebanan

Untuk kombinasi pembebanan yang akan digunakan merujuk pada SNI 2847:2019 tabel 5.3.1 dengan kombinasi sebagai berikut:

1. 1.4 D
2. 1.2 D + 1.6 L + 0.5 (Lr atau R)
3. 1.2 D + 1.6 (Lr atau R) + (L atau 0.5 W)
4. 1.2 D + W + L + 0.5 (Lr atau R)
5. 1.2 D + E + L
6. 0.9 D + W
7. 0.9 D + E

Keterangan :

D = Beban mati

L = Beban hidup

Lr = Beban hidup atap

R = Beban hujan

W = Beban angin

E = Beban gempa

3.6 Pemodelan dan Analisa Struktur Fixed Base

Untuk pemodelan dan analisa struktur dipakai program bantu analisa struktur. Dari pemodelan ini akan didapatkan hasil sebagai berikut:

- Base reaction
- Periode struktur
- Gaya geser dasar seismik
- Displacement
- Partisipasi massa

- Gaya dalam tiap elemen

3.7 Perencanaan Base Isolator

Pada tugas akhir ini tipe base isolator yang akan digunakan yaitu tipe Lead Rubber Bearing dari Bridgestone. Beberapa acuan yang digunakan dalam proses perencanaan seperti SNI 1726:2019 dan beberapa buku mengenai perencana struktur dengan sistem isolasi. Untuk merencanakan base isolator, diperlukan nilai-nilai yang diperoleh dari pemodelan fixed base.

3.7.1 Perhitungan Perencanaan Dimensi LRB

Berikut adalah langkah-langkah dalam menentukan base isolator yang akan digunakan:

1. Menentukan Periode Target

Berdasarkan analisa fixed base akan didapatkan periode struktur. Selanjutnya bangunan akan direncanakan memiliki periode yang disesuaikan rencana.

2. Menentukan Dimensi dan Spesifikasi Awal Isolator

Menentukan diameter luar isolator dan diameter leadplug. Untuk spesifikasi isolator seperti α_{PB} , α_P , dan G_r dapat melihat brosur dari Bridgestone.

3. Menentukan nilai kuat karakteristik (Qd) dan Kekakuan setelah leleh (k2)

Untuk menentukan nilai kuat karakteristik (Qd) sebagai berikut:

$$Qd = C_{QD} \times \alpha_{PB} \times A_p \quad (3-7)$$

Keterangan :

Qd = Kuat karakteristik

C_{QD} = Faktor koreksi kekakuan setelah leleh akibat ketergantungan terhadap regangan

α_{PB} = Tegangan geser lead core

A_p = Luas area lead plug

Nilai C_{QD} berdasarkan referensi dapat menggunakan 1. Untuk menghitung nilai k2 (kekakuan setelah leleh), perlu menghitung nilai kekakuan rubber (Kr) dan kekakuan lead core (Kp) seperti berikut:

$$Kr = \frac{G_r \times A_r}{T_r} \quad (3-8)$$

$$Kp = \frac{\alpha_P \times A_p}{T_r} \quad (3-9)$$

$$k2 = C_{kd} \times (Kr + Kp) \quad (3-10)$$

Keterangan :

Kr = Kekakuan rubber,

G_r = Modulus geser karet,

A_r = Luas area karet,

T_r = Tebal karet,

Kp = Kekakuan lead plug,

α_P = Modulus geser lead core,

- A_p = Luas area lead plug,
- C_{kd} = Faktor koreksi dari pengaruh regangan geser,
- k_2 = Kekakuan setelah leleh.

4. Menentukan nilai kekakuan awal (k_1)

Proses menentukan nilai kekakuan awal dapat menggunakan rumus seperti berikut:

$$k_1 = \beta \times k_2 \quad (3-11)$$

Dengan nilai β dapat menggunakan nilai 13.

Keterangan :

- k_1 = Kekakuan awal LRB,
- β = Rasio antara kekakuan awal dan kekakuan post-elastik,
- k_2 = Kekakuan setelah leleh.

5. Menentukan nilai redaman ekivalen (ξ_{eq})

Untuk menentukan nilai redaman ekivalen, dapat digunakan rumus sebagai berikut:

$$\xi_{eq} = \frac{2 Q_d \left[\gamma \cdot T_r - \frac{Q_d}{(\beta - 1)k_2} \right]}{\pi k_M (\gamma \cdot T_r)^2} \quad (3-12)$$

Keterangan :

- ξ_{eq} = Redaman ekivalen
- Q_d = Faktor koreksi kekakuan setelah leleh akibat ketergantungan terhadap regangan
- γ = Regangan geser
- T_r = Tebal rubber
- β = Rasio antara kekakuan awal dan kekakuan post-elastik,
- k_2 = Kekakuan setelah leleh.

6. Melakukan kontrol kekuatan isolator terhadap tegangan kritis

Beberapa parameter yang harus dilakukan pengecekan yaitu nilai P_i , σ'_{cr} , dan σ_L . Untuk menentukan parameter parameter tersebut, perlu melakukan perhitungan beberapa parameter yaitu:

$$R = \frac{D_R}{T_r} \quad (3-13)$$

Kemudian untuk nilai σ_{cr} dan σ_L dapat dilihat pada brosur bridgestone. Kemudian dilakukan perhitungan terhadap parameter yang akan dilakukan kontrol yaitu

$$P_i = \frac{P}{A_r} \quad (3-14)$$

$$\sigma'_{cr} = \sigma_{cr} \times \left(1 - 0.9 \frac{V}{R} \right) \quad (3-15)$$

Keterangan :

- P_i = Tegangan tekan pada base isolation,

- P = Beban layan yang diterima kolom dasar,
- A_r = Luas area rubber,
- σ'_{cr} = Tegangan kritis saat deformasi maksimal,
- σ_{cr} = Tegangan kritis,
- γ = Regangan geser,
- R = Rasio diameter dengan tinggi isolator.

Setelah dilakukan perhitungan, harus dipastikan nilai P_i lebih besar dari σ'_{cr} dan σ_L .

7. Melakukan kontrol perpindahan maksimum

Perpindahan maksimum harus dikontrol terhadap perpindahan ijin isolator, dengan persamaan sebagai berikut:

$$D_{allow} = Y_m \times T_r \quad (3-16)$$

Dengan nilai Y_m didapatkan dari brosur bridgestone. Nilai perpindahan maksimum (D_M) dan perpindahan maksimum total (D_{TM}) dapat didapatkan menggunakan persamaan (3-17) dan (3-19).

$$D_M = \frac{g \times S_{M1} \times T_M}{4 \times \pi^2 \times B_M} \quad (3-17)$$

$$T_M = \alpha \times T_f \quad (3-18)$$

$$D_{TM} = D_M \times \left(1 + \left(\frac{y}{P_T^2}\right) \frac{12 \times e}{b^2 + d^2}\right) \quad (3-19)$$

Keterangan :

D_{allow} = Batas ijin perpindahan isolator

Y_m = Regangan geser maksimum,

T_r = Tebal rubber,

D_M = Perpindahan lateral isolator,

S_{M1} = Percepatan percepatan respons spektral MCE pada periode 1 detik,

T_M = Target periode struktur isolated base,

B_M = Faktor redaman,

T_f = Periode struktur,

D_{TM} = Perpindahan total maksimum.

Setelah dilakukan perhitungan, harus dipastikan nilai D_{TM} lebih kecil dari D_{allow} .

8. Menghitung kekakuan efektif isolator k_{mi}

Dapat dihitung berdasarkan secara grafis.

9. Menghitung kekakuan total struktur isolated base $k_{m total}$

Untuk menghitung kekakuan isolator total dapat menggunakan persamaan (3-20).

$$K_{M total} = \sum K_{mi} \quad (3-20)$$

Keterangan :

$K_{M total}$ = Kekakuan total

K_{mi} = Kekakuan satu isolator

10. Menghitung periode desain struktur isolated base T_{m2}

Untuk menghitung hasil desain periode sistem isolasi T_{m2} dapat menggunakan persamaan (3-21).

$$T_{M2} = 2\pi \times \sqrt{\frac{w \text{ total}}{g \times K_{M \text{ total}}}} \quad (3-21)$$

Keterangan :

T_{M2} = Periode struktur isolated base,

$K_{M \text{ total}}$ = Kekakuan total struktur isolated base.

11. Melakukan kontrol error hasil perencanaan isolator

Kontrol perlu dilakukan dari hasil perencanaan isolator, batas kesalahan yang ditentukan yaitu $< 10\%$. Jika kontrol tidak sesuai dengan batas yang ditentukan, maka dapat dilakukan perencanaan ulang dengan mengubah parameter yang ditentukan oleh perencana.

3.8 Pemodelan dan Analisa Struktur Isolated Base

Untuk pemodelan dan analisa struktur dipakai program bantu analisa struktur.

3.9 Kontrol Desain Isolated Base

Hasil analisis yang telah menggunakan base isolator perlu diperiksa kembali untuk memastikan kesesuaiannya dengan syarat yang ditentukan. Secara umum, kontrol struktur isolated base hampir sama dengan kontrol fixed base. Sebagai acuan, digunakan SNI 1726:2019 Pasal 12 untuk struktur isolated base.

3.9.1 Kontrol Displacement Total

SNI 1726:2019 pasal 12.5.3.5 mengatur perpindahan rencana total (D_{TD}) dan maksimum (D_{TM}) tidak boleh kurang dari 1.1 kali D_D dan D_M .

3.9.2 Kontrol Simpangan Antar Tingkat

Batas simpangan antar tingkat dalam analisis, diatur tidak boleh melebihi $0,015 \text{ hsx}$ (SNI 1726:2019 Pasal 12.6.4.4). Simpangan antar tingkat harus dihitung berdasarkan rumus pada fixed base, namun nilai C_d harus diganti dengan RI . Nilai RI adalah $3/8$ dari R yang diambil dari SNI 1726:2019 Tabel 12, dengan batasan $1 \leq RI \leq 2$.

3.9.3 Kontrol Gaya Geser Seismik

Untuk analisis, geser rencana pada setiap tingkat tidak boleh kurang dari yang dihasilkan oleh SNI 1726:2019 Persamaan 137, dan nilai V_s harus $\geq 100\%$ dari yang dihitung dalam SNI 1726:2019 Persamaan 134.

3.9.4 Kontrol Partisipasi Massa

Kontrol partisipasi massa mengacu pada SNI 1726:2019 Pasal 7.9.1.1, yang menyatakan bahwa analisis harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar 100% dari massa struktur. Namun, sebagai alternatif, dapat digunakan 90% dari massa aktual struktur.

3.10 Verifikasi Kapasitas LRB dengan Analisis Time History

Untuk mengecek kapasitas dari LRB, histeresis loop dari peristiwa gempa yang terjadi harus berada dalam kapasitas histeresis dari isolator. Histeresis loop akibat gempa pada tiap-tiap isolator bisa didapatkan dengan analisis time history. Digunakan 7 rekaman gempa yang diskalakan terhadap respon spektrum Kota Bandung. Di Indonesia, data riwayat waktu percepatan tanah umumnya tidak ditemukan sehingga menggunakan riwayat percepatan tanah yang tercatat di lokasi lain yang diambil dari database riwayat gempa PEER Barkeley dan Natural Hazards Risks and Resiliency Research Center (NHR3).

3.11 Perbandingan Efektivitas Fixed Base dan Isolated Base

Hasil yang didapatkan dari pemodelan dan analisa struktur isolated base akan dibandingkan dengan analisa struktur fixed base untuk melihat efektivitas penggunaan LRB. Beberapa data yang akan dibandingkan diantaranya sebagai berikut:

1. *Story drift*
2. Gaya geser dasar
3. Periode Struktur
4. Volume Struktur Utama

3.12 Perencanaan Struktur Primer

Struktur primer adalah struktur utama yang akan menopang bangunan. Struktur primer terdiri dari 2 komponen yaitu balok induk dan kolom. Perhitungan yang dilakukan akan dihitung berdasarkan SNI 2847:2019. Berikut merupakan langkah perencanaan struktur primer:

3.12.1 Perencanaan Balok Induk

Perencanaan yang menggunakan balok pracetak harus melakukan perhitungan balok dalam beberapa kondisi seperti saat pengangkatan, sebelum komposit dan setelah komposit. Kemudian perencanaan tulangan juga perlu meninjau momen yang dihasilkan dari tiap-tiap kondisi tersebut. Balok induk akan menerima momen dan geser, sehingga perlu direncanakan tulangan longitudinal dan tulangan transversal. Sebagai acuan dalam merencanakan balok induk, digunakan SNI 2847:2019 pasal 9, 18, dan 22. Berikut langkah pengerjaan perencanaan balok induk:

3.12.1.1 Tulangan Longitudinal

Balok merupakan elemen yang menahan gaya lentur. Tahapan dalam merencanakan tulangan longitudinal sebagai berikut:

1. Menentukan data spesifikasi perencanaan
2. Mendapat hasil perhitungan Momen maksimum dari program bantu analisa struktur.
3. Menentukan nilai β_1 berdasarkan nilai yang ditentukan di SNI 2847:2019 pada tabel 22.2.2.4.3 yang ditunjukkan pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Tabel menentukan β_1
(Sumber SNI 2847:2019 Tabel 22.2.2.4.3)

f'_c (MPa)	β_1
$17 < f'_c < 28$	0,85

$28 < f'c < 55$	$0,85 - \left(\frac{0,05 \times (f'c - 28)}{7} \right)$
$f'c > 55$	0,65

- Menentukan batasan syarat gaya dan geometri
- Menentukan batasan area tulangan minimum yang disyaratkan sesuai SNI Pasal 9.6.1.2 yang ditunjukkan pada persamaan (3-22) dan (3-23).

$$A_{s_{min1}} = \frac{0,25 \times \sqrt{f'c}}{f_y} \times b_w \times d \quad (3-22)$$

$$A_{s_{min2}} = \frac{1,4}{f_y} \times b_w \times d \quad (3-23)$$

Keterangan :

$f'c$ = Kuat tekan beton,
 f_y = Kuat leleh tulangan,
 b_w = Lebar balok,
 d = Tinggi balok efektif.

- Menentukan batasan rasio tulangan maksimum yang ditunjukkan pada persamaan (3-24).

$$\rho_{max} = 2,5\% \quad (3-24)$$

Keterangan :

ρ_{max} = Rasio tulangan dengan penampang balok maksimum

- Menentukan nilai a yang disyaratkan sesuai SNI Pasal 22.2.2.4.1 yang ditunjukkan pada persamaan (3-25).

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'c \times b} \quad (3-25)$$

Keterangan :

A_s = Luas area tulangan
 f_y = Kuat leleh tulangan,
 $f'c$ = Kuat tekan beton,
 b_w = Lebar balok,

- Menentukan nilai M_n yang disyaratkan sesuai SNI Pasal 22.2.2.4.1 yang ditunjukkan pada persamaan (3-26).

$$M_n = A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (3-26)$$

Keterangan :

A_s = Luas area tulangan
 f_y = Kuat leleh tulangan,
 d = Tinggi balok efektif.

9. Menentukan nilai c yang disyaratkan sesuai SNI Pasal 22.2.2.4.1 ditunjukkan pada persamaan (3-27).

$$c = \frac{a}{\beta_1} \quad (3-27)$$

10. Menentukan ϵ_s yang disyaratkan sesuai SNI Pasal 22.2.2.4.1 ditunjukkan pada persamaan (3-29).

$$\epsilon_s = \frac{d - c}{c} \times 0.003 \quad (3-28)$$

11. Menentukan ϕ yang disyaratkan SNI pada Tabel 21.2.2 Faktor reduksi kekuatan (ϕ) untuk momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial.
 12. Melakukan pengecekan kapasitas momen sesuai persamaan (3-29).

$$\phi M_n > M_u \quad (3-29)$$

3.12.1.2 Tulangan Transversal

Balok merupakan elemen yang menahan gaya geser. Tulangan geser perlu direncanakan sesuai SNI 2847=2019. Kekuatan geser balok harus memenuhi persamaan (3-30).

$$\phi V_n > V_u \quad (3-30)$$

Keterangan :

ϕ = faktor reduksi kekuatan untuk geser 0.75

V_n = kuat geser nominal balok

V_n = kuat geser terfaktor

Kuat geser nominal balok merupakan penjumlahan kuat geser yang dihasilkan beton (V_c) dan tulangan (V_s), seperti ditunjukkan pada persamaan (3-31) dan nilai kuat geser beton dapat didapatkan dengan menggunakan persamaan (3-32).

$$V_n = V_c + V_s \quad (3-31)$$

$$V_c = 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times b \times d \quad (3-32)$$

Keterangan :

V_n = Kuat geser nominal balok

V_c = Kuat geser nominal beton

V_s = Kuat geser nominal tulangan

3.12.1.3 Tulangan Torsi

Balok merupakan elemen yang menahan gaya geser. Tulangan geser perlu direncanakan sesuai SNI 2847:2019 pasal 22.7.4 Kekuatan torsi balok harus memenuhi persamaan (3-33) dengan rumus kuat torsi dapat didapatkan menggunakan persamaan (3-34).

$$Tu > \phi Tth \quad (3-33)$$

$$Tth = 0.083 \times \lambda \times \sqrt{f'c} \times \left(\frac{A_{cp}}{P_{cp}} \right)^2 \quad (3-34)$$

Keterangan :

Tu = Kuat torsi terfaktor

Tth = Kuat torsi ambang batas

Apabila Tu melebihi ambang batas torsi, maka balok harus di desain sesuai SNI 2847:2019 pasal 22.7.6. Nilai kuat torsi nominal diambil terkecil dari persamaan (3-36) dan (3-37).

$$\phi Tn > Tu \quad (3-35)$$

$$Tn = \frac{2 \times A_0 \times f_{yt}}{s} \times \cot \theta \quad (3-36)$$

$$Tn = \frac{2 \times A_0 \times f_{yt}}{Ph} \times \cot \theta \quad (3-37)$$

3.12.2 Perencanaan Kolom

3.12.2.1 Tulangan Longitudinal

Dalam perencanaan tulangan longitudinal kolom dilakukan dengan menggunakan program bantu perhitungan kapasitas kolom dan program bantu analisa struktur. Penulangan pada kolom akibat gaya aksial dan momen merujuk pada SNI 2847:2019 pasal 22.4

3.12.2.2 Tulangan Geser

Perencanaan tulangan geser kolom akan dilakukan menggunakan program bantu analisa struktur. Penulangan akibat gaya geser akan di desain sesuai SNI 2847:2019 pasal 18.7.5.

3.12.2.3 Strong Column Weak Beam

Dalam perencanaan gedung tahan gempa, perlu dilakukan pengecekan bahwa kekuatan kolom lebih besar daripada kekuatan balok. Hal ini perlu dilakukan agar kegagalan akan terjadi balok sehingga kolom gedung dapat bertahan. Pengecekan tersebut sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 18.7.3.2 dalam persamaan (3-38).

$$\sum Mnc \geq \sum Mnb \quad (3-38)$$

Keterangan :

$\sum Mnc$ = Jumlah kekuatan lentur nominal kolom-kolom yang merangka

$\sum Mnb$ = Jumlah kekuatan lentur nominal balok-balok yang merangka

3.13 Kontrol Sambungan Pracetak

Sambungan berfungsi sebagai penyatu antar elemen pracetak agar bangunan tetap berperilaku monolit. Perencanaan sambungan daktail pada beton pracetak diatur pada SNI 2847:2019 pasal 18.9.2.1 harus memenuhi persamaan (3-39).

$$V_n \geq 2 \times V_e \quad (3-39)$$

Keterangan :

V_n = Kekuatan geser nominal

V_e = Kekuatab geser akibat momen probable

Pada elemen pracetak yang disambung dengan sambungan kuat harus memenuhi SNI 2847:2019 pasal 18.9.2.2 harus memenuhi persamaan (3-40).

$$S_n \geq 1.4 \times S_e \quad (3-40)$$

Keterangan :

S_n = Kekuatan sambungan nominal

V_e = Gaya yang terjadi pada sambungan

Untuk memastikan penyaluran antar elemen pracetak dapat dilakukan perhitungan panjang penyaluran. Panjang penyaluran harus memenuhi kondisi tarik dan tekan.

Panjang penyaluran yang harus dipenuhi dalam kondisi tarik harus memenuhi persyaratan yang diatur oleh SNI 2847:2019 pasal 25.4.2 Panjang penyaluran tarik ℓ_{dh} batang ulir dalam kondisi tarik akan ditabulasikan dalam Tabel 3.6.

Tabel 3.6 Panjang Penyaluran Dalam Kondisi Tarik

(Sumber SNI 2847:2019 Tabel 22.2.2.4.3)

Spasi dan Selimut	Batang D19 dan yang lebih kecil dan kawat ulir	Batang D22 dan yang lebih besar
Spasi bersih batang atau kawat yang disalurkan atau disambung lewatkan tidak kurang dari d_b , selimut beton paling sedikit d_b , dan sengkang atau sengkang ikat sepanjang ℓ_d tidak kurang dari standar minimum atau spasi bersih batang atau kawat yang disalurkan atau disambung lewatkan paling sedikit $2d_b$ dan selimut beton paling sedikit d_b	$\frac{0,24 \times f_y \times \Psi_r}{2,1 \times \lambda \times \sqrt{f'_c}} \times d_b$	$\frac{0,24 \times f_y \times \Psi_r}{1,7 \times \lambda \times \sqrt{f'_c}} \times d_b$
Kasus-kasus lainnya	$\frac{0,24 \times f_y \times \Psi_r}{1,4 \times \lambda \times \sqrt{f'_c}} \times d_b$	$\frac{0,24 \times f_y \times \Psi_r}{1,1 \times \lambda \times \sqrt{f'_c}} \times d_b$

Untuk panjang penyaluran tarik ℓ_{dh} batang ulir yang diakhiri dengan suatu kait standar harus diambil terbesar dari 150 mm, (3-41), dan (3-42).

$$\frac{0,24 \times \Psi_e \times \Psi_c \times \Psi_r}{\lambda \times \sqrt{f'_c}} \times d_b \quad (3-41)$$

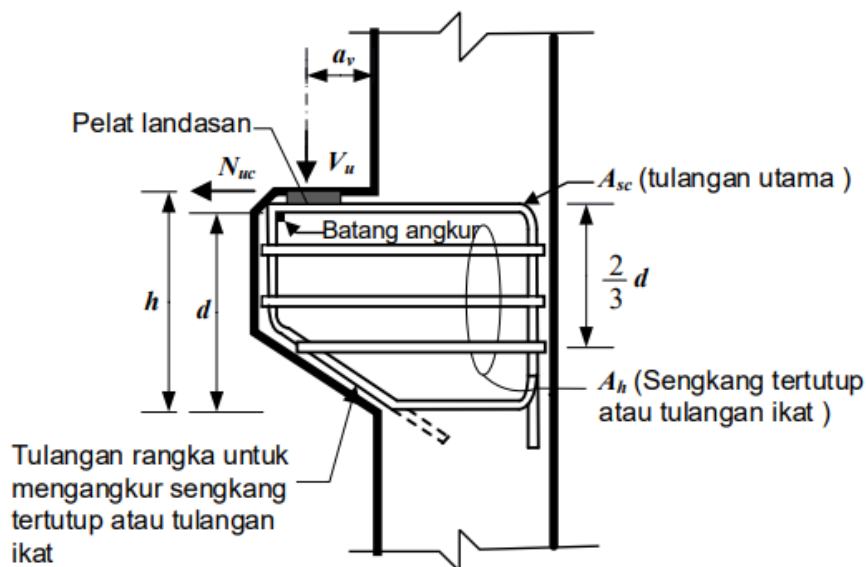
$$8 \times d_b \quad (3-42)$$

Panjang penyaluran juga harus dipenuhi dalam kondisi tekan. Hal ini diatur dalam SNI 2847:2019 pasal 25.4.9. Panjang penyaluran ℓ_{dc} untuk batang ulir dan kawat ulir dalam kondisi tekan harus yang terbesar dari 200 mm, (3-43), dan (3-44).

$$\frac{0,24 \times \Psi_e \times \Psi_c \times \Psi_r}{\lambda \times \sqrt{f'_c}} \times d_b \quad (3-43)$$

$$0,043 \times f_y \times \Psi_r \times d_b \quad (3-44)$$

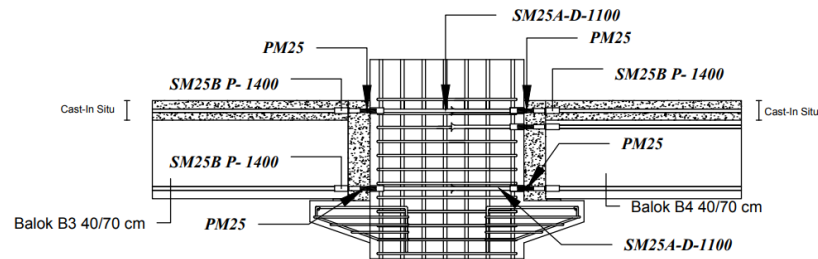
Pada sambungan balok ke kolom dan balok anak ke balok induk dapat menggunakan konsol pendek. Konsol pendek digunakan sebagai tempat meletakkan elemen pracetak yang akan menumpu elemen pracetak lainnya seperti pada . Perencanaan mengenai konsol mengikuti SNI 2847:2019 pasal 16.5.



Gambar 3.3 Konsol Pendek
(sumber : SNI 2847:2019)

3.13.1 Sambungan Balok dan Kolom

Sambungan balok-kolom akan direncanakan dengan memanfaatkan panjang penyaluran tulangan balok. Sambungan balok-kolom akan di cor bersamaan saat overtopping. Perencanaan sambungan balok-kolom ini merujuk pada (3-41) dan (3-42) dalam kondisi tarik dan dalam kondisi tekan dapat menggunakan persamaan (3-43) dan (3-44).



Gambar 3.4 Sambungan Balok Induk dan Kolom
(sumber : (Akbar, 2018))

Sambungan direncanakan menggunakan produk dari *Peikko Group* yaitu *Modix Coupler*. Sambungan ini direncanakan untuk menyalurkan tulangan antar elemen pracetak, dan untuk menahan beban balok dan geser friksi digunakan konsol pendek.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Perencanaan

4.1.1 Umum

Pada studi tugas akhir ini, dimensi elemen struktur akan menggunakan perencanaan sebelumnya. Sehingga proses *preliminary design* tidak perlu dilakukan kembali. Komponen struktural yang didapatkan dari perencanaan sebelumnya antara lain balok induk, balok sekunder, pelat, dan kolom.

4.1.2 Data Perencanaan

Pada studi ini, akan digunakan precast concrete sebagai elemen struktural dan dilakukan studi penggunaan *base isolation* tipe *Lead Rubber Bearing (LRB)*. Berikut data perencanaan dari studi yang akan dilakukan:

Nama bangunan : Hotel KAI Boutique Bandung

Fungsi : Hotel

Lokasi : Bandung, Jawa Barat

Jumlah Lantai : 13

Tinggi Bangunan : 53.5 meter

Struktur Utama : Beton pracetak

Mutu Beton : 35 MPa

Mutu Baja : 420 MPa

4.1.3 Data Komponen Elemen Struktural

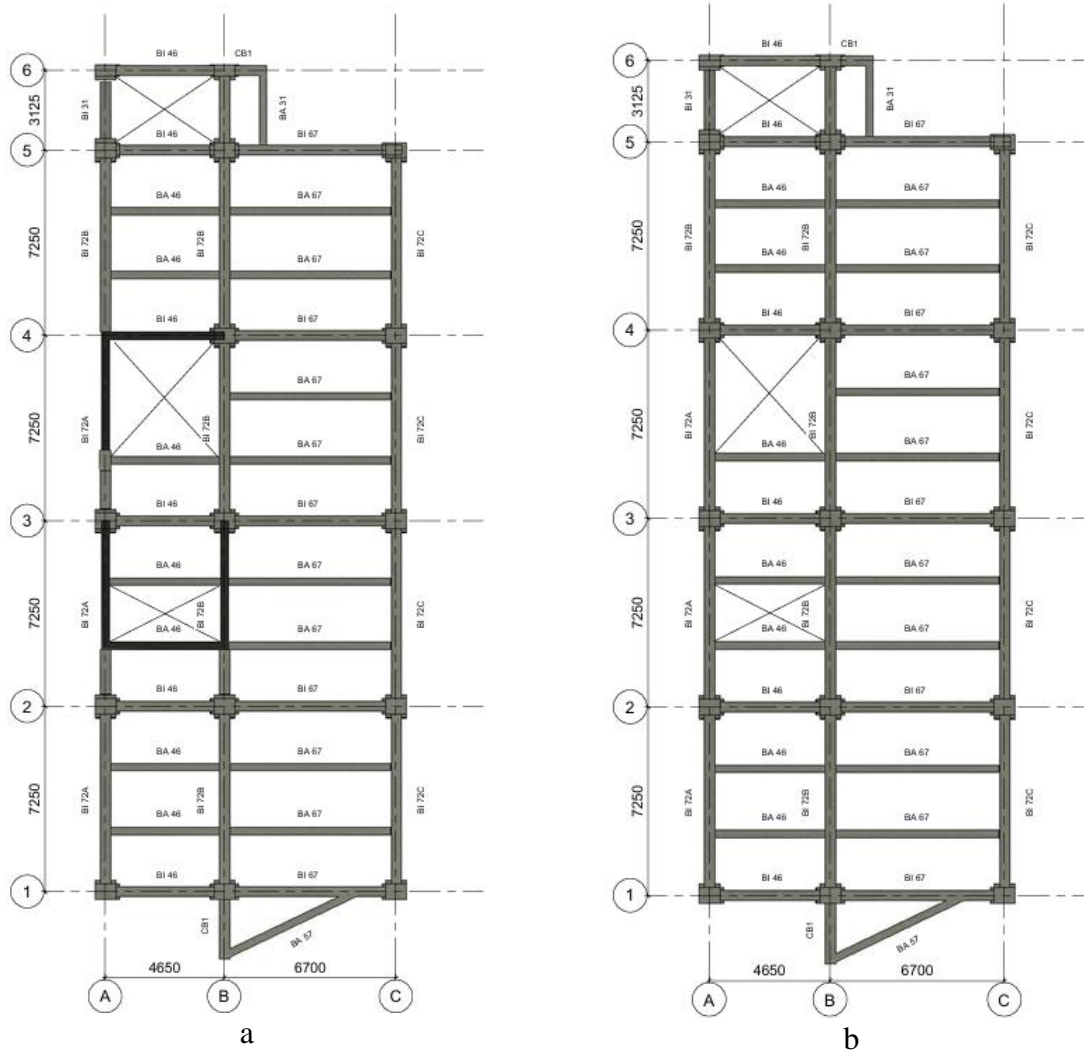
Berikut rekapitulasi komponen elemen struktur yang akan digunakan pada studi tugas akhir ini:

Balok Induk Tipe A	(BI A)	: 500 x 700
Balok Induk Tipe B	(BI B)	: 500 x 700
Balok Induk Tipe C	(BI C)	: 500 x 700
Balok Induk Tipe D	(BI D)	: 500 x 700
Balok Kantilever	(CB)	: 500 x 700
Balok Anak Tipe A	(BA A)	: 300 x 400
Balok Anak Tipe B	(BA B)	: 300 x 400
Balok Anak Tipe C	(BA C)	: 300 x 400
Balok Anak Tipe D	(BA D)	: 300 x 400
Balok Anak Tipe E	(BA E)	: 300 x 400
Kolom Tipe 1	(K1)	: 600 x 800

Kolom Tipe 2 (K2) : 450 x 800
Pelat (P1) : T120 mm

4.1.4 Denah Komponen Elemen Struktural

Berikut denah elemen struktur dari yang akan digunakan pada studi tugas akhir ini:



Gambar 4.1 Denah Elemen Struktur Fixed Base (a) dan Isolated Base (b)

4.2 Analisis Pembebanan

Pada subbab ini akan dijelaskan pembebanan yang akan digunakan pada studi tugas akhir ini. Perhitungan pembebanan yang akan dilakukan akan merujuk pada SNI 1726:2019 dan SNI 1727:2020.

4.2.1 Beban Mati

Beban mati yang diperhitungkan pada studi ini yaitu beban akibat komponen struktur dan non struktural berdasarkan SNI 1727:2020. Berikut beban mati yang akan ditabulasikan dalam **Tabel 4.1** dan **Tabel 4.2**.

Tabel 4.1 Pembebanan Beban Mati

Beban Dead Load		
Elemen	Berat Jenis	Berat Jenis
	kg/m ³	kN/m ³
Beton Bertulang	2400	23.53596

Tabel 4.2 Pembebanan Beban Mati Tambahan

Beban Superimposed Dead Load		
Elemen	Berat/Area	Berat/Area
	kg/m ²	kN/m ²
Spesi per 1 cm	21	0.20593965
Penutup lantai	24	0.2353596
penggantung plafon	11	0.10787315
plafon	7	0.06864655
Ducting dan Plumbing	20	0.196133
Tegel	24	0.2353596
Total	107.000	1.049

4.2.2 Beban Hidup

Beban hidup yang digunakan adalah berdasarkan kegunaan ruangan pada bangunan. Berdasarkan SNI 1727:2020, beban hidup yang digunakan dalam perencanaan ditabulasikan dalam **Tabel 4.3**.

Tabel 4.3 Pembebanan Beban Hidup

Beban Hidup		
Elemen	Berat/Area	Berat/Area
	kg/m ²	kN/m ²
Ruang Hunian	-	1.92

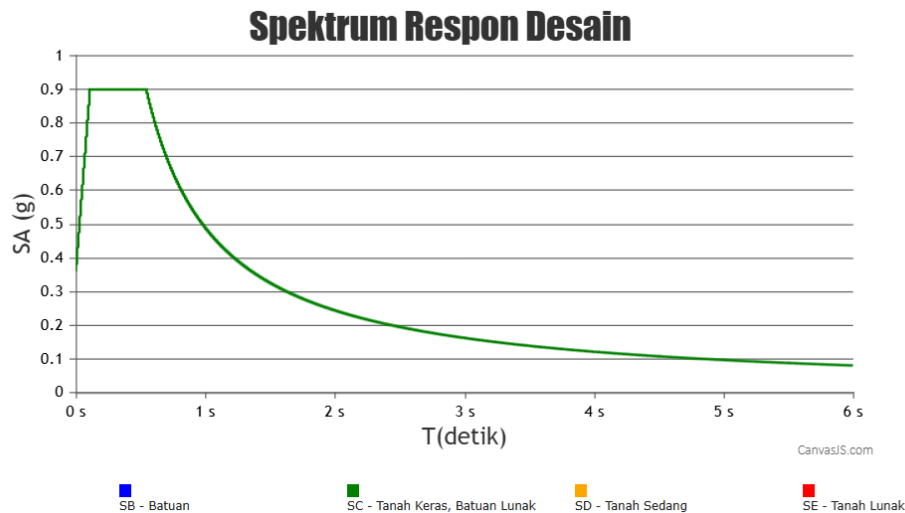
4.2.3 Beban Gempa

KAI Boutique Hotel Bandung memiliki beban gempa yang dihitung mengikuti parameter gempa Kota Bandung. Perhitungan beban gempa mengikuti persyaratan pada SNI 1726:2019, meliputi:

1. Faktor Keutamaan Gempa Faktor keutamaan gempa yang digunakan adalah 1,0 dengan kategori risiko II yang disesuaikan dengan fungsi gedung yaitu hotel.
2. Kelas Situs Tipe kelas situs pada gedung KAI Boutique Hotel Bandung berdasarkan data yang sudah didapatkan adalah SC.
3. Parameter Respons Spektral dan Percepatan Spektral Desain Data-data mengenai respons spektral yang digunakan dalam perencanaan ini diambil dari situs Desain Spektral Indonesia. Berikut adalah data respons spektral yang digunakan:
 - a. $S_s = 1,1209 \text{ g}$
 - b. $S_1 = 0,4928 \text{ g}$
 - c. $F_a = 1,2$
 - d. $F_v = 1,5$

- e. $S_{DS} = 0,8967 \text{ g}$
- f. $S_{D1} = 0,4928 \text{ g}$
- g. $T_0 = 0.1099 \text{ detik}$
- h. $T_s = 0.5496 \text{ detik}$

4. Respons Spektrum Desain Grafik respons spektrum desain didapatkan dari situs Desain Spektral Indonesia digambarkan pada **Gambar 4.2**.



Gambar 4.2 Respon Spektrum

5. Kategori desain seismik ditentukan berdasarkan Tabel 8 pada SNI 1726:2019 atau pada **Tabel 3.3** dan **Tabel 3.4**. Dapat ditentukan bahwa kategori desain seismik yang akan digunakan yaitu kategori D. Oleh karena itu sistem pemikul gaya seismik yang akan digunakan yaitu Sistem rangka pemikul momen khusus. Nilai faktor yang akan digunakan untuk sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) yang menggunakan shearwall yaitu:

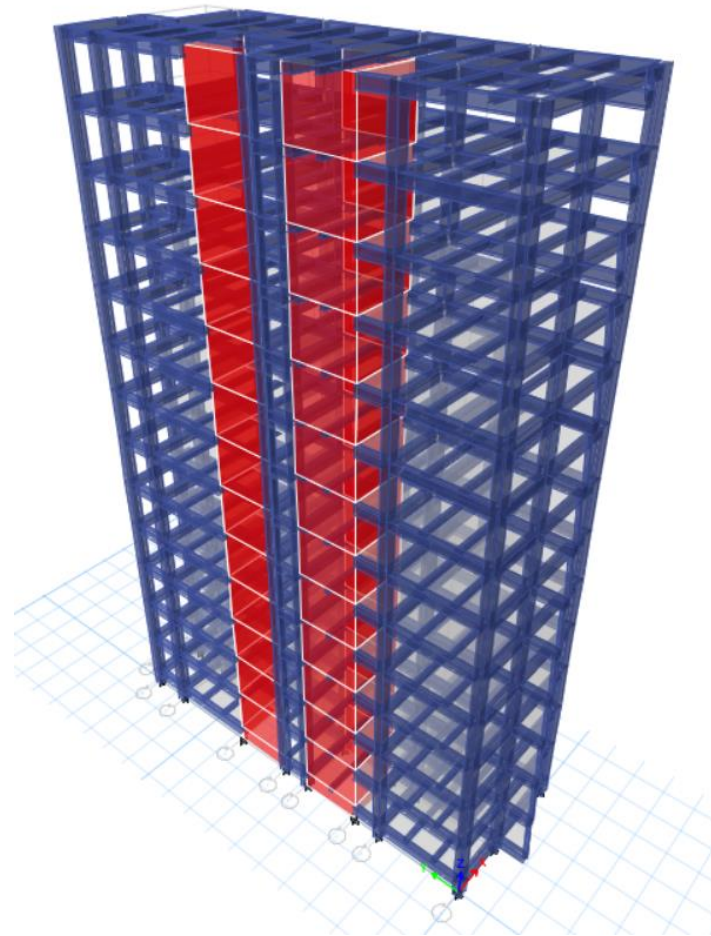
- Koefisien modifikasi respons (R) = 6
- Faktor kuat lebih sistem (Ω) = 2.5
- Faktor pembesaran defleksi (C_d) = 5

Pada tugas akhir ini, akan digunakan base isolator, sehingga sistem pemikul gaya seismiknya akan berubah. Menurut (Kelly, 2001) sistem rangka terisolasi dapat menggunakan *intermediate frame* atau SRPMM untuk menghasilkan beberapa penghematan. Sehingga pada struktur isolated base akan digunakan SRPMM dengan nilai koefisien modifikasi respons sebesar 2.

4.3 Pemodelan dan Analisa Struktur Fixed Base

4.3.1 Umum

Pemodelan dan analisa struktur akan menggunakan program bantu analisa struktur dengan analisis gempa yang akan digunakan yaitu respons spektrum. Struktur terdiri dari 13 lantai dengan ketinggian 53.5 meter seperti ditunjukkan pada **Gambar 4.3**.



Gambar 4.3 Pemodelan Struktur Fixed Base

Kombinasi pembebanan yang akan digunakan akan merujuk pada SNI 1726:2019. Berikut rekapitulasi kombinasi pembebanan yang akan digunakan:

Tabel 4.4 Kombinasi Pembebanan LRFD

Nomor		DL	SIDL	LL	L _r	R	W _x	W _y	E _x	E _y
1	1.1	1.4	1.4							
2	2.1	1.2	1.2	1.6	0.5					
	2.2	1.2	1.2	1.6		0.5				
3	3.1	1.2	1.2	1	1.6					
	3.2	1.2	1.2		1.6		0.5			
	3.3	1.2	1.2		1.6			0.5		
	3.4	1.2	1.2		1.6		0.375	0.375		
	3.5	1.2	1.2	1		1.6				
	3.6	1.2	1.2			1.6	0.5			
	3.7	1.2	1.2			1.6		0.5		
	3.8	1.2	1.2			1.6	0.375	0.375		
4	4.1	1.2	1.2	1	0.5		1			
	4.2	1.2	1.2	1	0.5			1		
	4.5	1.2	1.2	1	0.5		0.75	0.75		
	4.3	1.2	1.2	1		0.5	1			
	4.4	1.2	1.2	1		0.5		1		
	4.6	1.2	1.2	1		0.5	0.75	0.75		
5	5.1	0.9	0.9				1			
	5.2	0.9	0.9					1		
	5.3	0.9	0.9				0.75	0.75		
6	6.1	1.3793	1.3793	1					1.3	0.39
	6.2	1.3793	1.3793	1					1.3	-0.39
	6.3	1.3793	1.3793	1					-1.3	0.39
	6.4	1.3793	1.3793	1					-1.3	-0.39
	6.5	1.3793	1.3793	1					0.39	1.3
	6.6	1.3793	1.3793	1					-0.39	1.3
	6.7	1.3793	1.3793	1					0.39	-1.3
	6.8	1.3793	1.3793	1					-0.39	-1.3
7	7.1	0.7207	0.7207						1.3	0.39
	7.2	0.7207	0.7207						1.3	-0.39
	7.3	0.7207	0.7207						-1.3	0.39
	7.4	0.7207	0.7207						-1.3	-0.39
	7.5	0.7207	0.7207						0.39	1.3
	7.6	0.7207	0.7207						-0.39	1.3
	7.7	0.7207	0.7207						0.39	-1.3
	7.8	0.7207	0.7207						-0.39	-1.3

4.3.2 Kontrol Waktu Getar Alami Struktur

Periode atau waktu getar alami struktur ditentukan sesuai dengan SNI 1726:2019 Pasal 7.8.2 dengan persamaan dan perhitungan sebagai berikut:

$$T_{max} = C_u \times T_a$$

$$T_a = C_t \times h^x$$

Dimana :

$C_u = 1.4$ (koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung)

$H = 55.5$ meter (tinggi struktur)

$C_t = 0.0466$ (parameter periode pendekatan)

$x = 0.9$ (parameter periode pendekatan)

Berikut perhitungan kontrol waktu getar alami struktur:

Percepatan Desain Periode 1 Detik	S_{D1}	=	0.4928	g
Koefisien untuk Batas Periode	C_u	=	1.4	
<i>SNI 1726:2019 tabel 17</i>				
Parameter Periode Pendekatan	C_t	=	0.0466	
<i>SNI 1726:2019 tabel 18</i>				
Parameter Periode Pendekatan	x	=	0.9	
<i>SNI 1726:2019 tabel 18</i>				
Tinggi Bangunan (Seismik)	h	=	53.5	m
Periode Fundamental Pendekatan	T_a	=	$C_t * h^x$	
<i>SNI 1726:2019 persamaan 36</i>				
Periode Maksimum	T_{max}	=	$C_u * T_a$	
<i>SNI 1726:2019 pasal 7.8.2</i>				
Periode Hasil Analisis Arah X	$T_{c,X}$	=	1.77	detik
Periode Hasil Analisis Arah Y	$T_{c,Y}$	=	1.57	detik
Periode Pakai Arah X	T_X	=	1.77	detik
Periode Pakai Arah Y	T_Y	=	1.57	detik

Dikarenakan nilai periode struktur dari hasil program analisa struktur nilainya sudah lebih besar dari nilai T_a dan kurang dari T_{max} maka, periode struktur yang didapatkan dari program bantu dapat digunakan.

4.3.3 Kontrol Partisipasi Massa

Sesuai dengan SNI 1726:2019 Pasal 7.9.1 bahwa partisipasi massa ragam terkombinasi haruslah paling sedikit sebesar 100% dengan beberapa pengecualian. Dimana pengecualiannya yaitu analisis diizinkan untuk memasukkan jumlah ragam yang minimum untuk mencapai massa ragam terkombinasi paling sedikit 90 % dari massa aktual dalam masing-masing arah horizontal ortogonal dari respons yang ditinjau oleh model. Berikut partisipasi massa dari hasil analisa program bantu seperti pada **Tabel 4.5**:

Tabel 4.5 Modal Participating Mass Rasio Struktur Fixed Base

Case	Mode	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ
		sec						
Modal	1	1.77	0.211	0.1937	0	0.211	0.1937	0
Modal	2	1.57	0.4507	0.0896	0	0.6618	0.2833	0
Modal	3	0.94	0.0002	0.4054	0	0.6619	0.6887	0
Modal	4	0.5	0.0159	0.0503	0	0.6778	0.739	0
Modal	5	0.39	0.1552	0.006	0	0.8329	0.7451	0
Modal	6	0.26	0.0014	0.0761	0	0.8343	0.8212	0
Modal	7	0.24	0.0035	0.0343	0	0.8378	0.8555	0
Modal	8	0.18	0.0518	0.0007	0	0.8896	0.8561	0
Modal	9	0.15	0.003	0.0056	0	0.8926	0.8617	0
Modal	10	0.13	0.0008	0.0389	0	0.8934	0.9007	0
Modal	11	0.11	0.0164	0.001	0	0.9098	0.9017	0
Modal	12	0.11	0.0106	0.003	0	0.9203	0.9047	0
Modal	13	0.09	0.0001	0.0027	0	0.9204	0.9074	0
Modal	14	0.08	0.0011	0.0197	0	0.9215	0.9271	0
Modal	15	0.08	0.015	0.0007	0	0.9365	0.9279	0
Modal	16	0.07	1.51E-02	0.002	0	0.9365	0.9299	0
Modal	17	0.06	0.01	0.0001	0	0.9465	0.93	0
Modal	18	0.06	3.44E-02	0.0003	0	0.9465	0.9304	0
Modal	19	0.06	0.0002	0.0131	0	0.9467	0.9435	0
Modal	20	0.05	2.56E-03	0.0006	0	0.9467	0.944	0

Dari hasil yang didapatkan, nilai partisipasi massa sudah melebihi 90% di kedua arah. Akan tetapi dapat dilihat pada mode 1 struktur fixed base mengalami torsi. Hal ini dapat terjadi karena antara pusat massa dan pusat kekakuan struktur tidak berimpit sehingga eksentrisitas yang besar menyebabkan gedung mengalami torsi pada mode 1.

4.3.4 Kontrol Gaya Geser Dasar

Gaya geser dasar yang didapatkan dari program bantu, harus bernilai diatas 85% dari gaya geser dasar statik. Berikut perhitungan gaya geser dasar statik sesuai SNI 1726:2019:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{R \overline{I_e}}$$

$$C_s \max = \frac{S_{D1}}{T \times \frac{R}{\overline{I_e}}}$$

$$C_s \min = 0.044 \times S_{DS} \times I_e$$

Dimana :

$$S_{DS} = 0.8967 \text{ g}$$

$$S_{D1} = 0.4928 \text{ g}$$

$$I_e = 1$$

$$T_x = 1.048 \text{ detik}$$

$$T_y = 1.18 \text{ detik}$$

$$R = 6$$

Berikut perhitungan nilai C_s

Gaya Geser Dasar Seismik

$$\text{Koefisien Respons Seismik} \quad C_s = S_{DS} / (R I_e)$$

$$\text{SNI 1726:2019 persamaan 31} \quad = 0.1495$$

$$\text{Batas Atas} \quad C_{s,max} = S_{D1} / [T * (R I_e)]$$

$$\text{SNI 1726:2019 persamaan 32} \quad C_{s,max,X} = 0.0464$$

$$C_{s,max,Y} = 0.0523$$

$$\text{Batas Bawah} \quad C_{s,min,I} = 0.044 S_{DS} I_e \geq 0.01$$

$$\text{SNI 1726:2019 persamaan 34} \quad = 0.0395$$

$$\text{Koefisien Respons Seismik Pakai} \quad C_{s,pakai,X} = 0.0464$$

$$C_{s,pakai,Y} = 0.0523$$

Untuk mendapatkan berat struktur, akan menggunakan program bantu struktur. Berikut berat struktur yang didapatkan dari program bantu struktur:

Tabel 4.6 Berat Efektif Struktur Fixed Base

Story	Berat Struktur
	kg
Story14	679724.88
Story13	824660.88
Story12	824660.88
Story11	824660.88
Story10	824660.88
Story9	824660.88
Story8	824660.88
Story7	824660.88
Story6	824660.88
Story5	824660.88
Story4	824660.88
Story3	824660.88
Story2	824660.88
Story1	734075.88
Base	54351
Total	13842118.76

Dari nilai nilai yang sudah didapat, sehingga gaya geser dasar struktur dapat dihitung menggunakan persamaan (3-6) dan nilai gaya geser dasar dari program bantu dapat dilihat pada perhitungan berikut:

Gaya Geser Statik (Manual)	V	$= C_s * W$	
<i>SNI 1726:2019 persamaan 30</i>	V_x	$= 4809.25$	kN
	V_y	$= 5421.89$	kN
Gaya Geser Statik (ETABS)	V_x	$= 4392.87$	kN
	V_y	$= 4834.45$	kN

Dari gaya geser yang didapatkan dari program bantu analisa struktur nilainya masih dibawah 85% gaya geser statik manual, maka perlu dilakukan penskalaan gaya. Berikut perhitungan penskalaan gaya gempa

Faktor Skala Awal	SF	$= g / (R / I)$	
<i>SNI 1726:2019 pasal 7.9.1.2</i>		$= 1.667$	m/s ²
Faktor Skala Baru	$SF \text{ baru}$	$= V_x \text{ (manual)} / V_x \text{ (ETABS)} * SF$	
	$SF_x \text{ Baru}$	$= 1.825$	mm/s ²
	$SF_y \text{ Baru}$	$= 1.869$	mm/s ²
Gaya Geser Statik Baru (Etabs)	V_x	$= 4809.25$	kN
	V_y	$= 5421.89$	kN

4.3.5 Kontrol Drift

Simpangan antar tingkat yang terjadi pada gedung haru memenuhi persyaratan dalam SNI 1726:2020 Tabel 20. Struktur dengan kategori risiko II dan tergolong dalam sistem struktur lainnya memiliki simpangan antar tingkat maksimum sebesar 2% dari tinggi lantai.

Berikut adalah perhitungan simpangan izin lantai.

$$C_d = 5 \text{ (Faktor Pembesaran Defleksi)}$$

$$I_e = 1 \text{ (Faktor Keutamaan Gempa)}$$

$$\Delta_a = 0,02$$

$$\rho = 1,3$$

$$h_x = 4000 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \Delta_{\max} &= \frac{\Delta_a}{\rho} \times h_x \\ &= \frac{0,02}{1,3} \times 4000 \\ &= 61,538 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\Delta = \frac{\delta}{I_e} \times C_d$$

Rekapitulasi simpangan antar tingkat yang didapatkan melalui program bantu ETABS ditabulasikan pada **Tabel 4.7**.

Tabel 4.7 Simpangan Antar Tingkat Struktur Fixed Base

Story	Displacement		Elastic Drift		h	Inelastic Drift		Drift Limit	Cek
	δ_{eX}	δ_{eY}	δ_{eX}	δ_{eY}		Δ_X	Δ_Y		
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)		
14	61.330	35.920	4.650	2.230	4000	23.250	11.150	61.5385	OK
13	56.680	33.690	4.910	2.420	4000	24.550	12.100	61.5385	OK
12	51.770	31.270	5.090	2.610	4000	25.450	13.050	61.5385	OK
11	46.680	28.660	5.220	2.780	4000	26.100	13.900	61.5385	OK
10	41.460	25.880	5.310	2.930	4000	26.550	14.650	61.5385	OK
9	36.150	22.950	5.330	3.070	4000	26.650	15.350	61.5385	OK
8	30.820	19.880	5.290	3.160	4000	26.450	15.800	61.5385	OK
7	25.530	16.720	5.190	3.220	4000	25.950	16.100	61.5385	OK
6	20.340	13.500	4.990	3.210	4000	24.950	16.050	61.5385	OK
5	15.350	10.290	4.680	3.120	4000	23.400	15.600	61.5385	OK
4	10.670	7.170	4.210	2.870	4000	21.050	14.350	61.5385	OK
3	6.460	4.300	3.540	2.420	4000	17.700	12.100	61.5385	OK
2	2.920	1.880	2.530	1.650	4000	12.650	8.250	61.5385	OK
1	0.390	0.230	0.390	0.230	1500	1.950	1.150	23.0769	OK

Dari hasil analisa struktur yang sudah dilakukan, terdapat simpangan antar lantai yang tidak

4.3.6 Rekapitulasi Hasil Analisa Struktur *Fixed Base*

Pada subbab ini akan ditampilkan hasil analisa *fixed base* yang nantinya akan dibandingkan dengan *isolated base*. Berikut hasil analisa untuk gaya geser dasar dan periode struktur:

Tabel 4.8 Rekapitulasi Gaya Geser dan Periode Struktur *Fixed Base*

Parameter	Nilai	Satuan
Gaya Geser Dasar Arah X	4809.25	kN
Gaya Geser Dasar Arah Y	5421.89	kN
Periode Struktur Arah X	1.77	detik
Periode Struktur Arah Y	1.57	detik

Berikut hasil analisa struktur untuk perpindahan dan simpangan antar lantai:

Tabel 4.9 Rekapitulasi Perpindahan dan Simpangan Antar Tingkat Struktur *Fixed Base*

Perpindahan Arah X	Perpindahan Arah Y	Simpangan Arah X	Simpangan Arah Y
61.33	35.92	23.25	11.15
56.68	33.69	24.55	12.1
51.77	31.27	25.45	13.05
46.68	28.66	26.1	13.9
41.46	25.88	26.55	14.65
36.15	22.95	26.65	15.35
30.82	19.88	26.45	15.8
25.53	16.72	25.95	16.1
20.34	13.5	24.95	16.05
15.35	10.29	23.4	15.6
10.67	7.17	21.05	14.35
6.46	4.3	17.7	12.1
2.92	1.88	12.65	8.25
0.39	0.23	1.95	1.15

4.4 Perencanaan Struktur Primer Fixed Base

4.4.1 Perencanaan Balok Induk

Desain balok induk meliputi perhitungan beban yang terjadi dari tiap kondisi balok kemudian dilakukan perhitungan penulangan dari setiap kondisi yang terjadi. Desain penulangan pada balok induk meliputi penulangan lentur, penulangan geser, dan penulangan torsi.

4.4.1.1 Data Perencanaan Balok

Berikut data perencanaan yang akan digunakan dalam perhitungan perencanaan tulangan balok:

- Dimensi Balok

Balok Induk Tipe A (BI A)	:	500 x 700	mm x mm
Balok Induk Tipe B (BI B)	:	500 x 700	mm x mm
Balok Induk Tipe C (BI C)	:	500 x 700	mm x mm
Balok Induk Tipe D (BI D)	:	500 x 700	mm x mm
Balok Kantilever (CB)	:	500 x 700	mm x mm

- Data Material dan Penampang

Lebar Balok, b	:	500	mm
Tinggi Balok Pracetak, h_p	:	550	mm
Tinggi Balok Overtopping, h_o	:	150	mm
Tinggi Balok Total, h	:	700	mm
Kuat Tekan Beton, f_c'	:	35	MPa
Kuat Tekan Beton umur 14 hari, f_c'	:	30.8	MPa

Kuat Tekan Beton umur 7 hari, f_c'	: 22.75	MPa
Modulus Elastisitas Beton, E_c	: 27805.57	MPa
Berat Jenis Beton, γ	: 24	kN/m ³
Kuat Leleh Tul. Longitudinal, f_y	: 420	MPa
Kuat Leleh Tul. Transversal, f_{yv}	: 420	MPa

4.4.1.2 Pembebanan dan Gaya Dalam Balok

Berikut contoh perhitungan pembebanan dan gaya dalam balok induk tipe BI A dengan bentang 7250 mm:

- Saat Pengangkatan

Pada kondisi pengangkatan sudut angkat yang akan digunakan yaitu 45°. Berikut perhitungan pembebanan dan gaya dalam

- Beban merata akibat beban sendiri

Untuk menghitung beban merata akan menggunakan nilai γ beton dikalikan dengan dimensi dari balok pracetak. Berikut beban merata akibat beban sendiri

$$\begin{aligned}
 q &= \gamma \times hp \times b \\
 &= 24 \times \frac{550}{1000} \times \frac{700}{1000} \\
 &= 6.6 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

Kombinasi pembebanan yang digunakan yaitu 1.4D karena beban yang bekerja hanya beban mati sendiri dari baloknya.

$$\begin{aligned}
 qU &= 1.4 \times q \\
 &= 1.4 \times 6.6 \\
 &= 9.24 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

- Parameter untuk menghitung Momen akibat Pengangkatan

Adapun parameter yang digunakan untuk memperhitungkan momen saat pengangkatan yaitu:

$$\begin{aligned}
 Y_t &= \frac{h}{2} \\
 &= \frac{550}{2} \\
 &= 275 \text{ mm} \\
 Y_b &= \frac{h}{2} \\
 &= \frac{550}{2} \\
 &= 275 \text{ mm} \\
 Y_c &= Y_t + 50 \text{ mm} \\
 &= 275 + 50 \\
 &= 325 \text{ mm} \\
 X &= \frac{1}{2(1 + \sqrt{1 + \frac{Y_t}{Y_c}})} \\
 &= \frac{1}{2(1 + \sqrt{1 + \frac{275}{325}})} \\
 &= 0.207
 \end{aligned}$$

- Perhitungan momen saat pengangkatan

$$\begin{aligned}
M^+ &= \frac{WL^2}{8} \left(1 - 4X + \frac{4Y_c}{L_x \tan \theta} \right) \\
&= \frac{9.24 \times 7250^2}{8} \left(1 - 4(0.207) + \frac{4 \times 275}{7.25 \tan 45} \right) \\
&= 21.30 \text{ kN/m} \\
M^- &= \frac{W X^2 L^2}{2} \\
&= \frac{9.24 \times 0.207^2 \times 7.25^2}{2} \\
&= 10.41 \text{ kN/m}
\end{aligned}$$

- Sebelum Komposit

Kondisi sebelum komposit yaitu kondisi saat balok sudah diletakkan menumpu ke kolom, akan tetapi antar elemen pracetak belum disambung, sehingga perhitungan momen dapat menggunakan perhitungan mekanika teknik 1. Berikut perhitungan pembebanan dan gaya dalam saat kondisi sebelum komposit:

- Pembebanan akibat beban sendiri dan Pelaksanaan

Untuk menghitung beban merata akan menggunakan nilai γ beton dikalikan dengan dimensi dari balok pracetak. Berikut beban merata akibat beban sendiri

$$\begin{aligned}
q &= \gamma \times hp \times b \\
&= 24 \times \frac{550}{1000} \times \frac{700}{1000} \\
&= 6.6 \text{ kN/m}
\end{aligned}$$

Kemudian terdapat beban overtopping yang dapat dihitungkan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
q_0 &= \gamma \times h_0 \times b \\
&= 24 \times \frac{150}{1000} \times \frac{700}{1000} \\
&= 1.8 \text{ kN/m}
\end{aligned}$$

$$q_{\text{pekerja}} = 1 \text{ kN/m}$$

Sehingga q Ultimate dapat dihitungkan berdasarkan 2 kombinasi antara 1.4D dan 1.2D+1.6L. Berikut perhitungan q ultimate dari dua kombinasi:

$$\begin{aligned}
q_{\text{ultimate1}} &= 1.4D \\
&= 1.4 \times (6.6 + 1.8) \\
&= 11.76 \text{ kN/m} \\
q_{\text{ultimate2}} &= 1.2D + 1.6L \\
&= 1.2 \times (6.6 + 1.8) + 1.6 \times (1) \\
&= 11.68 \text{ kN/m}
\end{aligned}$$

Sehingga q ultimate 1 yang digunakan untuk menghitung momen dan geser dari balok saat kondisi sebelum komposit.

- Perhitungan momen dan geser

Dikarenakan pada kondisi sebelum komposit itu tidak disambung dengan kolom dan balok lainnya, sehingga tidak terdapat momen negatif untuk kondisi ini. Berikut perhitungan momen saat sebelum komposit:

$$\begin{aligned}
M^- &= \frac{1}{8} \times q \times L^2 \\
&= \frac{1}{8} \times 11.76 \times 7.25^2 \\
&= 76.74 \text{ kN.m} \\
V &= \frac{1}{4} \times q \times L
\end{aligned}$$

$$= \frac{1}{4} \times 11.76 \times 7.25$$

$$= 21.17 \text{ kN}$$

- Setelah Komposit
Kondisi setelah komposit akan menggunakan program bantu analisa struktur untuk mendapatkan momen, geser, dan torsi.
- Rekapitulasi Momen, Geser, dan Torsi

Tabel 4.10 Rekapitulasi Gaya Dalam Balok

Parameter	BI A	BI B	BI C	BI D	CB1
Pengangkatan					
M ⁺ (Momen Positif), kN.m	21.302	18.9558	11.2668	6.62741	4.99229
M ⁻ (Momen Negatif), kN.m	10.4161	8.8957	4.28486	1.93522	1.23854
Sebelum Komposit					
M ⁻ (Momen), kN.m	76.7413	65.5394	31.5689	14.2578	10.375
V(Geser), kN	21.17	19.564	13.578	9.125	7.3
Setelah Komposit					
M ⁻ Tumpuan, kN.m	-1057.08	-719.75	-472.69	-231.15	-79.08
M ⁺ Tumpuan, kN.m	1053.99	532.23	428.93	183.11	0.46
M ⁻ Lapangan, kN.m	-725.77	-249.11	-105.06	-69.98	-64.98
M ⁺ Lapangan, kN.m	744.09	363.88	116.19	76.38	0.46
V Tumpuan, kN	-797.48	354.28	-268.18	181.85	-94.19
V Lapangan, kN	-676.02	264.46	235.17	157.15	-62.52

4.4.1.3 Penulangan Lentur Balok

Penulangan lentur yang akan ditinjau hanya 2 kondisi yaitu yang pertama saat pengangkatan dan sebelum komposit dimana, nilai yang momen yang diambil terbesar dari kedua kondisi tersebut. Kemudian kondisi kedua yaitu saat setelah komposit. Proses perhitungan yang akan dilakukan akan menggunakan cara trial and error. Berikut perhitungan pada kedua kondisi tersebut:

- Sebelum Komposit
 - Tumpuan Negatif
Pada tumpuan negatif, akan dilakukan pemasangan 2D22, berikut kontrol yang perlu dilakukan:

1. Cek As Minimum

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 22^2 \\ &= 760.26 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{As Minimum 1} = \frac{\sqrt{f'c}}{4 \times f_y} \times b \times d$$

$$= \frac{\sqrt{22.75}}{4 \times 420} \times 550 \times 475$$

$$= 674.28 \text{ mm}^2$$

$$\text{As Minimum 2} = \frac{1.4}{4 \times fy} \times b \times d$$

$$= \frac{1.4}{4 \times 420} \times 550 \times 475$$

$$= 197.91 \text{ mm}^2$$

Berdasarkan area penampang tulangan yang dipasang sudah memenuhi, maka cek as minimum sudah memenuhi syarat area penampang tulangan minimum.

2. Cek Kapasitas Momen

$$\text{Panjang beton tekan, } a = \frac{As \times fy}{0.85 \times f'c \times b}$$

$$= \frac{760.26 \times 420}{0.85 \times 22.75 \times 550}$$

$$= 21.46 \text{ mm}$$

$$\text{Momen Nominal, } M_n = As \times fy \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$= 720.26 \times 420 \times \left(d - \frac{21.46}{2}\right)$$

$$= 148.24 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$C = \frac{a}{\beta_1}$$

$$= \frac{21.46}{0.8}$$

$$= 21.83$$

$$\text{Regangan Baja, } \epsilon_s = \frac{(d-c)}{c} \times 0.003$$

$$= \frac{(475-26.83)}{26.83} \times 0.003$$

$$= 0.05$$

Dikarenakan nilai regangan baja sudah melebihi 0.005 (tension controlled) maka nilai ϕ dapat diambil 0.9.

$$\phi M_n = \phi \times M_n$$

$$= 0.9 \times 148.24$$

$$= 133.42 \text{ kN.m}$$

$$Mu = 10.41 \text{ kN.m}$$

Dikarenakan nilai ϕM_n sudah lebih besar dari nilai momen ultimate, maka kapasitas momen sudah terpenuhi.

o Tumpuan Positif

Pada tumpuan positif, akan dilakukan pemasangan 7D25, berikut kontrol yang perlu dilakukan:

1. Cek As Minimum

$$\text{As pasang} = n \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

$$= 8 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 25^2$$

$$= 3926.99 \text{ mm}^2$$

$$\text{As Minimum 1} = \frac{\sqrt{f'c}}{4 \times fy} \times b \times d$$

$$= \frac{\sqrt{22.75}}{4 \times 420} \times 550 \times 475$$

$$\begin{aligned}
&= 674.28 \text{ mm}^2 \\
\text{As Minimum 2} &= \frac{1.4}{4 \times f_y} \times b \times d \\
&= \frac{1.4}{4 \times 420} \times 550 \times 475 \\
&= 197.91 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

Berdasarkan area penampang tulangan yang dipasang sudah memenuhi, maka cek as minimum sudah memenuhi syarat area penampang tulangan minimum.

2. Cek Kapasitas Momen

$$\begin{aligned}
\text{Panjang beton tekan, } a &= \frac{A_s \times f_y}{0.85 \times f'_c \times b} \\
&= \frac{3926.99 \times 420}{0.85 \times 22.75 \times 550} \\
&= 110.88 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Momen Nominal, } M_n &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\
&= 720.26 \times 420 \times \left(d - \frac{110.88}{2}\right) \\
&= 691.99 \text{ kN} \cdot \text{m}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
c &= \frac{a}{\beta_1} \\
&= \frac{97.02}{0.8} \\
&= 138.60
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Regangan Baja, } \epsilon_s &= \frac{(d-c)}{c} \times 0.003 \\
&= \frac{(475-121.27)}{121.27} \times 0.003 \\
&= 0.007
\end{aligned}$$

Dikarenakan nilai regangan baja sudah melebihi 0.005 (tension controlled) maka nilai ϕ dapat diambil 0.9.

$$\begin{aligned}
\phi M_n &= \phi \times M_n \\
&= 0.9 \times 691.99 \\
&= 622.79 \text{ kN.m}
\end{aligned}$$

$$\text{Mu} = 5.20 \text{ kN.m}$$

Dikarenakan nilai ϕM_n sudah lebih besar dari nilai momen ultimate, maka kapasitas momen sudah terpenuhi.

o Lapangan Negatif

Pada tumpuan negatif, akan dilakukan pemasangan 2D22, berikut kontrol yang perlu dilakukan:

1. Cek As Minimum

$$\begin{aligned}
\text{As pasang} &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\
&= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 22^2 \\
&= 760.26 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{As Minimum 1} &= \frac{\sqrt{f'_c}}{4 \times f_y} \times b \times d \\
&= \frac{\sqrt{22.75}}{4 \times 420} \times 550 \times 475 \\
&= 674.28 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{As Minimum 2} &= \frac{1.4}{4 \times f_y} \times b \times d \\
&= \frac{1.4}{4 \times 420} \times 550 \times 475 \\
&= 197.91 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

Berdasarkan area penampang tulangan yang dipasang sudah memenuhi, maka cek as minimum sudah memenuhi syarat area penampang tulangan minimum.

2. Cek Kapasitas Momen

$$\begin{aligned}
\text{Panjang beton tekan, } a &= \frac{A_s \times f_y}{0.85 \times f'_c \times b} \\
&= \frac{760.26 \times 420}{0.85 \times 22.75 \times 550} \\
&= 21.46 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Momen Nominal, } M_n &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\
&= 760.26 \times 420 \times \left(d - \frac{21.46}{2}\right) \\
&= 148.24 \text{ kN} \cdot \text{m}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
c &= \frac{a}{\beta_1} \\
&= \frac{21.46}{0.8} \\
&= 26.83
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Regangan Baja, } \epsilon_s &= \frac{(d-c)}{c} \times 0.003 \\
&= \frac{(475-26.83)}{26.83} \times 0.003 \\
&= 0.05
\end{aligned}$$

Dikarenakan nilai regangan baja sudah melebihi 0.005 (tension controlled) maka nilai ϕ dapat diambil 0.9.

$$\begin{aligned}
\phi M_n &= \phi \times M_n \\
&= 0.9 \times 148.24 \\
&= 133.42 \text{ kN.m}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
M_u &= 10.65 \text{ kN.m}
\end{aligned}$$

Dikarenakan nilai ϕM_n sudah lebih besar dari nilai momen ultimate, maka kapasitas momen sudah terpenuhi.

o Lapangan Positif

Pada tumpuan negatif, akan dilakukan pemasangan 2D22, berikut kontrol yang perlu dilakukan:

1. Cek As Minimum

$$\begin{aligned}
\text{As pasang} &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\
&= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 25^2 \\
&= 2454.36 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{As Minimum 1} &= \frac{\sqrt{f'_c}}{4 \times f_y} \times b \times d \\
&= \frac{\sqrt{22.75}}{4 \times 420} \times 550 \times 475 \\
&= 674.28 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{As Minimum 2} &= \frac{1.4}{4 \times f_y} \times b \times d
\end{aligned}$$

$$= \frac{1.4}{4 \times 420} \times 550 \times 475$$

$$= 197.91 \text{ mm}^2$$

Berdasarkan area penampang tulangan yang dipasang sudah memenuhi, maka cek as minimum sudah memenuhi syarat area penampang tulangan minimum.

2. Cek Kapasitas Momen

$$\text{Panjang beton tekan, } a = \frac{A_s \times f_y}{0.85 \times f'_c \times b}$$

$$= \frac{2454.36 \times 420}{0.85 \times 22.75 \times 550}$$

$$= 69.30 \text{ mm}$$

$$\text{Momen Nominal, } M_n = A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$= 720.26 \times 420 \times \left(d - \frac{21.46}{2}\right)$$

$$= 453.92 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$

$$= \frac{69.30}{0.8}$$

$$= 86.62$$

$$\text{Regangan Baja, } \epsilon_s = \frac{(d-c)}{c} \times 0.003$$

$$= \frac{(475-86.62)}{86.62} \times 0.003$$

$$= 0.013$$

Dikarenakan nilai regangan baja sudah melebihi 0.005 (tension controlled) maka nilai ϕ dapat diambil 0.9.

$$\phi M_n = \phi \times M_n$$

$$= 0.9 \times 148.24$$

$$= 133.42 \text{ kN.m}$$

$$M_u = 10.65 \text{ kN.m}$$

Dikarenakan nilai ϕM_n sudah lebih besar dari nilai momen ultimate, maka kapasitas momen sudah terpenuhi.

- Setelah Komposit

- Tumpuan Negatif

Pada tumpuan negatif, akan dilakukan pemasangan 10D32, berikut kontrol yang perlu dilakukan:

1. Cek As Minimum

$$\text{As pasang} = n \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

$$= 10 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 32^2$$

$$= 8042.47 \text{ mm}^2$$

$$\text{As Minimum 1} = \frac{\sqrt{f'_c}}{4 \times f_y} \times b \times d$$

$$= \frac{\sqrt{22.75}}{4 \times 420} \times 550 \times 475$$

$$= 674.28 \text{ mm}^2$$

$$\text{As Minimum 2} = \frac{1.4}{4 \times f_y} \times b \times d$$

$$= \frac{1.4}{4 \times 420} \times 550 \times 475$$

$$= 197.91 \text{ mm}^2$$

Berdasarkan area penampang tulangan yang dipasang sudah memenuhi, maka cek as minimum sudah memenuhi syarat area penampang tulangan minimum.

2. Cek Kapasitas Momen

$$\text{Panjang beton tekan, } a = \frac{A_s \times f_y}{0.85 \times f'_c \times b}$$

$$= \frac{8042.477 \times 420}{0.85 \times 22.75 \times 550}$$

$$= 227.082 \text{ mm}$$

$$\text{Momen Nominal, } M_n = A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$= 8042.477 \times 420 \times \left(d - \frac{227.082}{2}\right)$$

$$= 1220.951 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$

$$= \frac{204.37}{0.8}$$

$$= 283.852$$

$$\text{Regangan Baja, } \epsilon_s = \frac{(d-c)}{c} \times 0.003$$

$$= \frac{(475-283.852)}{26.83} \times 0.003$$

$$= 0.00466$$

Dikarenakan nilai regangan baja sudah melebihi 0.002 tapi tidak melebihi 0.005 maka nilai ϕ dapat diambil 0.871.

$$\phi M_n = \phi \times M_n$$

$$= 0.871 \times 1220.951$$

$$= 1063.795 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_u = 1057.080 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Dikarenakan nilai ϕM_n sudah lebih besar dari nilai momen ultimate, maka kapasitas momen sudah terpenuhi.

o Tumpuan Positif

Pada tumpuan negatif, akan dilakukan pemasangan 10D32, berikut kontrol yang perlu dilakukan:

1. Cek As Minimum

$$\text{As pasang} = n \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

$$= 10 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 32^2$$

$$= 8042.47 \text{ mm}^2$$

$$\text{As Minimum 1} = \frac{\sqrt{f'_c}}{4 \times f_y} \times b \times d$$

$$= \frac{\sqrt{22.75}}{4 \times 420} \times 550 \times 475$$

$$= 674.28 \text{ mm}^2$$

$$\text{As Minimum 2} = \frac{1.4}{4 \times f_y} \times b \times d$$

$$= \frac{1.4}{4 \times 420} \times 550 \times 475$$

$$= 197.91 \text{ mm}^2$$

Berdasarkan area penampang tulangan yang dipasang sudah memenuhi, maka cek as minimum sudah memenuhi syarat area penampang tulangan minimum.

2. Cek Kapasitas Momen

$$\begin{aligned} \text{Panjang beton tekan, } a &= \frac{A_s \times f_y}{0.85 \times f'_c \times b} \\ &= \frac{8042.477 \times 420}{0.85 \times 22.75 \times 550} \\ &= 227.082 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Momen Nominal, } M_n &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= 8042.477 \times 420 \times \left(d - \frac{227.082}{2}\right) \\ &= 1220.951 \text{ kN} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{204.37}{0.8} \\ &= 283.852 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Regangan Baja, } \epsilon_s &= \frac{(d-c)}{c} \times 0.003 \\ &= \frac{(475-283.852)}{26.83} \times 0.003 \\ &= 0.00466 \end{aligned}$$

Dikarenakan nilai regangan baja sudah melebihi 0.002 tapi tidak melebihi 0.005 maka nilai ϕ dapat diambil 0.871.

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \phi \times M_n \\ &= 0.871 \times 1220.951 \\ &= 1063.795 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\text{Mu} = 1053.080 \text{ kN.m}$$

Dikarenakan nilai ϕM_n sudah lebih besar dari nilai momen ultimate, maka kapasitas momen sudah terpenuhi.

o Lapangan Negatif

Pada tulangan lapangan negatif, akan dilakukan pemasangan 6D32, berikut kontrol yang perlu dilakukan:

1. Cek As Minimum

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= 6 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 32^2 \\ &= 4825.486 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As Minimum 1} &= \frac{\sqrt{f'_c}}{4 \times f_y} \times b \times d \\ &= \frac{\sqrt{22.75}}{4 \times 420} \times 550 \times 475 \\ &= 674.28 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As Minimum 2} &= \frac{1.4}{4 \times f_y} \times b \times d \\ &= \frac{1.4}{4 \times 420} \times 550 \times 475 \\ &= 197.91 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Berdasarkan area penampang tulangan yang dipasang sudah memenuhi, maka cek as minimum sudah memenuhi syarat area penampang tulangan minimum.

2. Cek Kapasitas Momen

$$\begin{aligned} \text{Panjang beton tekan, } a &= \frac{A_s \times f_y}{0.85 \times f'_c \times b} \\ &= \frac{4825.486 \times 420}{0.85 \times 22.75 \times 550} \\ &= 136.249 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Momen Nominal, } M_n &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= 4825.486 \times 420 \times \left(d - \frac{136.249}{2}\right) \\ &= 824.616 \text{ kN} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{136.249}{0.8} \\ &= 170.311 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Regangan Baja, } \epsilon_s &= \frac{(d-c)}{c} \times 0.003 \\ &= \frac{(475-86.62)}{86.62} \times 0.003 \\ &= 0.00829 \end{aligned}$$

Dikarenakan nilai regangan baja sudah melebihi 0.005 (tension controlled) maka nilai ϕ dapat diambil 0.9.

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \phi \times M_n \\ &= 0.9 \times 824.616 \\ &= 742.155 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$M_u = 725.770 \text{ kN.m}$$

Dikarenakan nilai ϕM_n sudah lebih besar dari nilai momen ultimate, maka kapasitas momen sudah terpenuhi.

o Lapangan Positif

Pada tulangan lapangan positif, akan dilakukan pemasangan 6D32, berikut kontrol yang perlu dilakukan:

3. Cek As Minimum

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= 7 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 32^2 \\ &= 5629.734 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As Minimum 1} &= \frac{\sqrt{f'_c}}{4 \times f_y} \times b \times d \\ &= \frac{\sqrt{22.75}}{4 \times 420} \times 550 \times 475 \\ &= 674.28 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As Minimum 2} &= \frac{1.4}{4 \times f_y} \times b \times d \\ &= \frac{1.4}{4 \times 420} \times 550 \times 475 \\ &= 197.91 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Berdasarkan area penampang tulangan yang dipasang sudah memenuhi, maka cek as minimum sudah memenuhi syarat area penampang tulangan minimum.

4. Cek Kapasitas Momen

$$\begin{aligned} \text{Panjang beton tekan, } a &= \frac{A_s \times f_y}{0.85 \times f'_c \times b} \\ &= \frac{5629.734 \times 420}{0.85 \times 22.75 \times 550} \\ &= 158.957 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Momen Nominal, } M_n &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= 5629.734 \times 420 \times \left(d - \frac{158.957}{2}\right) \\ &= 935.206 \text{ kN} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{158.957}{0.8} \\ &= 198.696 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Regangan Baja, } \epsilon_s &= \frac{(d-c)}{c} \times 0.003 \\ &= \frac{(475-198.696)}{86.62} \times 0.003 \\ &= 0.00668 \end{aligned}$$

Dikarenakan nilai regangan baja sudah melebihi 0.005 (tension controlled) maka nilai ϕ dapat diambil 0.9.

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \phi \times M_n \\ &= 0.9 \times 935.206 \\ &= 841.685 \text{ kN} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

$$M_u = 744.090 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Dikarenakan nilai ϕM_n sudah lebih besar dari nilai momen ultimate, maka kapasitas momen sudah terpenuhi.

4.4.1.4 Penulangan Geser Balok

- Sebelum Komposit

- Tumpuan

Pada tulangan geser tumpuan, akan dipasang 2D-150. Berikut perhitungan dan pengecekan untuk tulangan geser tumpuan:

1. Cek Spasi Maksimum

$$\begin{aligned} A_v &= n \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 \\ &= 2 \times \frac{\pi}{4} \times 13^2 \\ &= 265.46 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Spasi Maksimum} &= \frac{d}{2} \\ &= \frac{475}{2} \\ &= 237.5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dikarenakan spasi yang dipasang sudah lebih kecil dari spasi maksimum, maka spasi sudah memenuhi persyaratan spasi maksimum.

2. Cek Batas V_s

$$\begin{aligned}
 V_s &= \frac{A_v \times F_{yv} \times ds}{s} \\
 &= \frac{265.46 \times 420 \times 13}{150} \\
 &= 476456 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Batas } V_s &= 0.66 \times \sqrt{f'c} \times b \times ds \\
 &= 0.66 \times \sqrt{22.75} \times 500 \times 13 \\
 &= 1251428 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Maka nilai V_s dapat digunakan.

3. Cek Kapasitas

$$\begin{aligned}
 V_s &= 476456 \text{ N} \\
 V_c &= 0.17 \times \sqrt{f'c} \times b \times ds \\
 &= 0.17 \times \sqrt{22.75} \times 500 \times 13 \\
 &= 322338 \text{ N} \\
 V_n &= V_c + V_s \\
 &= 322338 + 476456 \\
 &= 798793 \text{ N} \\
 \phi V_n &= 0.75 \times 798793 \\
 &= 599095 \text{ N} \\
 V_u &= 21.17 \text{ kN} \\
 &= 21170 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Maka Kapasitas geser sudah memenuhi.

o Lapangan

Pada tulangan geser lapangan, akan dipasang 2D-200. Berikut perhitungan dan pengecekan untuk tulangan geser tumpuan:

1. Cek Spasi Maksimum

$$\begin{aligned}
 A_v &= n \times \frac{\pi}{4} \times ds^2 \\
 &= 2 \times \frac{\pi}{4} \times 13^2 \\
 &= 265.46 \text{ mm}^2 \\
 \text{Spasi Maksimum} &= \frac{d}{2} \\
 &= \frac{475}{2} \\
 &= 237.5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Dikarenakan spasi yang dipasang sudah lebih kecil dari spasi maksimum, maka spasi sudah memenuhi persyaratan spasi maksimum.

2. Cek Batas V_s

$$\begin{aligned}
 V_s &= \frac{A_v \times F_{yv} \times ds}{s} \\
 &= \frac{265.46 \times 420 \times 13}{200} \\
 &= 357342 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Batas } V_s &= 0.66 \times \sqrt{f'c} \times b \times ds \\
 &= 0.66 \times \sqrt{22.75} \times 500 \times 13 \\
 &= 1251428 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Maka nilai V_s dapat digunakan.

3. Cek Kapasitas

$$\begin{aligned}
V_s &= 357342 \text{ N} \\
V_c &= 0.17 \times \sqrt{f'c} \times b \times ds \\
&= 0.17 \times \sqrt{22.75} \times 500 \times 13 \\
&= 322338 \text{ N} \\
V_n &= V_c + V_s \\
&= 322338 + 357342 \\
&= 679679 \text{ N} \\
\phi V_n &= 0.75 \times 679679 \\
&= 509759 \\
V_u &= 21.17 \text{ kN} \\
&= 21170 \text{ N}
\end{aligned}$$

Maka Kapasitas geser sudah memenuhi.

- Setelah Komposit

- Tumpuan

Pada tulangan geser tumpuan, akan dipasang 2D-75. Berikut perhitungan dan pengecekan untuk tulangan geser tumpuan:

1. Gaya Desain

$$\begin{aligned}
V_g &= 199.38 \text{ kN} \\
A_s^+ \text{ tumpuan balok} &= 8042 \text{ mm}^2 \\
A_s^- \text{ tumpuan balok} &= 8042 \text{ mm}^2 \\
a_{pr}^+ \text{ tumpuan balok} &= 1.25 \times a \\
&= 284 \text{ mm} \\
a_{pr}^- \text{ tumpuan balok} &= 1.25 \times a \\
&= 284 \text{ mm} \\
M_{pr}^+ \text{ tumpuan balok} &= A_s \times 1.25 \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\
&= 2107240125.32 \text{ N mm} \\
M_{pr}^- \text{ tumpuan balok} &= A_s \times 1.25 \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\
&= 2107240125.32 \text{ N mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
V_{\text{sway}} &= \frac{M_{pr}^+ + M_{pr}^-}{L_n} \\
&= 633756 \text{ N}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
V_e &= V_g + V_{\text{sway}} \\
&= 783136 \text{ N}
\end{aligned}$$

Dikarenakan $V_{\text{sway}} > \frac{1}{2} V_e$ maka, $V_c = 0$

2. Cek Spasi Maksimum

$$\begin{aligned}
A_v &= n \times \frac{\pi}{4} \times ds^2 \\
&= 2 \times \frac{\pi}{4} \times 13^2 \\
&= 265.46 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Spasi Maksimum} &= \frac{d}{4} \\
&= \frac{475}{4}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= 160.25 \text{ mm} \\ \text{Spasi Maksimum} &= 8db \\ &= 256 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Spasi Maksimum} = 300 \text{ mm}$$

Dikarenakan spasi yang dipasang sudah lebih kecil dari spasi maksimum, maka spasi sudah memenuhi persyaratan spasi maksimum.

3. Cek Batas V_s

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{A_v \times F_{yv} \times ds}{s} \\ &= \frac{265.46 \times 420 \times 13}{75} \\ &= 952912 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Batas } V_s &= 0.66 \times \sqrt{f'c} \times b \times ds \\ &= 0.66 \times \sqrt{22.75} \times 500 \times 13 \\ &= 1251428 \text{ N} \end{aligned}$$

Maka nilai V_s dapat digunakan.

4. Cek Kapasitas

$$V_s = 952912 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} V_n &= V_c + V_s \\ &= 0 + 952912 \\ &= 952912 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= 0.75 \times 952912 \\ &= 794683.740 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_u = 783136 \text{ N}$$

Maka Kapasitas geser sudah memenuhi.

o Lapangan

Pada tulangan geser lapangan, akan dipasang 2D-100. Berikut perhitungan dan pengecekan untuk tulangan geser tumpuan:

1. Cek Spasi Maksimum

$$\begin{aligned} A_v &= n \times \frac{\pi}{4} \times ds^2 \\ &= 2 \times \frac{\pi}{4} \times 13^2 \\ &= 265.46 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Spasi Maksimum} &= \frac{d}{2} \\ &= \frac{475}{2} \\ &= 237.5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dikarenakan spasi yang dipasang sudah lebih kecil dari spasi maksimum, maka spasi sudah memenuhi persyaratan spasi maksimum.

2. Cek Batas V_s

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{A_v \times F_{yv} \times ds}{s} \\ &= \frac{265.46 \times 420 \times 13}{100} \\ &= 714684 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Batas } V_s &= 0.66 \times \sqrt{f'c} \times b \times ds \\ &= 0.66 \times \sqrt{22.75} \times 500 \times 13 \end{aligned}$$

$$= 1251428 \text{ N}$$

Maka nilai V_s dapat digunakan.

3. Cek Kapasitas

$$V_s = 714684 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0.17 \times \sqrt{f'c} \times b \times ds \\ &= 0.17 \times \sqrt{22.75} \times 500 \times 13 \\ &= 322338 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_n &= V_c + V_s \\ &= 322338 + 357342 \\ &= 1037021 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= 0.75 \times 679679 \\ &= 777766.010 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_u = 676020 \text{ N}$$

Maka Kapasitas geser sudah memenuhi.

4.4.1.5 Pengecekan Torsi dan Penulangan Torsi

- Pengecekan Kebutuhan Tulangan Torsi

$$\begin{aligned} A_{CP} &= B \times H \\ &= 500 \times 700 \\ &= 350000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{CP} &= 2 \times (B + H) \\ &= 2 \times (500 + 700) \\ &= 2400 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_{CR} &= 0.33 \times \sqrt{f'c} \times \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \\ &= 0.33 \times \sqrt{35} \times \frac{350000^2}{2400} \\ &= 99648969 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi \frac{T_{cr}}{4} &= 0.75 \times \frac{T_{cr}}{4} \\ &= 0.75 \times \frac{99648969}{4} \\ &= 18684182 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$T_u = 160000 \text{ N.mm}$$

Dikarenakan nilai $T_u < \phi \frac{T_{cr}}{4}$, maka tidak perlu dilakukan pengecekan torsi.

- Pengecekan Torsi Transversal
Tidak perlu dilakukan pengecekan
- Pengecekan Torsi Longitudinal
Tidak perlu dilakukan pengecekan

4.4.2 Perencanaan Kolom

- Dimensi Kolom

Kolom Tipe 1 (K1) : 600 x 800

Kolom Tipe 2 (K2) : 500 x 800

- Data Material

Diameter Tulangan Longitudinal, d_b	: 36	mm
Diameter Tulangan Sengkang, d_s	: 16	mm
Selimut Bersih, c_c	: 40	mm
Kuat Tekan Beton, f_c'	: 35	MPa
Kuat Leleh Tul. Longitudinal, f_y	: 420	MPa
Kuat Leleh Tul. Transversal, f_{yv}	: 420	MPa

4.4.2.1 Perencanaan Tulangan Longitudinal

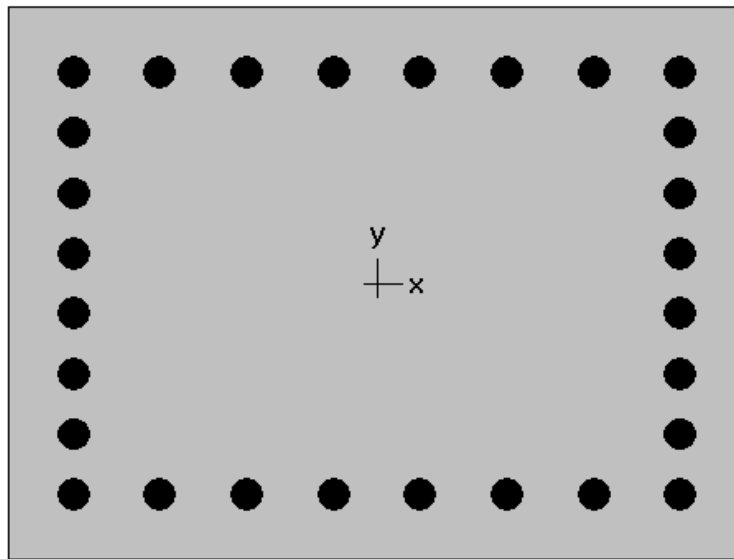
Pada kolom K1 akan dilakukan pemasangan 28D36 untuk tulangan utama. Berikut pengecekan tulangan longitudinal kolom K1:

- Hasil Analisa Struktur
Pada perencanaan kolom, akan dilakukan program bantu untuk mendapatkan diagram interaksi aksial dan momen. Untuk melakukan pengecekan, diambil beberapa kondisi. Berikut beberapa kondisi dan nilai yang didapatkan dari program bantu analisa struktur:

Tabel 4.11 Rekapitulasi Gaya Dalam Kolom Sesuai Kondisi

Aksial - Lentur			
Kondisi	P (kN)	M2 (kN-m)	M3 (kN-m)
P max	3681.050	58.480	131.960
P min	-8833.270	-139.390	-215.320
M2 Max	-310.130	-340.010	-102.180
M2 Min	-919.190	515.080	220.920
M3 Max	-2106.340	265.550	490.500
M3 Min	-3378.440	-184.760	-487.320

- Pengecekan Kapasitas Menggunakan Program Bantu
Pengecekan kapasitas akan menggunakan program bantu analisa struktur untuk mendapatkan diagram interaksi momen dan aksial. Berikut pemodelan dan hasil dari pengecekan kapasitas aksial lentur:
 1. Rasio tulangan
Dari program bantu, didapatkan rasio tulangan dari tulangan yang digunakan yaitu:



800 x 600 mm
5.87% reinf.

Gambar 4.4 Pemodelan Kolom

Rasio Tulangan, $\rho = 5.87\%$

Rasio Tul. Minimum, $\rho_{min} = 1\%$

Rasio Tul. Maksimum, $\rho_{max} = 6\%$

Maka rasio tulangan sudah memenuhi.

2. Pengecekan kapasitas

Untuk melakukan pengecekan kapasitas akan menggunakan program bantu.

Berikut hasil analisa yang telah dilakukan:

Tabel 4.12 Hasil Analisa Struktur Kolom

Kondisi	P_u	M_{ux}	M_{uy}	ϕP_n	ϕM_{nx}	ϕM_{ny}	ϵ_t	ϕ	Rasio
P max	-3681.05	58.48	131.96	-3681.05	834.52	1883.09	0.00610	0.900	0.07
P min	8833.27	-139.39	-215.32	8833.27	-798.71	-1233.79	0.00073	0.650	0.17
M2 Max	310.13	-340.01	-102.18	310.13	-1911.42	-574.42	0.00407	0.820	0.18
M2 Min	919.19	515.08	220.92	919.19	1762.78	756.07	0.00353	0.773	0.29
M3 Max	2106.34	265.55	490.50	2106.34	969.25	1790.32	0.00271	0.702	0.27
M3 Min	3378.44	-184.76	-487.32	3378.44	-729.45	-1924.00	0.00227	0.664	0.25

Dari rasio yang didapatkan. Penggunaan tulangan 28D36 sudah memenuhi semua kondisi.

4.4.2.2 Perencanaan Tulangan Transversal

Pada perencanaan tulangan transversal kolom K1 akan dipasang 4D16-100 untuk di tumpuan dan 2D16-150 untuk di lapangan. Berikut perhitungan perencanaan tulangan transversal.

- Panjang Tumpuan
 Panjang tumpuan untuk kolom SRPMM dibatasi oleh beberapa syarat. Berikut pengecekan panjang tumpuan, L_0 :
 - L_0 Minimum 1 = h
 = 800 mm
 - L_0 Minimum 1 = $\frac{L_n}{6}$
 = 550 mm
 - L_0 Minimum 1 = 450 mm
 - L_0 Pakai = 800 mm
- Pengecekan Pengekangan
 - Lebar Penampang Inti Beton, bc = b - 2cc
 = 520 mm
 - Panjang Penampang Inti Beton, hc = h - 2cc
 = 720 mm
 - Luas Penampang Kolom, Ag = b x h
 = 480000 mm²
 - Luas Penampang Inti Beton, Ach = bc x hc
 = 374400 mm²
 - Ash/s = $\frac{n \times 0.25 \times \pi \times d_s^2}{s}$
 = 8.042 mm² / mm
 - Pengecekan kolom sisi lemah/pendek
 - Ash/s minimum 1 = $0.3 \times \frac{bc \times f'c}{f_y} \times \left(\frac{ag}{ach} - 1\right)$
 = 3.667 mm² / mm
 - Ash/s minimum 2 = $0.09 \times \frac{bc \times f'c}{f_y}$
 = 3.9 mm² / mm

Dikarenakan nilai Ash/s pakai lebih besar maka sudah memenuhi persyaratan.
 - Pengecekan kolom sisi kuat/panjang
 - Ash/s minimum 1 = $0.3 \times \frac{bc \times f'c}{f_y} \times \left(\frac{ag}{ach} - 1\right)$
 = 5.077 mm² / mm
 - Ash/s minimum 2 = $0.09 \times \frac{bc \times f'c}{f_y}$
 = 5.400 mm² / mm

Dikarenakan nilai Ash/s pakai lebih besar maka sudah memenuhi persyaratan.
- Cek Spasi
 - Tumpuan
 - S_0 Maksimum 1 = $\frac{b}{2}$
 = 300 mm
 - S_0 Maksimum 2 = $8d_b$
 = 256 mm
 - S_0 Maksimum 3 = $24d_s$
 = 384 mm

$$S_o \text{ Maksimum 4} = 300 \text{ mm}$$

$$S_o \text{ Pasang} = 150 \text{ mm}$$

Maka jarak spasi yang digunakan sudah memenuhi spasi maksimum.

- Lapangan

$$\begin{aligned} S \text{ Maksimum 1} &= \frac{d}{2} \\ &= 254 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S \text{ Maksimum 1} = 300 \text{ mm}$$

$$S \text{ Pakai} = 150 \text{ mm}$$

Maka jarak spasi yang digunakan sudah memenuhi spasi maksimum.

- Cek Kekuatan Geser

- Tumpuan

1. Nilai V_u

Untuk menentukan nilai V_u , ada dua nilai yang perlu dihitung, Berikut perhitungan nilai V_u :

$$M_n = 1521.33 \text{ kN.m}$$

$$L_n = 3300 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} V_{pr} &= \frac{2 \times M_{pr}}{L_n} \\ &= \frac{2 \times 1521330000}{3300} \end{aligned}$$

$$= 922018 \text{ N}$$

$$V_g = 106300 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} V_u, \text{ Minimum 1} &= V_{Mpr} + V_g \\ &= 922018 + 106300 \\ &= 1028318 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_u, \text{ Minimum 2} = 625100 \text{ N (Gaya Geser Maksimum)}$$

$$V_u \text{ Pakai} = 1028318 \text{ N}$$

2. Kapasitas Geser

$$V_u = 1028318 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0.17 \times \frac{1+N_u}{14 \times A_g} \times \sqrt{f'c} \\ &= 0.17 \times \frac{1+1}{14 \times 480000} \times \sqrt{35} \\ &= 424885 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s \text{ Perlu} &= \frac{V_u}{\phi} - V_c \\ &= \frac{1028318}{0.75} - 424885 \\ &= 946205 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As/s Perlu} &= \frac{V_s \text{ Perlu}}{F_y \times d} \\ &= \frac{946205}{420 \times 528} \\ &= 4.26 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As/s Pakai} &= \frac{n \times \frac{\pi}{4} \times d^2}{s \text{ pakai}} \\ &= \frac{4 \times \frac{\pi}{4} \times 16^2}{150} \\ &= 5.362 \end{aligned}$$

Dikarenakan nilai As/s sudah memenuhi As/s perlu. Maka kapasitas geser kolom sudah sesuai. Perhitungan dilakukan juga untuk sumbu kuat nya.

o Lapangan

1. Nilai Vu

Untuk menentukan nilai Vu, ada dua nilai yang perlu dihitung, Berikut perhitungan nilai Vu:

$$Vu, = 625100 \text{ N}$$

2. Kapasitas Geser

$$Vu = 625100 \text{ N}$$

$$Vc = 0.17 \times \frac{1+Nu}{14 \times Ag} \times \sqrt{f'c}$$

$$= 0.17 \times \frac{1+1}{14 \times 480000} \times \sqrt{35}$$

$$= 424885 \text{ N}$$

$$Vs \text{ Perlu} = \frac{Vu}{\phi} - Vc$$

$$= \frac{625100}{0.75} - 424885$$

$$= 180835 \text{ N}$$

$$\text{As/s Perlu} = \frac{Vs \text{ Perlu}}{Fy \times d}$$

$$= \frac{180835}{420 \times 528}$$

$$= 0.59 \text{ mm/mm}$$

$$\text{As/s Pakai} = \frac{n \times \frac{\pi}{4} \times d^2}{s \text{ pakai}}$$

$$= \frac{2 \times \frac{\pi}{4} \times 16^2}{150}$$

$$= 2.68 \text{ mm/mm}$$

Dikarenakan nilai As/s sudah memenuhi As/s perlu. Maka kapasitas geser kolom sudah sesuai. Perhitungan dilakukan juga untuk sumbu kuat nya.

4.4.3 Perencanaan Tulangan Shearwall

Pada perhitungan yang akan dilakukan, akan digunakan shearwall P1 dengan menggunakan tulangan 16D32 untuk tulangan longitudinal serta 4D16-100 untuk tulangan transversal. Berikut pengecekan yang dilakukan untuk shearwall P1:

4.4.3.1 Pengecekan Kebutuhan Tulangan Minimum

$$\text{Batas} = 0.17 \times Agv \times \sqrt{f'c}$$

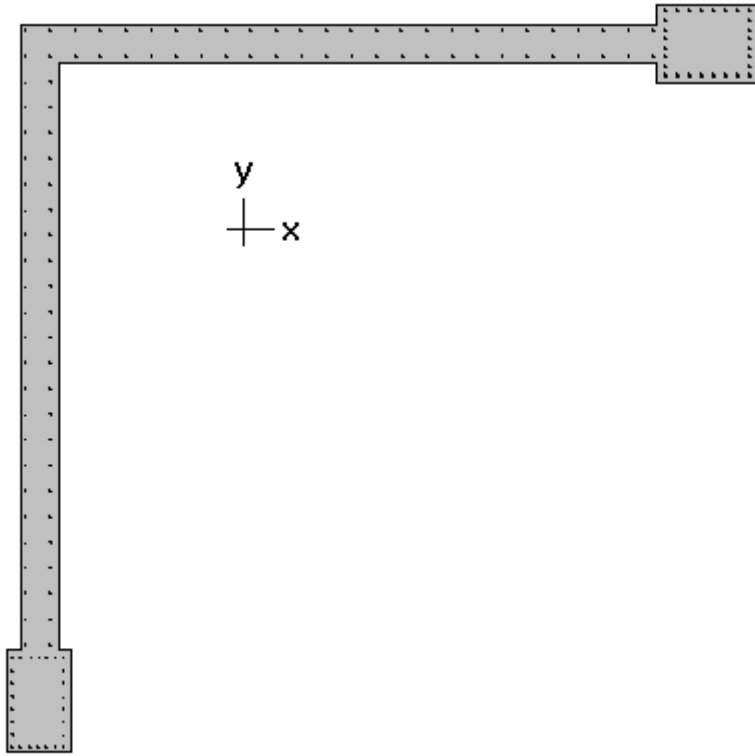
$$= 2077846 \text{ N}$$

$$\frac{Vu}{\phi} = 3750560$$

Dikarenakan sudah melebihi batas maka diperlukan 2 lapis tulangan pada shearwall yang digunakan.

4.4.3.2 Pengecekan Terhadap Gaya Aksial-Lentur

Pada pengecekan terhadap aksial-lentur akan menggunakan program bantu, berikut hasil analisa menggunakan program bantu:



5854 x 5830 mm
2.66% reinf.

Gambar 4.5 Pemodelan Shearwall Pada Program Bantu

- Pengecekan rasio minimum
Rasio minimum = 0.25%
Rasio = 2.66%
Maka sudah memenuhi rasio minimum yang disyaratkan
- Pengecekan aksial-lentur
Berikut hasil analisa program bantu:

Tabel 4.13 Hasil Analisa Shearwall menggunakan program bantu

Kondisi	Pu	Mux	Muy	ϕPn	ϕMnx	ϕMny	ϵ_t	ϕ	Rasio
P max	-7023.72	11599.42	11428.19	-9588.23	17386.20	17129.55	0.01433	0.900	0.88
P min	21827.02	-29858.15	-16338.51	37653.34	-49076.43	-26854.84	0.00169	0.650	0.67
M2 Max	-2219.20	22753.42	17386.90	-3526.53	26265.03	20070.28	0.01180	0.900	0.94
M2 Min	19544.80	-31823.38	-10581.72	41797.55	-52830.00	-17566.71	0.00160	0.650	0.61
M3 Max	416.16	18215.96	25228.46	0.00	22283.34	30861.63	0.01064	0.900	0.92
M3 Min	15438.94	-26761.00	-19401.35	30047.87	-47354.98	-34331.70	0.00203	0.650	0.63

Berdasarkan kapasitas rasio sudah memenuhi pengecekan.

4.4.3.3 Pengecekan Kapasitas Geser

Berikut pengecekan kapasitas geser:

$$\frac{hw}{lw} = 5.1791$$

Maka nilai αc yang digunakan yaitu 0.17.

$$\text{Spasi pakai} = 200 \text{ mm}$$

$$\text{Spasi maksimum} = 450 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Rasio tulangan} &= \frac{n \text{ lapis} \times \frac{\pi}{4} \times d^2}{tw \times s} \\ &= 1.418\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kuat Geser Dinding, } V_n &= A_c v \times (\alpha c \times \sqrt{f'c} + \rho t \times f_y) \\ &= 14379023 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kuat Geser Maksimum} &= 0.66 \times a_g v \times \sqrt{f'c} \\ &= 8066930 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\text{Kuat Geser, } V_u = 3750560 \text{ N}$$

Maka sudah memenuhi persyaratan kuat geser

4.4.3.4 Pengecekan Kebutuhan Elemen Batas Khusus Pengecekan

$$\text{Panjang zona tekan} = 2977 \text{ mm (output program bantu)}$$

$$\begin{aligned} \text{Batas} &= \frac{L}{600 \times (1.5 \times 0.005)} \\ &= 2295 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka perlu dipasang tulangan elemen batas khusus

- Daerah Kolom
 - ds = 16 mm
 - n 1 = 4 kaki
 - n 2 = 4 kaki
 - Spasi = 100 mm
 - Ash/s, 1 = $\frac{n \times \pi \times ds^2}{4 \times s}$
= 8.042 mm²/mm
 - Ash/s 2 = $\frac{n \times \pi \times ds^2}{4 \times s}$
= 8,042 mm²
 - bc = b – 2cc
= 500 mm

$$hc = h - 2cc$$

$$= 700 \text{ mm}$$

$$Ag = b \times h$$

$$= 480000 \text{ mm}^2$$

$$Ach = bc \times hc$$

$$= 350000 \text{ mm}^2$$

Cek tulangan sejajar dinding

$$\text{Ash/s min 1} = 0.3 \times \frac{hc \times f'c}{fy} \times \left(\frac{ag}{ach} - 1 \right)$$

$$= 6.50 \text{ mm}^2$$

$$\text{Ash/s min 2} = 0.09 \times \frac{hc \times f'c}{fy}$$

$$= 5.25 \text{ mm}^2$$

Ash/s sejajar > Ash/s min 1 > Ash/s min 2, maka tulangan 4D16 dapat digunakan.

Cek tulangan tegak lurus dinding

$$\text{Ash/s min 1} = 0.3 \times \frac{hc \times f'c}{fy} \times \left(\frac{ag}{ach} - 1 \right)$$

$$= 4.64 \text{ mm}^2$$

$$\text{Ash/s min 2} = 0.09 \times \frac{hc \times f'c}{fy}$$

$$= 3.75 \text{ mm}^2$$

Ash/s sejajar > Ash/s min 1 > Ash/s min 2, maka tulangan 4D16 dapat digunakan.

- Daerah Badan

$$ds = 16 \text{ mm}$$

$$n 1 = 4 \text{ kaki}$$

$$n 2 = 4 \text{ kaki}$$

$$\text{Spasi} = 100 \text{ mm}$$

$$\text{Ash/s, 1} = \frac{n \times \pi \times ds^2}{4 \times s}$$

$$= 8.042 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\text{Ash/s 2} = \frac{n \times \pi \times ds^2}{4 \times s}$$

$$= 8,042 \text{ mm}^2$$

$$bc = b - 2cc$$

$$= 500 \text{ mm}$$

$$hc = h - 2cc$$

$$= 700 \text{ mm}$$

$$Ag = b \times h$$

$$= 480000 \text{ mm}^2$$

$$Ach = bc \times hc$$

$$= 350000 \text{ mm}^2$$

Cek tulangan sejajar dinding

$$\text{Ash/s min 1} = 0.3 \times \frac{hc \times f'c}{fy} \times \left(\frac{ag}{ach} - 1 \right)$$

$$= 1.77 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Ash/s min 2} &= 0.09 \times \frac{hc \times f'c}{f_y} \\ &= 1.05 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Ash/s sejajar > Ash/s min 1 > Ash/s min 2, maka tulangan 4D16 dapat digunakan.

Cek tulangan tegak lurus dinding

$$\begin{aligned} \text{Ash/s min 1} &= 0.3 \times \frac{hc \times f'c}{f_y} \times \left(\frac{ag}{ach} - 1 \right) \\ &= 8.13 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ash/s min 2} &= 0.09 \times \frac{hc \times f'c}{f_y} \\ &= 8.14 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Ash/s sejajar > Ash/s min 1 > Ash/s min 2, maka tulangan 4D16 dapat digunakan.

4.4.4 Rekapitulasi Desain Struktur Primer

4.4.4.1 Rekapitulasi Balok

Berikut rekapitulasi desain balok induk:

Tabel 4.14 Rekapitulasi Desain Balok

Rekapitulasi Design Balok					
Tipe Balok	BI A	BI B	BI C	BI D	CB1
Sebelum Komposit					
Tulangan Longitudinal					
Longitudinal Tumpuan Atas	2 D22	2 D22	2 D22	2 D22	2 D22
Longitudinal Tumpuan Bawah	10 D32	7 D25	6 D25	7 D25	2 D25
Longitudinal Lapangan Atas	2 D22	2 D22	2 D22	2 D22	2 D22
Longitudinal Lapangan Bawah	7 D32	5 D25	5 D25	5 D25	2 D25
Tulangan Transversal/Senggang					
Senggang Tumpuan	2D13-75	2D13-100	2D13-100	2D13-150	2D13-150
Senggang Lapangan	2D13-100	2D13-150	2D13-150	2D13-150	2D13-150
Setelah Komposit					
Tulangan Longitudinal					
Longitudinal Tumpuan Atas	10 D32	6 D32	6 D25	4 D25	2 D25
Longitudinal Tumpuan Bawah	10 D32	7 D25	6 D25	7 D25	2 D25
Longitudinal Lapangan Atas	6 D32	2 D32	2 D25	2 D25	2 D25
Longitudinal Lapangan Bawah	7 D32	5 D25	5 D25	5 D25	2 D25
Tulangan Transversal/Senggang					
Senggang Tumpuan	2D13-75	2D13-100	2D13-100	2D13-100	2D13-100
Senggang Lapangan	2D13-100	2D13-150	2D13-150	2D13-150	2D13-150

4.4.4.2 Rekapitulasi Kolom

Berikut rekapitulasi desain penulangan kolom :

Tabel 4.15 Rekapitulasi Desain Kolom

Rekapitulasi Design Kolom		
TIPE KOLOM	BI A	BI A
Tulangan Longitudinal		
Longitudinal Tumpuan Atas	28 D36	20 D32
Tulangan Transversal/Senggang Tumpuan		
Sumbu Lemah	4D16-100	4D16-125
Sumbu Kuat	4D16-100	4D16-125
Tulangan Transversal/Senggang Lapangan		
Sumbu Lemah	2D16-150	2D16-150
Sumbu Kuat	2D16-150	2D16-150

4.4.4.3 Rekapitulasi Shearwall

Berikut rekapitulasi desain penulangan shearwall

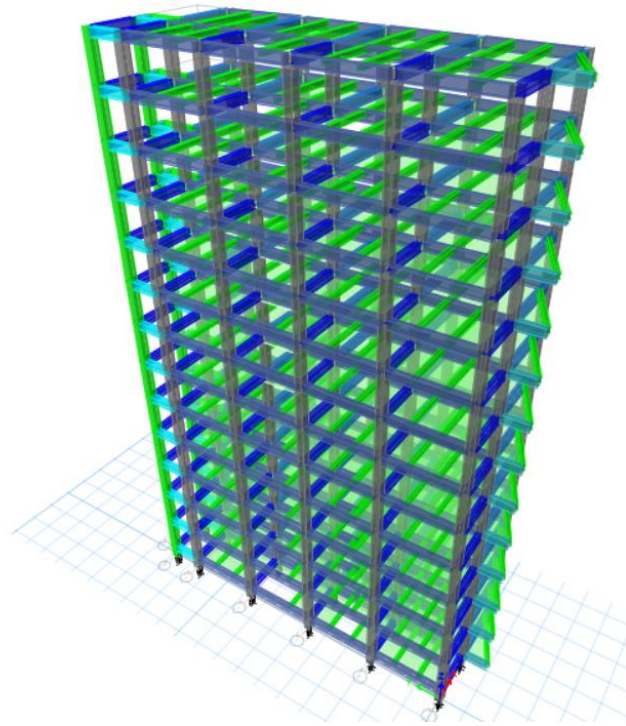
Tabel 4.16 Rekapitulasi Desain Shearwall

Rekapitulasi Design Shearwall		
TIPE Shearwall	SW1	SW2
Elemen Batas Khusus (Displacement-Based)		
Perlu Elemen Batas Khusus?	Perlu	Perlu
Tulangan Kolom		
Longitudinal	16 D32	21 D32
Transversal (Sejajar Lebar)	4 D16-100	4 D16-100
Transversal (Sejajar Panjang)	4 D16-100	4 D16-100
Tulangan Badan		
Longitudinal	2 D19-200	2 D19-200
Transversal	2 D19-200	2 D19-200
Confinement EBK (Sejajar Lebar)	4 D16-100	4 D16-100
Confinement EBK (Sejajar Panjang)	4 D16-100	4 D16-100

4.5 Pemodelan dan Analisa Struktur *Isolated Base*

4.5.1 Umum

Pemodelan dan analisa struktur akan menggunakan program bantu analisa struktur dengan analisis gempa yang akan digunakan yaitu respons spektrum. Struktur *isolated base* direncanakan sesuai dengan SNI 1726:2019 pasal 12. Tahap awal (*preliminary*) perlu memodelkan struktur *isolated base* yang perletakannya masih jepit untuk mendapatkan joint reaction dan periode struktur. Struktur terdiri dari 13 lantai dengan ketinggian 55.5 meter seperti ditunjukkan pada **Gambar 4.6**.



Gambar 4.6 Pemodelan Struktur *Isolated Base*

4.5.2 Kontrol Waktu Getar Alami Struktur

Periode atau waktu getar alami struktur ditentukan sesuai dengan SNI 1726:2019 Pasal 7.8.2 dengan persamaan dan perhitungan sebagai berikut:

$$T_{max} = C_u \times T_a$$

$$T_a = C_t \times h^x$$

Dimana :

C_u = 1.4 (koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung)

H = 55.5 meter (tinggi struktur)

C_t = 0.0466 (parameter periode pendekatan)

x = 0.9 (parameter periode pendekatan)

Berikut perhitungan kontrol waktu getar alami struktur:

Percepatan Desain Periode 1 Detik	S_{D1}	=	0.4928	g
Koefisien untuk Batas Periode	C_u	=	1.4	
<i>SNI 1726:2019 tabel 17</i>				
Parameter Periode Pendekatan	C_t	=	0.0466	
<i>SNI 1726:2019 tabel 18</i>				
Parameter Periode Pendekatan	x	=	0.9	
<i>SNI 1726:2019 tabel 18</i>				
Tinggi Bangunan (Seismik)	h	=	53.5	m
Periode Fundamental Pendekatan	T_a	=	$C_t * h^x$	
<i>SNI 1726:2019 persamaan 36</i>				
Periode Maksimum	T_{max}	=	$C_u * T_a$	
<i>SNI 1726:2019 pasal 7.8.2</i>				
Periode Hasil Analisis Arah X	$T_{c,X}$	=	2.440	detik
Periode Hasil Analisis Arah Y	$T_{c,Y}$	=	2.360	detik
Periode Pakai Arah X	T_X	=	2.344	detik
Periode Pakai Arah Y	T_Y	=	2.344	detik

Dikarenakan nilai periode struktur dari hasil program analisa struktur nilainya lebih besar dari T_{max} maka, periode struktur yang digunakan untuk analisa yaitu periode maksimum.

4.5.3 Kontrol Partisipasi Massa

Sesuai dengan SNI 1726:2019 Pasal 7.9.1 bahwa partisipasi massa ragam terkombinasi haruslah paling sedikit sebesar 90%. Berikut partisipasi massa dari hasil analisa program bantu:

Tabel 4.17 Modal Participating Mass Rasio Struktur *Isolated Base* (Masih Jepit)

Case	Mode	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ
		sec						
Modal	1	4.69	0.79	0.08	0	0.79	0.08	0
Modal	2	4.53	0.09	0.9	0	0.88	0.97	0
Modal	3	3.97	0.1	0.01	0	0.98	0.98	0
Modal	4	1.25	0.02	0.000414	0	1	0.99	0
Modal	5	1.16	0.000461	0.01	0	1	1	0
Modal	6	1.04	0.000685	0.00018	0	1	1	0
Modal	7	0.59	7.73E-02	0.000892	0	1	1	0
Modal	8	0.57	0.000769	0.000103	0	1	1	0
Modal	9	0.49	8.59E-02	1.16E-02	0	1	1	0
Modal	10	0.38	3.87E-03	0.000179	0	1	1	0
Modal	11	0.36	0.000136	6.89E-03	0	1	1	0
Modal	12	0.31	1.66E-02	1.76E-03	0	1	1	0
Modal	13	0.28	0	5.33E-02	0	1	1	0
Modal	14	0.26	3.72E-02	9.44E-04	0	1	1	0
Modal	15	0.22	4.96E-03	0	0	1	1	0
Modal	16	0.22	0	1.93E-02	0	1	1	0
Modal	17	0.2	1.22E-02	0	0	1	1	0
Modal	18	0.18	0	7.86E-03	0	1	1	0
Modal	19	0.17	1.73E-03	0	0	1	1	0
Modal	20	0.16	4.54E-03	0	0	1	1	0

Dari hasil yang didapatkan, nilai partisipasi massa sudah melebihi 90% di kedua arah. Akan tetapi dapat dilihat pada mode 1 struktur *fixed base* mengalami torsi. Hal ini dapat terjadi karena antara pusat massa dan pusat kekakuan struktur tidak berimpit sehingga eksentrisitas yang besar menyebabkan gedung mengalami torsi pada mode 1.

4.5.4 Kontrol Gaya Geser Dasar

Gaya geser dasar yang didapatkan dari program bantu, harus bernilai diatas 85% dari gaya geser dasar statik. Berikut perhitungan gaya geser dasar statik sesuai SNI 1726:2019:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{R} \cdot I_e$$

$$C_s \max = \frac{S_{D1}}{T \times \frac{R}{I_e}}$$

$$C_s \min = 0.044 \times S_{DS} \times I_e$$

Dimana :

$$\begin{aligned}
\text{SDS} &= 0.8967 \text{ g} \\
\text{SD1} &= 0.4928 \text{ g} \\
I_e &= 1 \\
T_x &= 1.048 \text{ detik} \\
T_y &= 1.18 \text{ detik} \\
R &= 8
\end{aligned}$$

Berikut perhitungan nilai C_s untuk struktur *isolated base*.

$$\begin{aligned}
\text{Koefisien Respons Seismik} & C_s = S_{DS} / (R/I_e) \\
\text{SNI 1726:2019 persamaan 31} & = 0.1121 \\
\text{Batas Atas} & C_{s,max} = S_{D1} / [T * (R/I_e)] \\
\text{SNI 1726:2019 persamaan 32} & C_{s,max,X} = 0.0263 \\
& C_{s,max,Y} = 0.0263 \\
\text{Batas Bawah} & C_{s,min,1} = 0.044 S_{DS} I_e \geq 0.01 \\
\text{SNI 1726:2019 persamaan 34} & = 0.0395 \\
\text{Koefisien Respons Seismik Pakai} & C_{s,pakai,X} = 0.0395 \\
& C_{s,pakai,Y} = 0.0395
\end{aligned}$$

Untuk mendapatkan berat struktur, akan menggunakan program bantu struktur. Berikut berat struktur yang didapatkan dari program bantu struktur:

Tabel 4.18 Berat Efektif Struktur *Isolated Base*

Story	Berat Struktur
	kg
Story14	634120.61
Story13	710920.61
Story12	710920.61
Story11	710920.61
Story10	710920.61
Story9	710920.61
Story6	710920.61
Story5	710920.61
Story4	710920.61
Story3	710920.61
Story2	710920.61
Story1	662920.61
Base	28800
Total	9856888.54

Dari nilai nilai yang sudah didapat, sehingga gaya geser dasar struktur dapat dihitung menggunakan persamaan (3-6) dan nilai gaya geser dasar dari ETABS dapat dilihat pada perhitungan berikut:

Gaya Geser Statik (Manual)	V	$= C_s * W$	
SNI 1726:2019 persamaan 30	V_X	$= 3813.91$	kN
	V_Y	$= 3813.91$	kN
Gaya Geser Statik (ETABS)	V_X	$= 1499.6$	kN
(hanya untuk pembanding)	V_Y	$= 1508.51$	kN

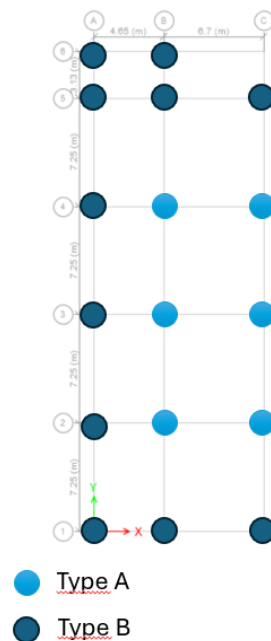
Dari gaya geser yang didapatkan dari program bantu analisa struktur nilainya masih dibawah 85% gaya geser statik manual, maka perlu dilakukan penskalaan gaya. Berikut perhitungan penskalaan gaya gempa

Faktor Skala Awal	SF	$= g / (R / I)$	
SNI 1726:2019 pasal 7.9.1.2		$= 1.250$	m/s^2
Faktor Skala Baru	SF_X	$= 3.179$	
	SF_Y	$= 3.160$	mm/s^2
Gaya Geser Statik Baru (Etabs)	V_x	$= 3813.91$	kN
	V_y	$= 3813.91$	kN

4.6 Preliminary Base Isolator

4.6.1 Umum

Struktur isolated base direncanakan sesuai dengan SNI 1726:2019 pasal 12.. Tahap awal (*preliminary*) ini perlu memodelkan struktur *isolated base* yang perlentakannya masih jepit untuk mendapatkan joint reaction dan periode struktur. Joint reaction akan disesuaikan sesuai pengelompokan jenis isolator dengan layout pada **Gambar 4.7**.



Gambar 4.7 Denah Base Isolator

4.6.2 Reaksi Perletakan

Reaksi perletakan yang akan digunakan akan merujuk pada SNI 1726:2019 pasal 12.2.7.1 terkait kombinasi beban vertikal unit isolator. Dimana kombinasi pembebanan yang akan digunakan yaitu:

1. $1D + 0.5L$
2. $1.2D + L + E_v + E_h$ (LRFD 6)
3. $0.9D - E_v + E_h + L$ (LRFD 7)

Dari kombinasi tersebut, didapatkan reaksi perletakan untuk tiap joint sebagai berikut:

Tabel 4.19 Joint Reaction untuk Type A

KODE	1D+0,5L	LRFD 6.1 max	LRFD 6.2 max	LRFD 6.3 max	LRFD 6.4 max	LRFD 6.5 max	LRFD 6.6 max	LRFD 6.7 max	LRFD 6.8 max	LRFD 6.1 min	LRFD 6.2 min	LRFD 6.3 min	LRFD 6.4 min	LRFD 6.5 min	LRFD 6.6 min	LRFD 6.7 min	LRFD 6.8 min
3	4789.21	7406.24	7406.24	7406.24	7406.24	6960.96	6961.07	6961.07	6961.07	5979.22	5979.22	5979.22	5979.22	5979.22	5979.22	5979.22	5979.22
4	4021.64	7722.5	7722.5	7722.5	7722.5	6357.55	6357.64	6357.64	6357.64	3479.88	3479.88	3479.88	3479.88	3479.88	3479.88	3479.88	3479.88
5	4703.62	7243.41	7243.41	7243.41	7243.41	6792.62	6792.72	6792.72	6792.72	5892.66	5892.66	5892.66	5892.66	5892.66	5892.66	5892.66	5892.66
6	4108.02	7753.33	7753.33	7753.33	7753.33	6395.13	6395.22	6395.22	6395.22	3693.35	3693.35	3693.35	3693.35	3693.35	3693.35	3693.35	3693.35
7	4597.51	7101.22	7101.22	7101.22	7101.22	6683.86	6683.96	6683.96	6683.96	5743.99	5743.99	5743.99	5743.99	5743.99	5743.99	5743.99	5743.99
KODE	LRFD 7.1 max	LRFD 7.2 max	LRFD 7.3 max	LRFD 7.4 max	LRFD 7.5 max	LRFD 7.6 max	LRFD 7.7 max	LRFD 7.8 max	LRFD 7.1 min	LRFD 7.2 min	LRFD 7.3 min	LRFD 7.4 min	LRFD 7.5 min	LRFD 7.6 min	LRFD 7.7 min	LRFD 7.8 min	max
3	4034.42	4034.42	4034.42	4034.42	3589.14	3589.14	3589.14	3589.14	2607.4	2607.4	2607.4	2607.4	3052.68	3052.68	3052.68	3052.68	7406.24
4	4931.71	4931.71	4931.71	4931.71	3566.77	3566.77	3566.77	3566.77	689.1	689.1	689.1	689.1	2054.04	2054.04	2054.04	2054.04	7722.5
5	3942.8	3942.8	3942.8	3942.8	3492.01	3492.01	3492.01	3492.01	2592.05	2592.05	2592.05	2592.05	3042.85	3042.85	3042.85	3042.85	7243.41
6	4898.65	4898.65	4898.65	4898.65	3540.45	3540.45	3540.45	3540.45	838.67	838.67	838.67	838.67	2196.87	2196.87	2196.87	2196.87	7753.33
7	3869.18	3869.18	3869.18	3869.18	3451.82	3451.82	3451.82	3451.82	2511.95	2511.95	2511.95	2511.95	2929.31	2929.31	2929.31	2929.31	7101.22

Tabel 4.20 Joint reaction untuk Type B

KODE	1D+0,5L	LRFD 6.1 max	LRFD 6.2 max	LRFD 6.3 max	LRFD 6.4 max	LRFD 6.5 max	LRFD 6.6 max	LRFD 6.7 max	LRFD 6.8 max	LRFD 6.1 min	LRFD 6.2 min	LRFD 6.3 min	LRFD 6.4 min	LRFD 6.5 min	LRFD 6.6 min	LRFD 6.7 min	LRFD 6.8 min
1	3770.89	6214.44	6214.44	6214.44	6214.44	6296.09	6296.09	6296.09	6296.09	4086.66	4086.66	4086.66	4086.66	4086.66	4086.66	4086.66	4086.66
2	3066.68	6145.12	6145.12	6145.12	6145.12	6284.74	6284.81	6284.81	6284.81	1744	1744	1744	1744	1744	1744	1744	1744
9	3140.06	5647.05	5647.05	5647.05	5647.05	5662.54	5662.62	5662.62	5662.62	3064.07	3064.07	3064.07	3064.07	3064.07	3064.07	3064.07	3064.07
10	2716.9	6098.12	6098.12	6098.12	6098.12	5540.3	5540.36	5540.36	5540.36	1423.97	1423.97	1423.97	1423.97	1423.97	1423.97	1423.97	1423.97
11	2353.42	6246.19	6246.19	6246.19	6246.19	5651.4	5651.46	5651.46	5651.46	-56.2	-56.2	-56.2	-56.2	-56.2	-56.2	-56.2	-56.2
12	3057.45	6244.98	6244.98	6244.98	6244.98	5256.4	5256.47	5256.47	5256.47	1411.47	1411.47	1411.47	1411.47	1411.47	1411.47	1411.47	1411.47
13	2938.32	6138.61	6138.61	6138.61	6138.61	4944.88	4944.95	4944.95	4944.95	1373.28	1373.28	1373.28	1373.28	1373.28	1373.28	1373.28	1373.28
14	2764.38	6266.68	6266.68	6266.68	6266.68	4635.75	4635.81	4635.81	4635.81	1255.75	1255.75	1255.75	1255.75	1255.75	1255.75	1255.75	1255.75
15	1964.84	5324.66	5324.66	5324.66	5324.66	4378.99	4379.03	4379.03	4379.03	55.14	55.14	55.14	55.14	55.14	55.14	55.14	55.14
17	1175.97	4537.12	4537.12	4537.12	4537.12	4920.39	4920.42	4920.42	4920.42	-1350.9	-1350.9	-1350.9	-1350.9	-1350.9	-1350.96	-1350.9	-1350.9

KODE	LRFD 7.1 max	LRFD 7.2 max	LRFD 7.3 max	LRFD 7.4 max	LRFD 7.5 max	LRFD 7.6 max	LRFD 7.7 max	LRFD 7.8 max	LRFD 7.1 min	LRFD 7.2 min	LRFD 7.3 min	LRFD 7.4 min	LRFD 7.5 min	LRFD 7.6 min	LRFD 7.7 min	LRFD 7.8 min	max
1	3801.16	3801.16	3801.16	3801.16	4288.95	4288.95	4288.95	4288.95	1479.53	1479.53	1479.53	1479.53	991.73	991.73	991.73	991.73	6296.09
2	4672.9	4672.9	4672.9	4672.9	4194.71	4194.71	4194.71	4194.71	-346.02	-346.02	-346.02	-346.02	132.16	132.16	132.16	132.16	6284.81
9	3506.31	3506.31	3506.31	3506.31	3521.81	3521.81	3521.81	3521.81	923.34	923.34	923.34	923.34	907.84	907.84	907.84	907.84	5662.62
10	4262.13	4262.13	4262.13	4262.13	3704.3	3704.3	3704.3	3704.3	-412.02	-412.02	-412.02	-412.02	145.8	145.8	145.8	145.8	6098.12
11	4983.41	4983.41	4983.41	4983.41	4087.01	4087.01	4087.01	4087.01	-1620.6	-1620.6	-1620.6	-1620.6	-724.2	-724.2	-724.2	-724.2	6246.19
12	4987.79	4987.79	4987.79	4987.79	3196.48	3196.48	3196.48	3196.48	-648.45	-648.45	-648.45	-648.45	1142.86	1142.86	1142.86	1142.86	6244.98
13	4777.97	4777.97	4777.97	4777.97	2984.24	2984.24	2984.24	2984.24	-587.36	-587.36	-587.36	-587.36	1206.37	1206.37	1206.37	1206.37	6138.61
14	4532.05	4532.05	4532.05	4532.05	2801.12	2801.12	2801.12	2801.12	-578.88	-578.88	-578.88	-578.88	1152.05	1152.05	1152.05	1152.05	6266.68
15	4061.53	4061.53	4061.53	4061.53	3115.85	3115.85	3115.85	3115.85	-1208	-1208	-1208	-1208	-262.32	-262.32	-262.32	-262.32	5324.66
17	3817.35	3817.35	3817.35	3817.35	4200.62	4200.62	4200.62	4200.62	-2070.7	-2070.7	-2070.7	-2070.7	-2454	-2454	-2454	-2454	4920.42
1	3480.37	3480.37	3480.37	3480.37	4242.7	4242.7	4242.7	4242.7	-1034.0	-1034.0	-1034.0	-1034.0	-1796.3	-1796.3	-1796.35	-1796.3	5341.36

Tabel Dari joint raction tersebut, didapatkan nilai terbesar untuk type A dan B yaitu 7753.33 kN dan 6266.68 kN.

4.6.3 Kontrol Kapasitas Aksial *Base Isolator*

Kontrol kapasitas aksial adalah melakukan pengecekan apakah *base isolator* yang digunakan, dapat menerima gaya aksial dari joint reaction yang didapatkan pada subbab 4.5.2. Berikut reaksi perletakan yang didapatkan untuk kolom type A dan type B:

- Kolom Type A = 7753.33 kN
- Kolom Type B = 6266.68 kN

Berdasarkan, reaksi perletakan yang didapatkan, selanjutnya menentukan dimensi *base isolation* yang akan digunakan dan mendapatkan parameter parameter yang akan digunakan dalam perencanaan selanjutnya, Berikut spesifikasi *base isolator* yang akan digunakan:

Tabel 4.21 Spesifikasi *Base Isolator*

Parameter	LRB Type A	LRB Type B	Keterangan
Type Isolator	LH090G4-H	LH085G4-B	Brosur Bridgestone
$P_{u, \max}$ (kN)	7753.33	6266.68	Joint Reaction D+0.5L ; LRFD 6 ; LRFD 7
D_B (mm)	900	850	Outer Diameter (Brosur)
D_L (mm)	200	180	Lead Diameter (Brosur)
T_r (mm)	200	200	Total Tebal Karet (Brosur)
G_r (MPa)	0.385	0.385	Modulus Geser Nominal (Brosur)
σ_N (MPa)	13	11.7	Tegangan tekan kapasitas (Brosur)
σ_{cr} (MPa)	66	66	Tegangan tekan kritis saat $\gamma = 0$ (Brosur)
σ_L (MPa)	60	60	spesifikasi teknis produk
γ_m	2.5	2.5	Shear strain maksimum

Dari spesifikasi yang didapatkan, selanjutnya yaitu mengecek kapasitas aksial dari *base isolator* yang digunakan, berikut contoh perhitungan pengecekan kapasitas *base isolator* untuk type A:

- Perhitungan luas area *rubber* dan tegangan pada *base isolator*

$$\begin{aligned} \text{Area Rubber} &= \frac{1}{4} \times \pi \times (D_B - D_L)^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times (900 - 200)^2 \\ &= 604756.58 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_i &= \frac{P}{A_r} \\ &= \frac{7753.33}{604756.585} \\ &= 12.82 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- Perhitungan tegangan kritis saat shear strain maksimum.

$$\sigma'_{cr} = \sigma_{cr} \times \left(1 - 0.9 \frac{\gamma_m}{R} \right)$$

$$= 66 \times \left(1 - 0.9 \frac{2.5}{4.5} \right)$$

$$= 33 \text{ MPa}$$

Dari beberapa parameter yang didapat, dilakukan pengecekan kapasitas aksial dari *base isolator* dengan syarat sebagai berikut:

Tabel 4.22 Pengecekan Kapasitas Aksial *Base Isolator*

Parameter	LRB Type A	LRB Type B	Keterangan
Pi (MPa)	12.82	11.56	Tegangan tekan pada isolator
σ_N (MPa)	13	11.7	Tegangan tekan kapasitas (Brosur)
$P_i < \sigma_N$	OK	OK	Cek Tegangan pada Base Isolator
$\sigma_{cr'}$ (MPa)	33	31.06	Tegangan tekan kritis saat $\gamma = 100\%$
$\sigma_{L, \max}$ (MPa)	60	60	Batas Tegangan atas (Spesifikasi Produk)
$P_i < \sigma_{cr'}$ dan σ_L	OK	OK	Cek Tegangan pada <i>Base Isolator</i>

Dikarenakan syarat tersebut sudah terpenuhi, maka *base isolation* memenuhi syarat aksial.

4.6.4 Kontrol Perpindahan Maksimum Desain Isolator

Pada subbab ini akan dilakukan pengecekan kapasitas perpindahan isolator yang diizinkan. Berikut spesifikasi yang didapatkan dari brosur, dan akan digunakan pada pengecekan kapasitas perpindahan isolator:

Tabel 4.23 Modulus Geser Material Base Isolator

Parameter	LRB Type A	LRB Type B	Keterangan
G_r (MPa)	0.385	0.385	Modulus Geser Nominal Rubber (Brosur)
α_P (MPa)	0.583	0.583	Modulus Geser Leadplug (Brosur)

Perhitungan selanjutnya yaitu menentukan kuat karakteristik (Q_d) dan kekakuan dari rubber. Berikut contoh perhitungan parameter yang akan digunakan untuk isolator type A:

- Kuat Karakteristik (Q_D)

Kuat karakteristik adalah kapasitas maksimum elemen isolator untuk menahan gaya geser tertentu. Untuk menentukan kuat karakteristik, membutuhkan shear stress yang diizinkan dari isolator yang digunakan dan faktor koreksi untuk kuat karakteristik, berdasarkan brosur, nilai yang didapatkan yaitu:

$$\sigma_{PB} \text{ (MPa)} = 7.967$$

$$C_{Qd} = 1$$

Sehingga kuat karakteristik isolator dapat dihitung menggunakan persamaan 3.7. Berikut perhitungan kuat karakteristik base isolator

$$Q_d = C_{QD} \times \alpha_{PB} \times A_p$$

$$= 1 \times 7.97 \times 31415.93$$

$$= 250.29 \text{ kN}$$

- Kekakuan Post Elastic Isolator (K_2)

Untuk menghitung kekakuan post elastis isolator, K_2 seperti pada persamaan 3-10, maka perlu menghitung kekakuan rubber dan kekakuan leadplug.

$$\begin{aligned} K_r &= \frac{G_r \times A_r}{T_r} \\ &= \frac{0.385 \times 604756.5858}{198} \\ &= 1164.16 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_p &= \frac{\alpha_p \times A_p}{T_r} \\ &= \frac{0.583 \times 31415.93}{198} \\ &= 91.58 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{kd} &= \gamma^{-0.12} \\ &= 2.5^{-0.12} \\ &= 0.896 \end{aligned}$$

Sehingga nilai kekakuan post elastik dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} K_2 &= C_{kd} \times (K_r + K_p) \\ &= 0.876 \times (1164.16 + 91.58) \\ &= 1124.98 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Kemudian dilakukan juga perhitungan kekakuan awal isolator, dengan rasio antara kekakuan awal dan post elastik yang digunakan yaitu 13 sesuai rekomendasi dari brosur. Sehingga kekakuan awal isolator dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} K_1 &= \beta \times K_2 \\ &= 13 \times 1099.7 \\ &= 14296.16 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

- Kekakuan efektif isolator (K_{Mi})

Dari parameter yang didapatkan sebelumnya, kekakuan isolator dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} K_{Mi} &= \frac{QD}{\gamma m \times T_r} + K_2 \\ &= \frac{250.29}{2.5 \times 198} + 1124.98 \\ &= 1625.56 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

- Redaman Ekuivalen

Nilai redaman pada subbab ini perlu diperhitungkan untuk menentukan nilai B_M yang diatur oleh SNI 1726:2019 pada tabel 36. Redaman yang terjadi perlu dibatasi yaitu menurut SNI 1726:2019 pasal 12.4.1 yaitu sebesar 30%. Berikut perhitungan redaman pada isolator type A:

$$\begin{aligned} \xi_{eq} &= \frac{2}{\pi} \frac{Q_d \left[\gamma \cdot T_r - \frac{Q_d}{(\beta-1)k_2} \right]}{k_M (\gamma \cdot T_r)^2} \\ &= \frac{2}{\pi} \frac{250.29 \times \left[3 \times 198 - \frac{250.29}{(13-1) \times 1124.98} \right]}{1625.56 \times (2.5 \times 198)^2} \\ &= 23.88\% \end{aligned}$$

Dari nilai redaman yang didapatkan, sudah memenuhi redaman maksimum yang diizinkan. Berdasarkan nilai redaman yang didapatkan, nilai B_M menurut SNI 1726:2019 Tabel 36 yaitu 1.38 (Hasil interpolasi).

- Periode Target (T_M)
Periode target adalah, target periode dari periode fixed base yang didapatkan sebelumnya. Faktor pengali yang digunakan pada perencanaan ini yaitu 1.75 kali dari periode struktur jepit. Berikut perhitungan periode target:

$$\begin{aligned} T_f &= 2.34 \text{ detik} \\ \alpha &= 1.8 \\ T_{M1} &= \alpha \times T_f \\ &= 1.8 \times 2.34 \\ &= 4.21 \text{ detik} \end{aligned}$$

- Perpindahan Maksimum (D_M)
Persamaan untuk menentukan perpindahan maksimum merujuk pada SNI 1729:2019 persamaan 129 atau tertulis dalam laporan ini pada 3-17. Berikut perhitungan perpindahan maksimum:

$$\begin{aligned} D_M &= \frac{g \times S_{M1} \times T_M}{4 \times \pi^2 \times B_M} \\ &= \frac{9.8 \times 0.739 \times 4.21}{4 \times \pi^2 \times 1.56} \\ &= 220.33 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Perpindahan Total Maksimum (D_{TM})
Perpindahan maksimum mempertimbangkan torsi dapat menggunakan pendekatan yaitu 1.15 kali dari perpindahan maksimum nya. Sehingga perpindahan total maksimum yang terjadi yaitu

$$\begin{aligned} D_{TM} &= 1.15 \times D_M \\ &= 1.15 \times 220.33 \text{ mm} \\ &= 253.38 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Perpindahan izin
Perpindahan izin dari isolator yaitu perpindahan yang diizinkan berdasarkan shear strain maksimum yaitu 3. Sehingga untuk menentukan perpindahan izin dapat menggunakan persamaan 3-16. Berikut perhitungan perpindahan izin dari isolator type A:

$$\begin{aligned} D_{\text{Allow}} &= Y_m \times T_r \\ &= 2.5 \times 198 \\ &= 494 \text{ mm} \end{aligned}$$

Berdasarkan perpindahan izin dan perpindahan maksimum, nilai perpindahan isolator sudah memenuhi perpindahan izin. Berikut rekapitulasi perhitungan pengecekan perpindahan maksimum isolator:

Tabel 4.24 Rekapitulasi Pengecekan Perpindahan Maksimum Base Isolator

Parameter	LRB Type A	LRB Type B	Keterangan
Tipe Isolator	LH090G4-H	LH085G4-B	Brosur Bridgestone
C_{Qd}	1	1	Faktor Koreksi
σ_{PB} (MPa)	7.967	7.967	spesifikasi teknis produk
Q_d (kN)	250.29	202.74	Kuat Karakteristik
C_{Kd}	0.896	0.896	Faktor Koreksi
K_r (kN/m)	1164.16	1043.36	Kekakuan Rubber
α_P (MPa)	0.583	0.583	spesifikasi teknis produk
K_p (kN/m)	91.58	74.18	Kekakuan Leadplug
$K_2 = K_d$ (kN/m)	1124.98	1001.17	Kekakuan post yield
β	13	13	Rekomendasi Brosur
K_1 (kN/m)	14624.74	13015.21	Kekakuan Awal
$D_M = \gamma_M * T_r$ (mm)	500	500	Perpindahan isolator desain maksimum
ϵ_{eq} (%)	23.88%	22.73%	Redaman Ekuivalen
$\epsilon_{eq, max}$ (%)	30%	30%	Redaman Maksimum (SNI 1726 2019 12.4.1)
$\epsilon_{eq, pakai}$ (%)	23.88%	22.73%	Redaman Pakai
B_M	1.564	1.582	Tabel 36, SNI 1726
α	1.8		faktor pengali untuk periode target
T_f (detik)	2.34		Periode Struktur Jepit
$T_M = \alpha T_f$ (detik)	4.21		Periode Target
S_{M1} (g)	0.4928		Percepatan Desain Periode Pendek
D_M (mm)	220.33	217.77	Perpindahan Maksimum
D_{TM} (mm)	253.38	250.44	Perpindahan Total Maksimum
$D_{allow} = \gamma_m \cdot T_r$ (mm)	500	500	Perpindahan Izin
$D_{TM} < D_{allow}$	OK	OK	Cek Perpindahan Base Isolator

4.6.5 Kontrol Periode Efektif

Kontrol Periode efektif adalah untuk mengecek apakah hasil desain struktur isolated base sesuai dengan periode target. Berikut beberapa parameter yang didapatkan dari perhitungan pada subbab sebelumnya untuk isolator type A:

- Kekakuan sistem isolator ($K_{MI\text{TOTAL}}$)
 Pada perhitungan sebelumnya telah didapatkan kekakuan tiap isolator, perhitungan selanjutnya yaitu memperhitungkan isolator sebagai sistem penahan gempa dengan menjumlahkan kekakuan tiap isolator:

Type A :

$$K_{MI} = 1625.56 \text{ kN/m}$$

$$n = 6$$

Type B :

$$K_{MI} = 1406.64 \text{ kN/m}$$

$$n = 11$$

Sehingga kekakuan total isolator dapat dihitung sebagai berikut

$$K_{MI\text{TOTAL}} = n \text{ type A} \times K_{MI\text{ type A}} + n \text{ type B} \times K_{MI\text{ type B}}$$

$$= 6 \times 1625.56 + 11 \times 1406.64$$

$$= 25226.42 \text{ kN/m}$$

- Periode (T_M)

Perhitungan periode struktur isolated base merujuk persamaan dari SNI 1726:2019 seperti ditunjukkan pada persamaan 3-21. Berikut perhitungan periode struktur isolated base:

$$W_{\text{Total}} = 96663 \text{ kN}$$

$$K_{MI\text{TOTAL}} = 25226.42 \text{ kN/m}$$

$$T_M = 2\pi \times \sqrt{\frac{w \text{ total}}{g \times K_M \text{ total}}}$$

$$= 2\pi \times \sqrt{\frac{96663}{9.8 \times 25226.42}}$$

$$= 3.92 \text{ detik}$$

- Kontrol periode

Pengecekan periode adalah pengecekan antara periode yang diestimasi diawal dengan periode dari perhitungan. Pengecekan error diestimasi tidak boleh melebihi 10%. Berikut perhitungan pengecekan error periode:

$$T_M = 3.92 \text{ detik}$$

$$T_{M1} = 4.21 \text{ detik}$$

$$\varepsilon = \frac{T_{M1} - T_M}{T_{M1}}$$

$$= \frac{4.21 - 3.92}{4.21}$$

$$= 7.41\% < 10\% \text{ (OK)}$$

4.7 Pemodelan dan Kontrol Desain Isolated Base

4.7.1 Pemodelan Base Isolator Pada Program Bantu

Pemodelan base isolator pada program bantu akan menggunakan link support dan spring. Berikut parameter yang perlu di input pada program bantu analisa struktur:

- Parameter Linear

$$K_V \text{ (U1)} = 3800000 \text{ kN}$$

$$m = 54849.07 \text{ kN (Berat yang dipikul isolator)}$$

$$\omega_{eff} = \sqrt{\frac{K_M}{m}} = \sqrt{\frac{1336.72}{4345.07}} = 0.42$$

$$C_M = 2 \times m \times \omega_{eff} \times \xi_{eff} = 2 \times 54849.07 \times 0.42 \times 23.88\% = 2312.93 \text{ kN detik/m}$$

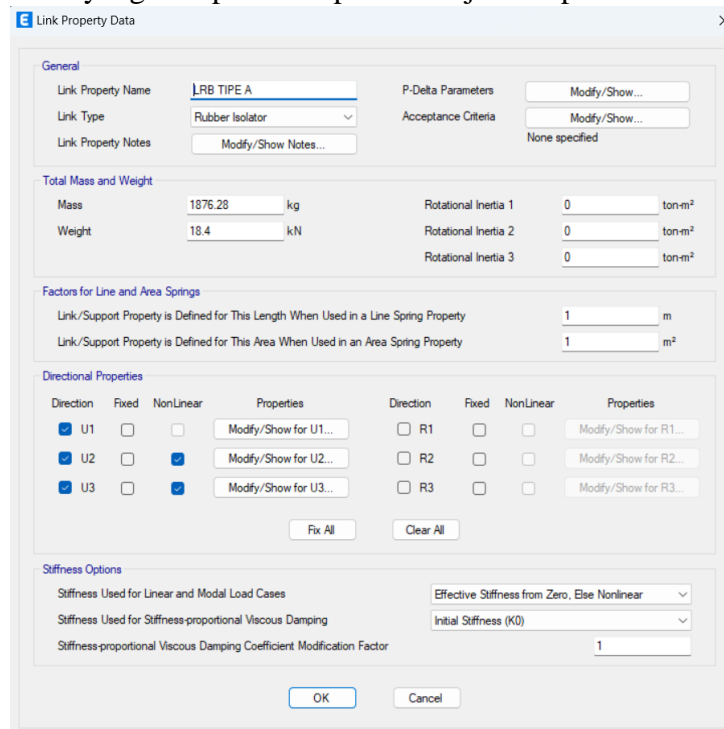
$$K_{MI} = 1625.56 \text{ kN/m}$$

$$\text{Mass} = 18.4 \text{ kN}$$

- Parameter Nonlinear
 - $K_1 = 14624.74 \text{ kN/m}$
 - $F_Y = D_y \times K_1 = 10.67 \times 14624.74 = 271.15 \text{ kN}$
 - $1/\beta = \frac{1}{13} = 0.077$

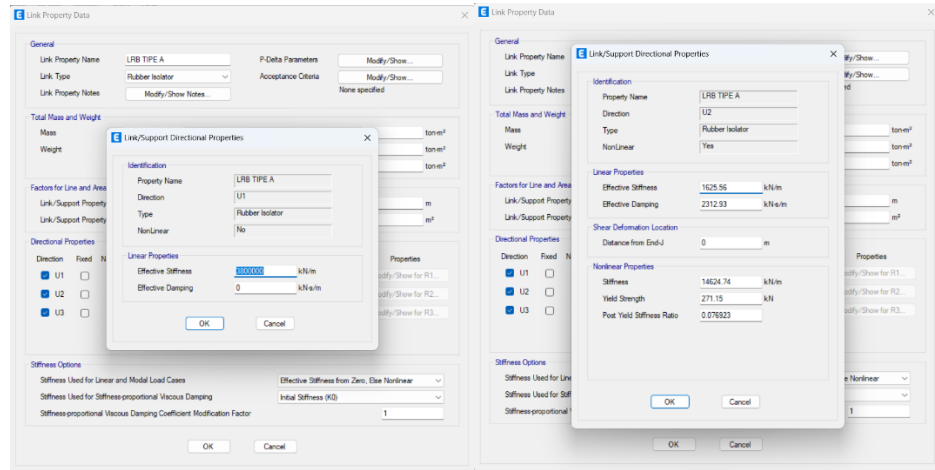
Berikut proses melakukan input parameter isolator kedalam program bantu:

- Input Parameter Umum
Berikut parameter yang di inputkan seperti ditunjukkan pada **Gambar 4.8**.



Gambar 4.8 Input Parameter Umum Base Isolator

- Input Parameter untuk arah U1, U2, dan U3
Berikut parameter yang diinputkan pada program bantu seperti ditunjukkan pada **Gambar 4.9**.

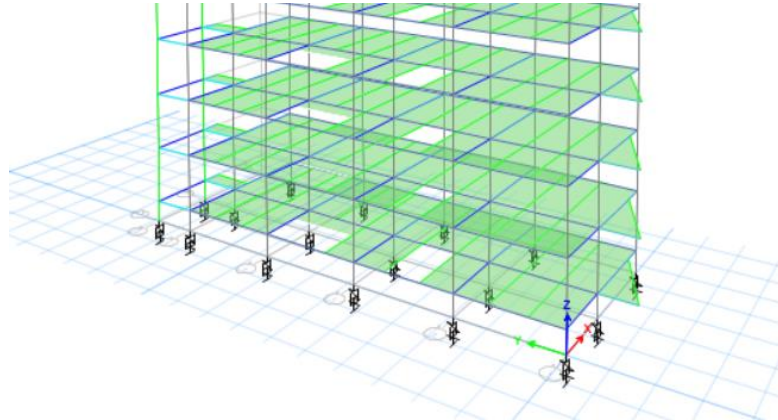


a

b

Gambar 4.9 Input Parameter Arah U1 (a) U2 dan U3 (b)

- Hasil pemodelan
Berikut hasil pemodelan base isolator pada program bantu seperti ditunjukkan pada **Gambar 4.10**.



Gambar 4.10 Hasil Pemodelan Isolator

4.7.2 Gaya Geser Dasar Minimum

Gaya geser dasar pada struktur isolated base memiliki syarat tambahan yang diatur pada SNI 1726:2019 pada pasal 12.5.4.2. Berikut perhitungan gaya geser dasar minimum:

- Gaya geser dasar
Berdasarkan hasil analisa struktur isolated base, gaya geser dasar didapatkan sebagai berikut:

$$V_{Sx} = 2626 \text{ kN}$$

$$V_{Sy} = 2643.45 \text{ kN}$$
- Gaya geser dasar syarat 1
Syarat pertama untuk gaya geser dasar yaitu

$$\begin{aligned}
S_I &= 0.4928 \\
S_{DS} &= 0.89672 \\
S_{DI} &= 0.4928 \\
I_e &= 1.00 \\
T_X &= 4.67 \\
T_Y &= 4.57 \\
C_s &= 0.2464 \\
C_{s,max,X} &= 0.051548117 \\
C_{s,max,Y} &= 0.053333333 \\
C_{s,min,1} &= 0.03945568 \\
C_{s,min,2} &= 0.1232 \\
C_{s,pakai,X} &= 0.051548117 \\
C_{s,pakai,Y} &= 0.053333333 \\
W \text{ (kN)} &= 102744.3622 \\
V_{s, \min X} \text{ (kN)} &= 4330.166381 \\
V_{s, \min Y} \text{ (kN)} &= 4591.767396
\end{aligned}$$

- Gaya geser dasar syarat 2

$$\begin{aligned}
V_b &= K_{MI} \times D_M \\
&= 25226.42138 \times 220.33 \\
&= 5558.06 \text{ kN} \\
R &= 2 \\
\xi &= 24 \% \\
W_s &= 93110 \text{ kN} \\
W &= 96663 \text{ kN} \\
V_{ST} &= V_B \times \left(\frac{W_s}{W}\right)^{1-2.5\xi} \\
&= 9515.24 \times \left(\frac{93110}{96663}\right)^{1-2.5 \times 24\%} \\
&= 5474.79 \text{ kN} \\
V_s &= \frac{V_{st}}{R} \\
&= \frac{5474.79}{2} \\
&= 2737.39 \text{ kN}
\end{aligned}$$

- Gaya geser dasar syarat 3

$$\begin{aligned}
F_{Y \text{ Total}} &= 3018.64 \text{ kN} \\
V_s &= 1.5 \times F_{Y \text{ Total}} \\
&= 4527.96 \text{ kN}
\end{aligned}$$

- Vs Pakai

Berdasarkan nilai Vs yang didapatkan, nilai Vs yang diambil yaitu syarat 3, sehingga scaled factor dari nilai Vs sebelumnya yaitu:

$$SF_{x, \text{ Unscaled}} = 4900$$

$$\begin{aligned}
SF_{y, \text{ Unscaled}} &= 4900 \\
f_x &= 1.724 \\
f_y &= 1.737 \\
SF_{x, \text{ scaled}} &= 8448.971 \\
SF_{y, \text{ scaled}} &= 8511.476 \\
V_{s, \text{ dyn X}} \text{ (kN)} &= 8448.971 \\
V_{s, \text{ dyn Y}} \text{ (kN)} &= 8448.971
\end{aligned}$$

4.7.3 Pengecekan Perpindahan Isolator

Perpindahan isolator perlu dilakukan pengecekan lagi berdasarkan hasil analisa program bantu dan dikontrol dengan perpindahan izin yang telah diperhitungkan sebelumnya. Berikut pengecekan perpindahan isolator:

Tabel 4.25 Hasil Perpindahan Isolator

Label	SPEC X	SPEC Y
1	199.2	182.81
2	197.98	184.84
3	191.35	183.79
4	190.14	185.86
5	183.77	183.69
6	182.6	185.73
7	176.33	183.65
8	175.2	185.86
9	169.17	184.31
10	168.11	184.85
11	198.24	181.34
12	190.58	182.57
13	183.03	182.45
14	175.61	182.43
15	168.33	182.85
16	165.3	181.81
17	165.33	183.29
Average	182.4235294	
D allow	500	

Berdasarkan perpindahan yang didapatkan dari program bantu analisa struktur, didapatkan displacement sudah lebih kecil dari perpindahan yang di izinkan.

4.7.4 Pengecekan Simpangan Antar Lantai

Pengecekan simpangan antar lantai perlu dilakukan karena pada SNI 1726:2019 mensyaratkan pada pasal 12.5.6, dimana nilai simpangan antar tingkat maksimum diatas sistem isolasi tidak boleh melebihi $0.015h_{SX}$. Berikut pengecekan simpangan antar lantai untuk struktur isolated base:

$$\begin{aligned}
\text{Simpangan Antar Tingkat Izin, } \Delta_a &= 0.015h \\
\text{Faktor Redundansi, } \rho &= 1 \\
\text{Story Drift Inelastik Izin, } \Delta_{\text{max}} &= \Delta / \rho
\end{aligned}$$

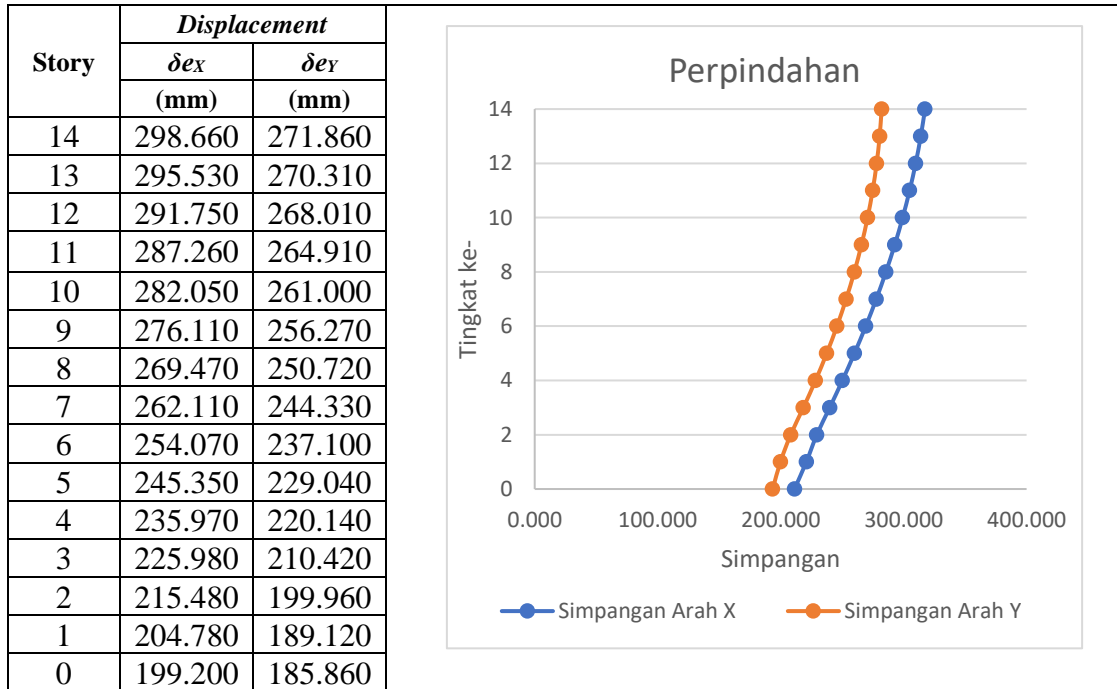
= 0.015h

Faktor Pembesaran Defleksi, C_d = 4.5 (SRPMM)

Faktor Keutamaan Gempa, I_e = 1.00

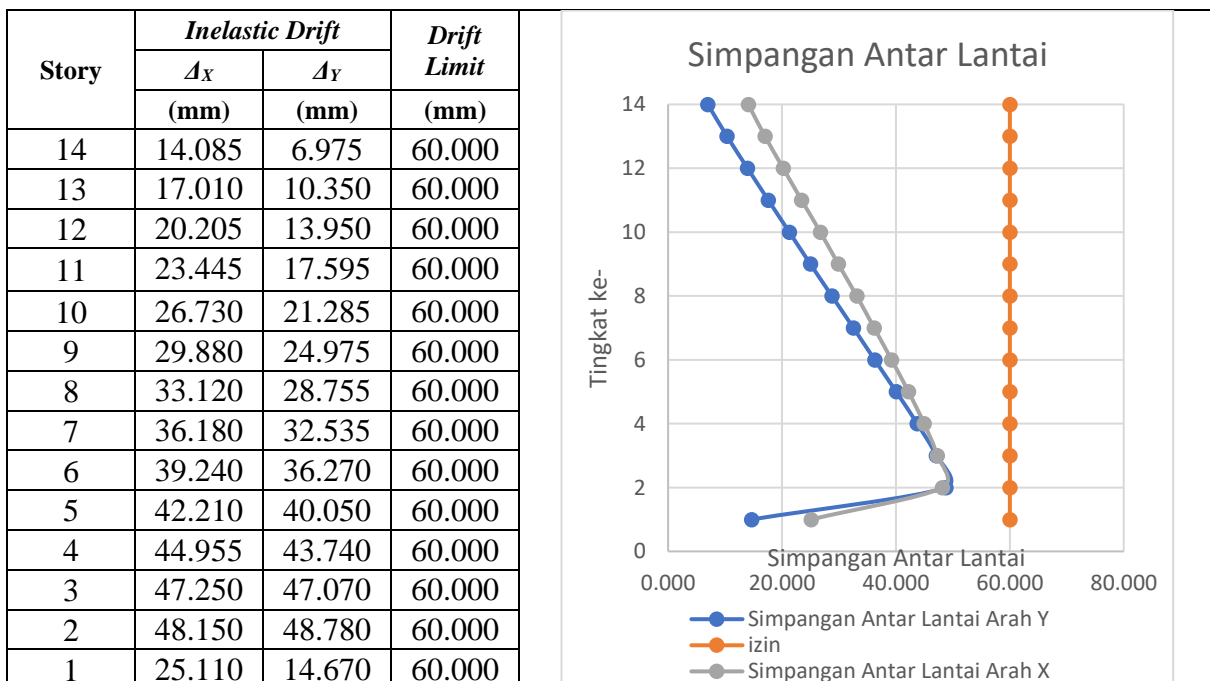
Berikut hasil simpangan dari tiap lantai yang didapatkan dari program bantu analisa struktur untuk arah X dan arah Y:

Tabel 4.26 Hasil Perpindahan Struktur Isolated Base



Dari simpangan yang didapatkan, kemudian dilakukan pengecekan simpangan antar lantai. Berikut perhitungan pengecekan simpangan antar lantai:

Tabel 4.27 Simpangan Antar Tingkat Struktur Isolated Base



Dari hasil yang telah didapatkan. Simpangan antar lantai sudah memenuhi batas izin simpangan antar lantai.

4.7.5 Kontrol Ketidakberaturan Struktur

Kontrol ketidakberaturan adalah untuk melakukan pengecekan apakah ada ketidakberaturan yang disyaratkan SNI 1726:2019 pada struktur yang dimodelkan. Ketidakberaturan torsi terdiri dari 2 yaitu ketidakberaturan horizontal dan vertikal. Berikut pengecekan ketidakberaturan struktur

4.7.5.1 Ketidakberaturan Horizontal

- Ketidakberaturan Torsi

Ketidakteraturan torsi ada jika rasio antara drift maksimum dan rata rata drift dikedua ujung struktur itu melebihi 1.2 (torsi) dan 1.4 untuk (torsi berlebihan). Berikut rasio yang didapatkan dari program bantu:

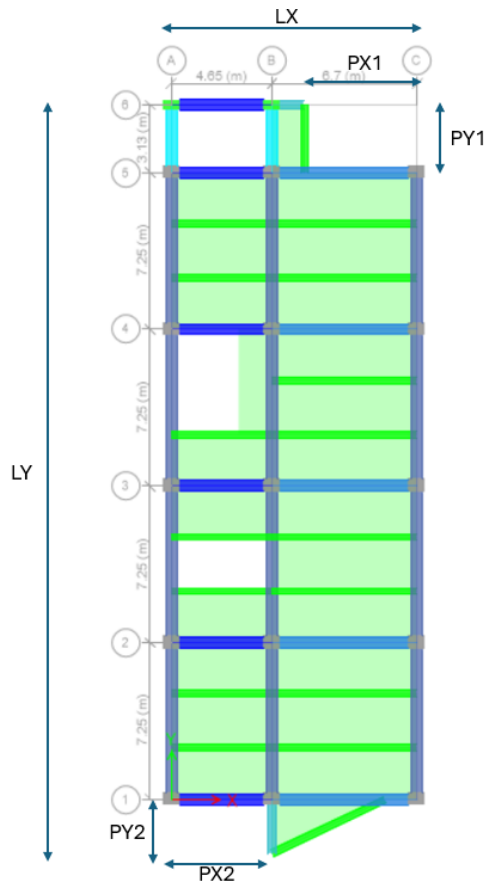
Tabel 4.28 Ketidakberaturan Torsi

Lantai	Arah X			Arah Y		
	Drift Maksimum	Rata-Rata Drift	$\Delta_{max}/\Delta_{avg}$	Drift Maksimum	Rata-Rata Drift	$\Delta_{max}/\Delta_{avg}$
14	4.19	3.91	1.07	1.86	1.8	1.03
13	4.82	4.61	1.04	2.69	2.65	1.02
12	5.53	5.38	1.02	3.57	3.54	1.01
11	6.22	6.14	1.01	4.45	4.43	1
10	6.89	6.86	1.	5.31	5.3	1
9	7.59	7.55	1.01	6.17	6.16	1
8	8.3	8.19	1.02	7.02	6.99	1
7	8.95	8.78	1.02	7.84	7.8	1.01
6	9.56	9.31	1.03	8.63	8.57	1.01
5	10.1	9.77	1.04	9.38	9.3	1.01
4	10.53	10.12	1.04	10.06	9.97	1.01
3	10.64	10.15	1.05	10.47	10.35	1.01
2	8.56	8.12	1.06	8.36	8.25	1.01
1	6.54	6.11	1.07	6.46	6.16	1.05

Berdasarkan hasil tersebut rasio masih dibawah 1.2 sehingga struktur tidak memiliki ketidakberaturan struktur torsi.

- Ketidakberaturan Sudut Dalam

Ketidakteraturan sudut dalam didefinisikan ada jika kedua dimensi (x dan y) proyeksi denah struktur dari lokasi sudut dalam lebih besar dari 15% dimensi denah struktur dalam arah yang ditinjau. Berikut denah sudut dalam untuk melakukan pengecekan ketidakberaturan struktur sudut dalam.



Gambar 4.11 Panjang Struktur Sudut Dalam

L_x	=	32.13 m
L_y	=	11.35 m
P_{x1}	=	5.2 m
P_{y1}	=	3.13 m
P_{x2}	=	4.65 m
P_{y2}	=	2.5 m

Pengecekan sudut dalam 1

$$\frac{L_x}{P_{x1}} = \frac{32.13}{5.2} = 35\%$$

$$\frac{L_y}{P_{y1}} = \frac{11.35}{5.2} = 60\%$$

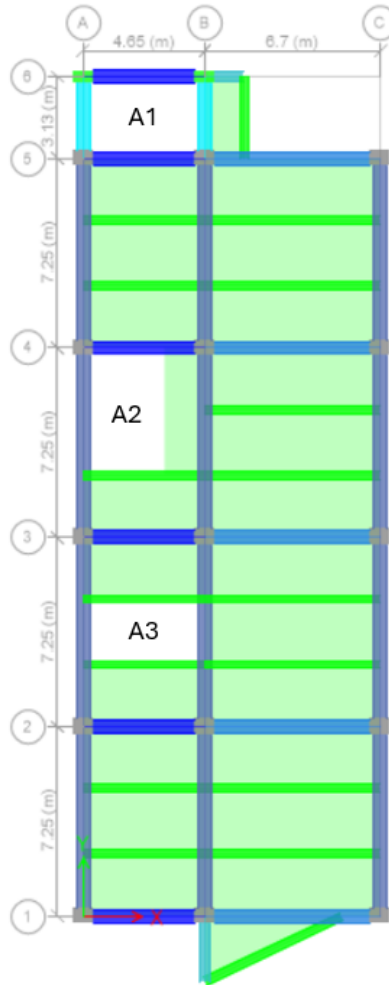
Pengecekan sudut dalam 2

$$\frac{L_x}{P_{x2}} = \frac{32.13}{4.65} = 14.4\%$$

$$\frac{L_y}{P_{y2}} = \frac{11.35}{2.5} = 48\%$$

- Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma

Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma didefinisikan ada jika terdapat diafragma yang diskontinuitas lebih besar dari 50%.



Gambar 4.12 Area Diskontinuitas Diafragma

$$\begin{aligned}
 A1 &= 14.56 \text{ m}^2 \\
 A2 &= 14.98 \text{ m}^2 \\
 A3 &= 16.85 \text{ m}^2 \\
 A \text{ bukaan} &= A1 + A2 + A3 \\
 &= 46.39 \text{ m}^2 \\
 \text{Area Total} &= 356.77 \text{ m}^2 \\
 \text{Rasio} &= \frac{A \text{ bukaan}}{\text{Area Total}} \\
 &= 13\%
 \end{aligned}$$

Maka struktur tidak memiliki ketidakberaturan struktur.

- Ketidakberaturan Akibat Pergeseran Tegak Lurus Terhadap Bidang
Ketidakberaturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang adalah ada jika terdapat elemen vertikal yang mengalami pergeseran. Dikarenakan seluruh elemen vertikal pada model tidak mengalami pergeseran maka struktur tidak memiliki ketidakberaturan struktur tipe 4.
- Ketidakberaturan Sistem Nonparalel

Ketidakberaturan struktur sistem nonparalel didefinisikan ada jika terdapat elemen vertikal yang tidak paralel terhadap sumbu ortogonal utama. Dikarenakan seluruh elemen vertikal terpasang paralel dan sesuai sumbu ortogonal utama maka struktur tidak memiliki ketidakteraturan struktur tipe 5.

4.7.5.2 Ketidakteraturan Vertikal

- Ketidakteraturan kekakuan tingkat lunak
Ketidakteraturan kekakuan tingkat lunak didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 70% atau kurang dari 80% kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya. Berikut pengecekan ketidakteraturan struktur vertikal tipe 1:

Tabel 4.29 Kekakuan Tiap Lantai

Lantai	Arah X	Arah Y
	Kekakuan	Kekakuan
	kN/m	kN/m
14	111476.27	212853.5
13	180548.47	279645.57
12	219399.07	304644.28
11	244500.82	317730.54
10	262468.7	325842.97
9	276545.33	331582.41
8	288564.45	336176.44
7	299738.52	340336.1
6	311023.87	344554.28
5	323440.27	349320.17
4	338903.72	355725.08
3	364675.89	370700.09
2	488644.06	499486.36
1	685452.01	710514.57

Berdasarkan kekakuan yang telah didapatkan. Kekakuan antar tingkat sudah memenuhi persyaratan.

- Ketidakteraturan Berat (massa)
Ketidakteraturan geometri vertikal didefinisikan ada jika massa efektif di sebarang tingkat lebih dari 150% massa efektif tingkat di atasnya. Berikut hasil yang didapatkan dari program bantu analisa struktur seperti ditunjukkan pada **Tabel 4.30**.

Tabel 4.30 Massa Tiap Lantai

Lantai	Massa
	kg
14	634120.6
13	710920.6
12	710920.6
11	710920.6
10	710920.6
9	710920.6
8	710920.6
7	710920.6
6	710920.6
5	710920.6
4	710920.6
3	710920.6
2	710920.6
1	662920.6

Berdasarkan hasil yang didapatkan dari program bantu analisa struktur. Massa tiap lantai tidak lebih dari 150%.

- **Ketidakteraturan geometri vertikal**
Ketidakteraturan geometri vertikal didefinisikan ada jika dimensi horizontal sistem pemikul gaya di sebrang tingkat lebih dari 130% dimensi horizontal sistem pemikul gaya di dekatnya. Dikarenakan dimensi balok yang digunakan tiap lantai sama maka struktur tidak memiliki ketidakteraturan struktur vertikal tipe geometri vertikal.
- **Ketidakteraturan Akibat Diskontinuitas**
Ketidakteraturan akibat diskontinuitas didefinisikan ada jika terdapat pergeseran arah bidang elemen pemikul gaya lateral lebih besar dari panjang elemen itu. Dikarenakan tidak ada pergeseran kolom, maka struktur tidak memiliki ketidakteraturan akibat diskontinuitas.
- **Ketidakteraturan tingkat lemah**
Ketidakteraturan tingkat lemah akibat diskontinuitas pada kekuatan lateral didefinisikan ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 80% kekuatan lateral tingkat di atasnya. Dikarenakan desain penulangan tiap lantai sama, maka ketidakteraturan struktur tingkat lemah tidak berlaku pada struktur.

4.7.6 Verifikasi Kapasitas LRB dengan Time History Analisis

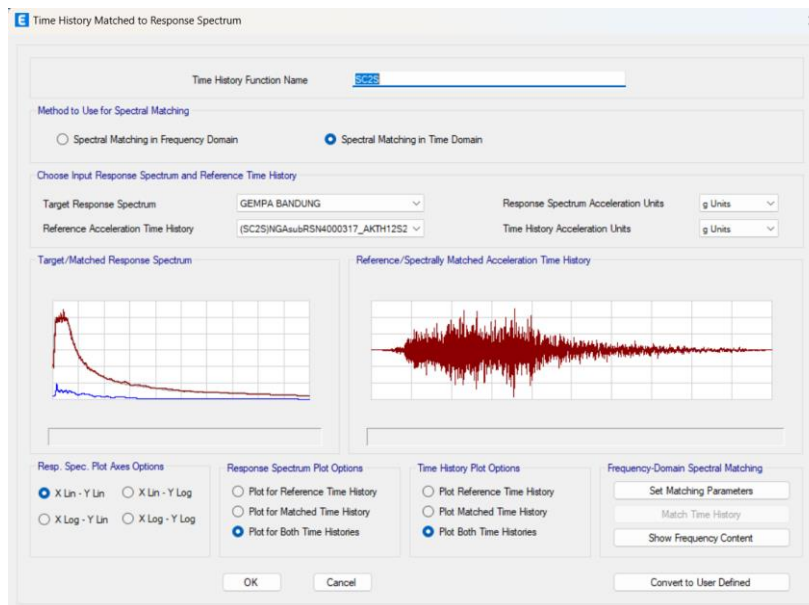
4.7.6.1 Pemodelan dan Spectral Matching Beban Gempa

Pada verifikasi kapasitas base isolator akan digunakan 7 rekaman gempa yang diskalakan terhadap respon spektrum kota Bandung. Akan tetapi data riwayat gempa tidak ditemukan di Indonesia. Sehingga akan digunakan data yang tercatat di lokasi lain dan referensi yang akan digunakan adalah Peta Deagregasi bahaya beban gempa yang dirilis oleh pusat studi gempa nasional. Berikut data gempa yang digunakan dalam verifikasi kapasitas base isolator yang akan digunakan:

Tabel 4.31 Data Gempa Time History Analysis

KODE ETABS	Mekanisme Data Time History	Event	Lokasi	Station Name	Tahun	M	R (km)	Vs30 (m/s)
SC1	Shallow Crustal	Tohoku	Japan	TADAMI	2011	9.12	170.21	364.9
SC2		Tohoku	Japan	GOJONOME	2011	9.12	185.65	389.2
SC3		Tohoku	Japan	OOMORI	2011	9.12	153.55	431.1
SC4		Tohoku	Japan	KAWAUCHI	2011	9.12	188.34	653.7
SC5		Tohoku	Japan	NISHIAIZU	2011	9.12	152.08	703.6
B	Benioff	TohokuForschock	Japan	SHIOGAMA	2011	7.36	144	586
M	Megathrust	Cape Mendocino	Cascadia	LFS	2010	7.1	18.34	418

Setelah didapatkan data gempa tersebut. Dilakukan spectral matching menggunakan program bantu analisa struktur. Berikut contoh hasil spectral matching data gempa yang telah didapatkan:

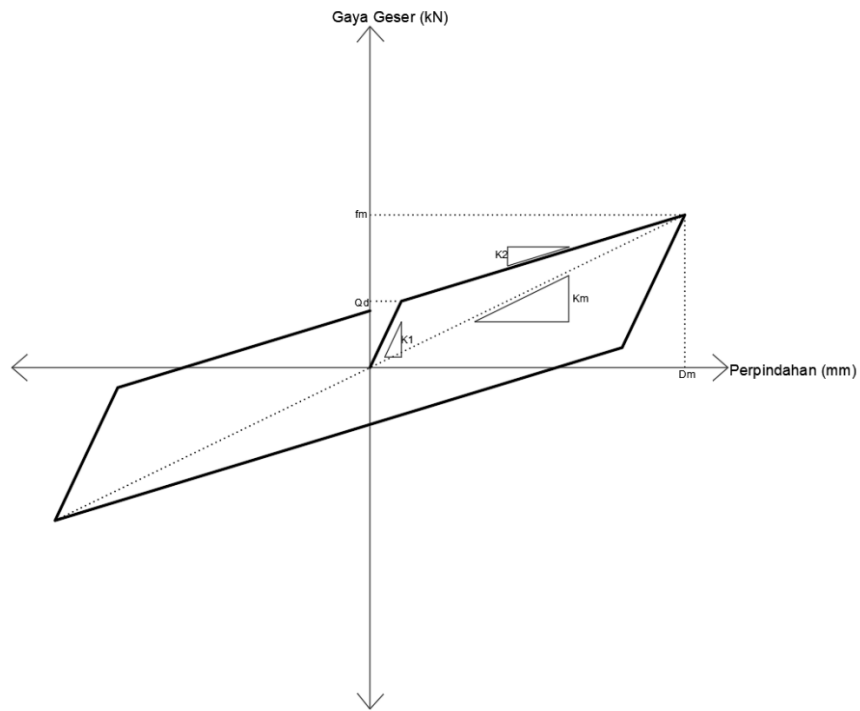


Gambar 4.13 Spectral Matching Data Gempa

Dilakukan spectral matching untuk setiap arah gempa dan setiap tipe gempa yang didapatkan.

4.7.6.2 Kurva Histeresis Base Isolator

Perhitungan kapasitas histeresis loop mengacu pada kekakuan yang telah didapatkan pada perhitungan sebelumnya. Berikut ilustrasi kurva histeresis dari base isolator seperti ditunjukkan pada **Gambar 4.14**.

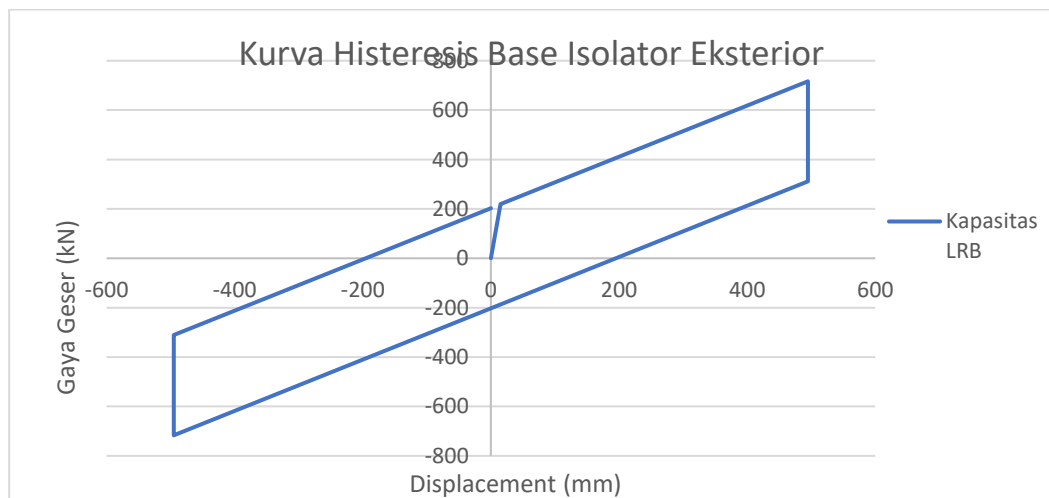


Gambar 4.14 Kapasitas Base Isolator

Berikut beberapa parameter yang digunakan dalam membuat kurva histeresis base isolator:

Dm	495.00	mm
	0.50	m
K1	14384.76	kN/m
Fm	7120.457	kN
K2	1106.52	kN/m
QD	202.74	kN
Kmi	1447.83	kN/m

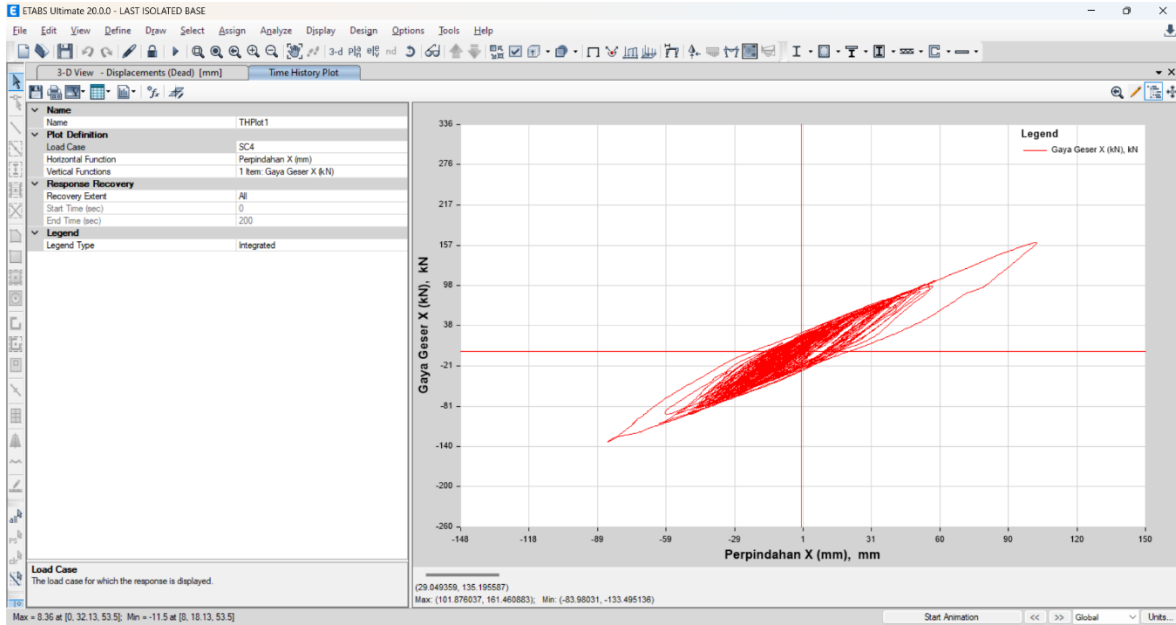
Berdasarkan data yang telah didapatkan, berikut kurva histeresis untuk base isolator eksterior:



Gambar 4.15 Grafik Kapasitas Base Isolator Tipe Eksterior

4.7.6.3 Kontrol Histeresis Gempa Terhadap Kapasitas Histeresis Base Isolator

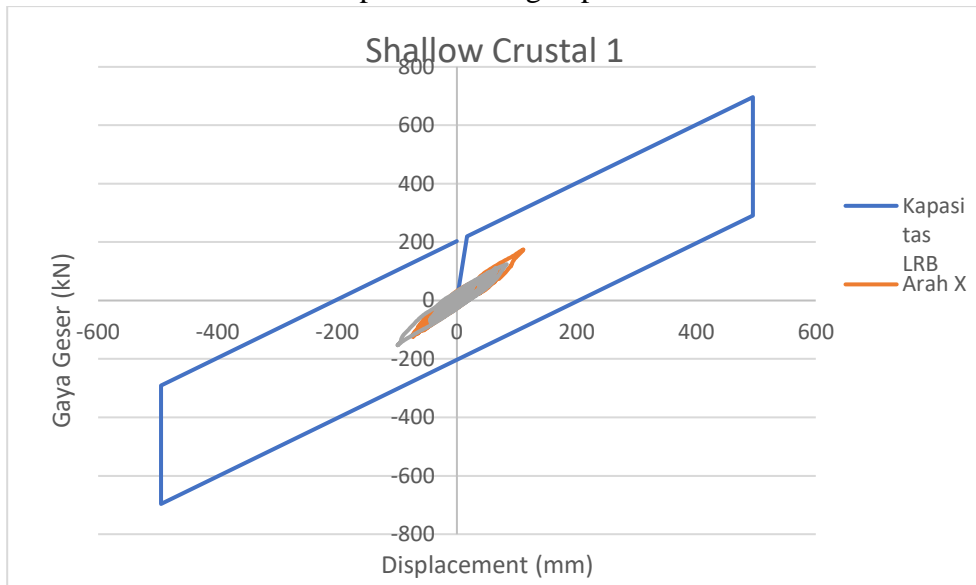
Kontrol histeresis akibat gempa pada tiap isolator dilakukan dengan analisis time history Fast Nonlinear Analysis (FNA). Grafik histeresis gempa didapatkan dari displacement vs shear force pada joint yang ditinjau. Berikut pengecekan joint 2 karena nilai displacement yang didapatkan lebih besar:



Gambar 4.16 Histeresis Gempa SC2 Pada Joint 2

1. Shallow Crustal 1

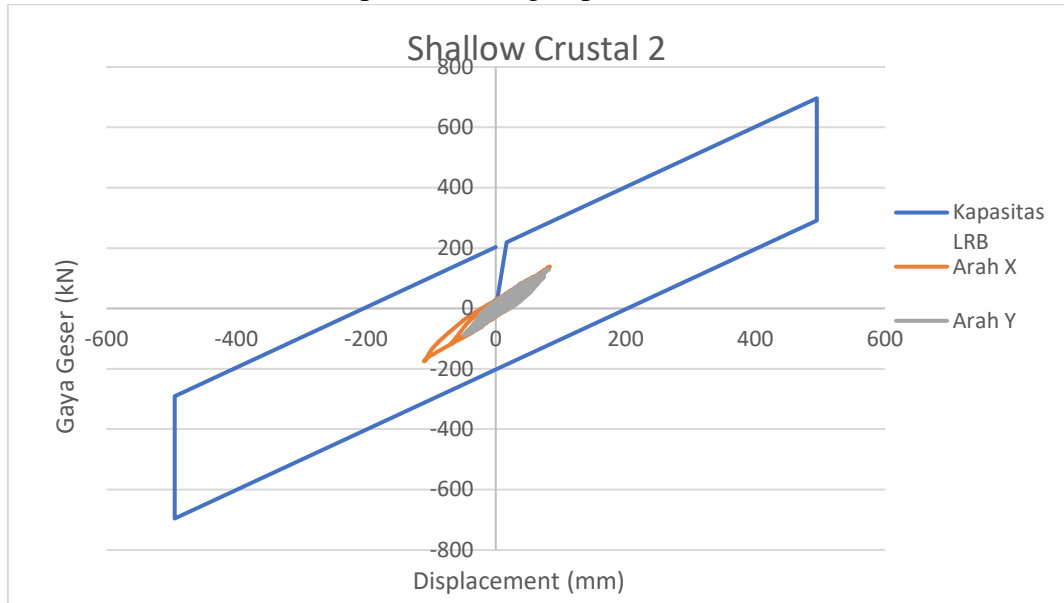
Berikut kurva histeresis loop untuk data gempa shallow crustal 1:



Gambar 4.17 Histeresis Loop Akibat Gaya Gempa Shallow Crustal 1

2. Shallow Crustal 2

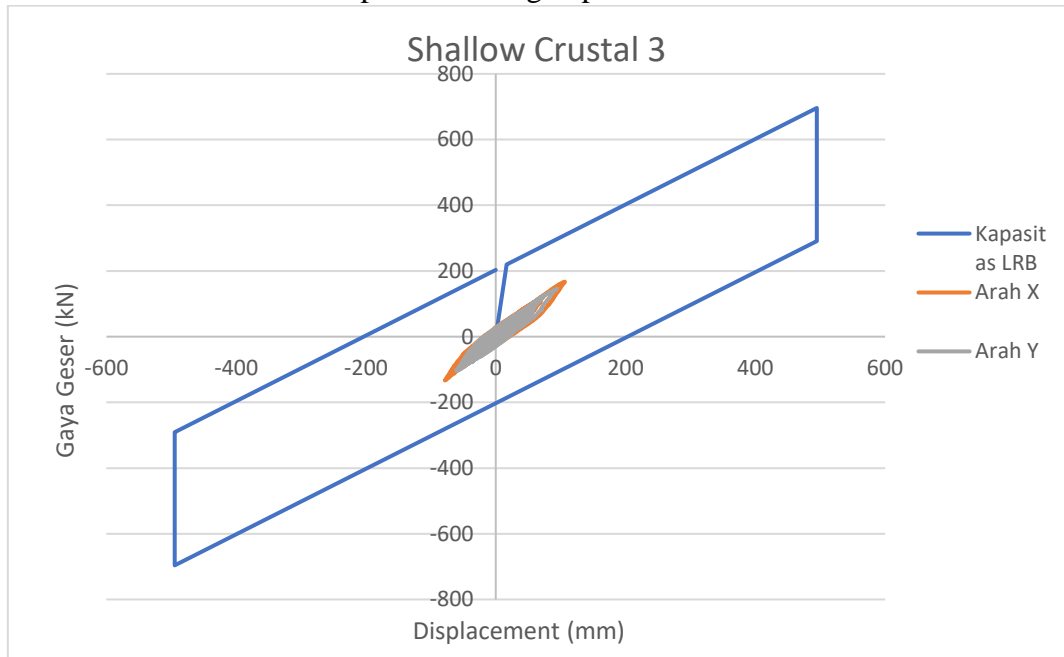
Berikut kurva histeresis loop untuk data gempa shallow crustal 2:



Gambar 4.18 Histeresis Loop Akibat Gaya Gempa Shallow Crustal 2

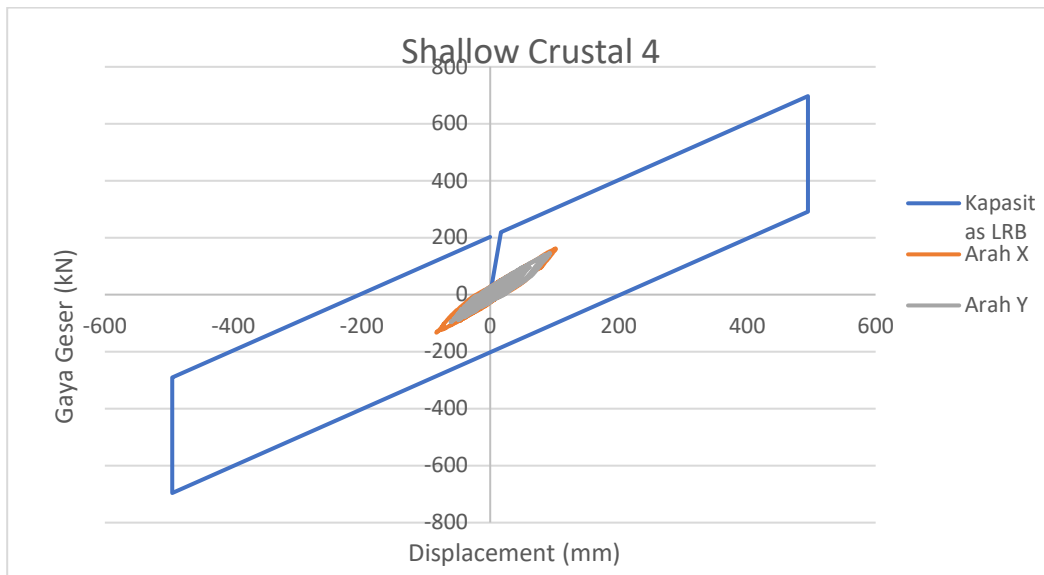
3. Shallow Crustal 3

Berikut kurva histeresis loop untuk data gempa shallow crustal 3:



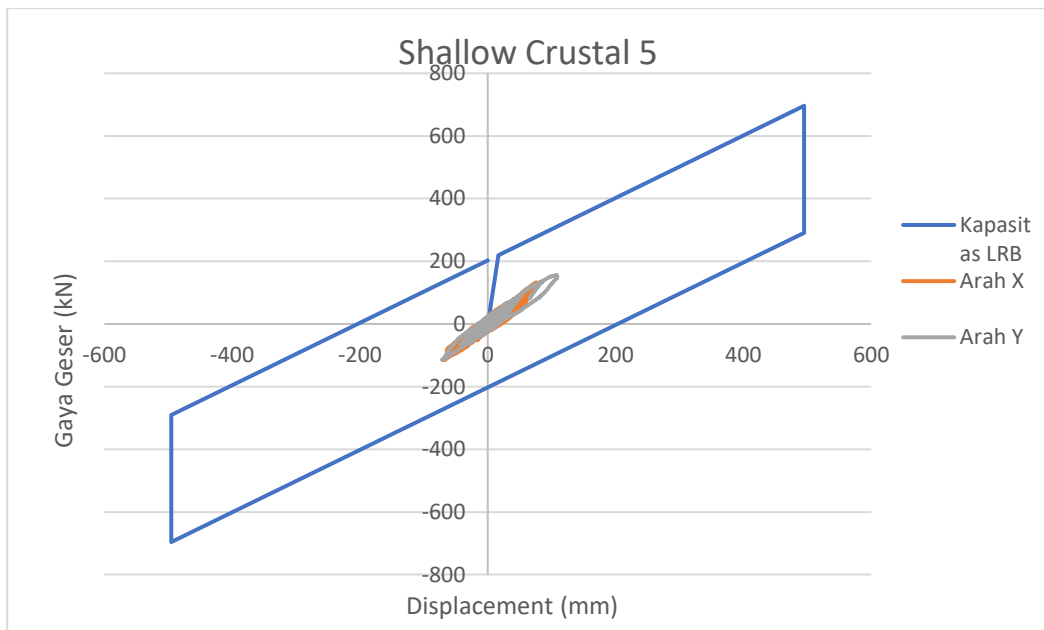
Gambar 4.19 Histeresis Loop Akibat Gaya Gempa Shallow Crustal 3

4. Shallow Crustal 4



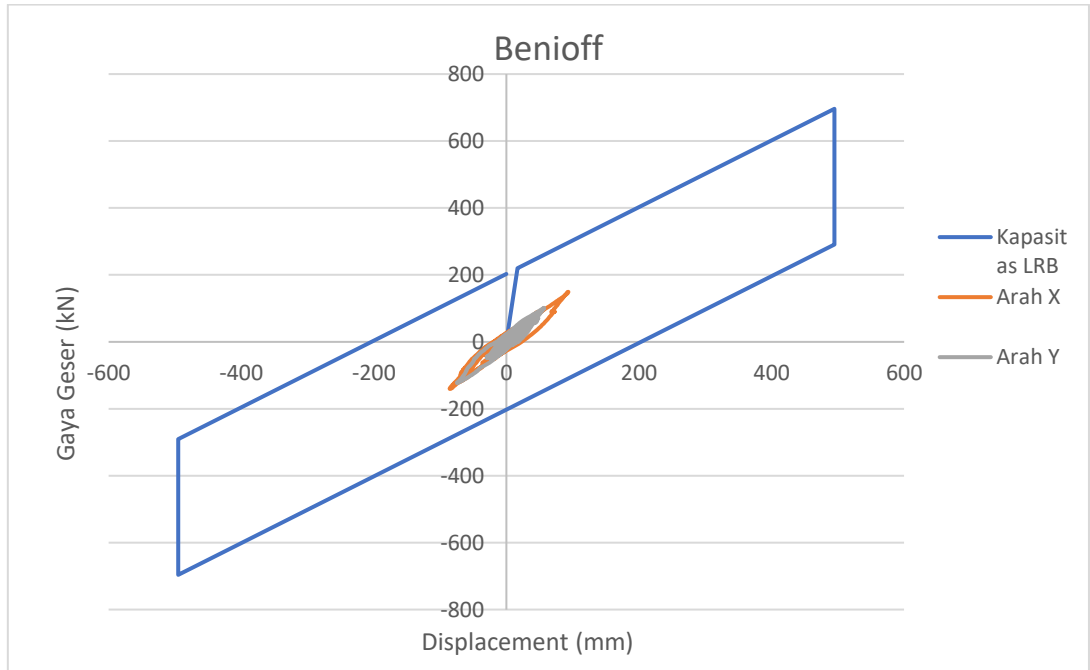
Gambar 4.20 Histeresis Loop Akibat Gaya Gempa Shallow Crustal 4

5. Shallow Crustal 5



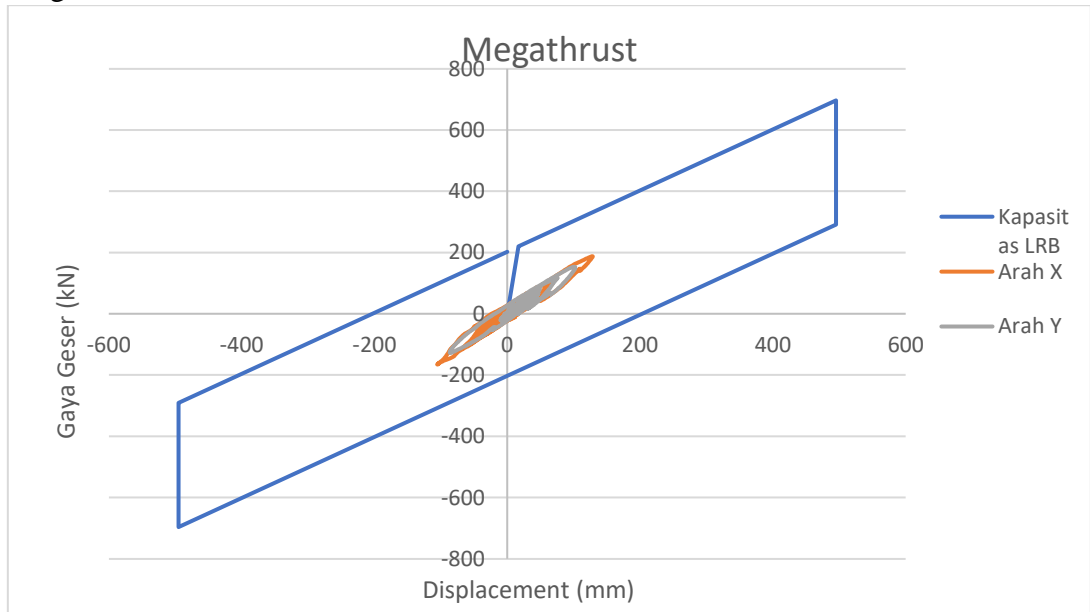
Gambar 4.21 Histeresis Loop Akibat Gaya Gempa Shallow Crustal 5

6. Benioff



Gambar 4.22 Histeresis Loop Akibat Gaya Gempa Benioff

7. Megathrust



Gambar 4.23 Histeresis Loop Akibat Gaya Gempa Shallow Crustal 1

Berdasarkan hasil kurva histeresis yang didapatkan, seluruh data gempa yang di inputkan masih masuk kedalam kapasitas dari base isolator. Akan tetapi berdasarkan dari kapasitas LRB yang didapatkan masih terlalu jauh dari gempa yang terjadi, sehingga dapat disimpulkan bahwa base isolator yang digunakan dapat diperkecil.

4.8 Perencanaan Struktur Primer

Perencanaan struktur primer yang akan dilakukan, akan menggunakan sistem SRPMM. Hal ini digunakan, berdasarkan buku “Base isolation of Structures Design Guidelines”. Dimana struktur yang menggunakan struktur isolated base dapat menggunakan SRPMM untuk melakukan penghematan. Berikut perhitungan perencanaan struktur primer.

4.8.1 Perencanaan Balok Induk

Desain balok induk meliputi perhitungan beban yang terjadi dari tiap kondisi balok kemudian dilakukan perhitungan penulangan dari setiap kondisi yang terjadi. Desain penulangan pada balok induk meliputi penulangan lentur, penulangan geser, dan penulangan torsi.

4.8.1.1 Data Perencanaan Balok

Berikut data perencanaan yang akan digunakan dalam perhitungan perencanaan tulangan balok:

- Dimensi Balok

Balok Induk Tipe A (BI A)	:	500 x 700	mm x mm
Balok Induk Tipe B (BI B)	:	500 x 700	mm x mm
Balok Induk Tipe C (BI C)	:	500 x 700	mm x mm
Balok Induk Tipe D (BI D)	:	500 x 700	mm x mm
Balok Kantilever (CB)	:	500 x 700	mm x mm

- Data Material dan Penampang

Lebar Balok, b	:	500	mm
Tinggi Balok Pracetak, h_p	:	550	mm
Tinggi Balok Overtopping, h_o	:	150	mm
Tinggi Balok Total, h	:	700	mm
Kuat Tekan Beton, f_c'	:	35	MPa
Kuat Tekan Beton umur 14 hari, f_c'	:	30.8	MPa
Kuat Tekan Beton umur 7 hari, f_c'	:	22.75	MPa
Modulus Elastisitas Beton, E_c	:	27805.57	MPa
Berat Jenis Beton, γ	:	24	kN/m ³
Kuat Leleh Tul. Longitudinal, f_y	:	420	MPa
Kuat Leleh Tul. Transversal, f_{yv}	:	420	MPa

4.8.1.2 Pembebanan dan Gaya Dalam Balok

Berikut contoh perhitungan pembebanan dan gaya dalam balok induk tipe BI A dengan bentang 7250 mm:

- Saat Pengangkatan

Pada kondisi pengangkatan sudut angkat yang akan digunakan yaitu 45° . Berikut perhitungan pembebanan dan gaya dalam

- Beban merata akibat beban sendiri

Untuk menghitung beban merata akan menggunakan nilai γ beton dikalikan dengan dimensi dari balok pracetak. Berikut beban merata akibat beban sendiri

$$\begin{aligned} q &= \gamma \times hp \times b \\ &= 24 \times \frac{550}{1000} \times \frac{700}{1000} \\ &= 6.6 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Kombinasi pembebanan yang digunakan yaitu 1.4D karena beban yang bekerja hanya beban mati sendiri dari baloknya.

$$\begin{aligned} q_U &= 1.4 \times q \\ &= 1.4 \times 6.6 \\ &= 9.24 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

- Parameter untuk menghitung Momen akibat Pengangkatan

Adapun parameter yang digunakan untuk memperhitungkan momen saat pengangkatan yaitu:

$$\begin{aligned} Y_t &= \frac{h}{2} \\ &= \frac{550}{2} \\ &= 275 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_b &= \frac{h}{2} \\ &= \frac{550}{2} \\ &= 275 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_c &= Y_t + 50 \text{ mm} \\ &= 275 + 50 \\ &= 325 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X &= \frac{1}{2(1 + \sqrt{1 + \frac{Y_t}{Y_c}})} \\ &= \frac{1}{2(1 + \sqrt{1 + \frac{275}{325}})} \\ &= 0.207 \end{aligned}$$

- Perhitungan momen saat pengangkatan

$$\begin{aligned} M^+ &= \frac{WL^2}{8} \left(1 - 4X + \frac{4Y_c}{L_x \tan \theta} \right) \\ &= \frac{9.24 \times 7.25^2}{8} \left(1 - 4(0.207) + \frac{4 \times 325}{7.25 \tan 45} \right) \\ &= 21.30 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M^- &= \frac{W X^2 L^2}{2} \\ &= \frac{9.24 \times 0.207^2 \times 7.25^2}{2} \\ &= 10.41 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

- Sebelum Komposit

Kondisi sebelum komposit yaitu kondisi saat balok sudah diletakkan menumpu ke kolom, akan tetapi antar elemen pracetak belum disambung, sehingga perhitungan

momen dapat menggunakan perhitungan mekanika teknik 1. Berikut perhitungan pembebanan dan gaya dalam saat kondisi sebelum komposit:

- **Pembebanan akibat beban sendiri dan Pelaksanaan**

Untuk menghitung beban merata akan menggunakan nilai γ beton dikalikan dengan dimensi dari balok pracetak. Berikut beban merata akibat beban sendiri

$$\begin{aligned} q &= \gamma \times hp \times b \\ &= 24 \times \frac{550}{1000} \times \frac{700}{1000} \\ &= 6.6 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Kemudian terdapat beban overtopping yang dapat dihitng sebagai berikut:

$$\begin{aligned} q_o &= \gamma \times ho \times b \\ &= 24 \times \frac{150}{1000} \times \frac{700}{1000} \\ &= 1.8 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$q_{\text{pekerja}} = 1 \text{ kN/m}$$

Sehingga q Ultimate dapat dihitung berdasarkan 2 kombinasi antara 1.4D dan 1.2D+1.6L. Berikut perhitungan q ultimate dari dua kombinasi:

$$\begin{aligned} q_{\text{ultimate1}} &= 1.4D \\ &= 1.4 \times (6.6 + 1.8) \\ &= 11.76 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_{\text{ultimate2}} &= 1.2D+1.6L \\ &= 1.2 \times (6.6 + 1.8) + 1.6 \times (1) \\ &= 11.68 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Sehingga q ultimate 1 yang digunakan untuk menghitung momen dan geser dari balok saat kondisi sebelum komposit.

- **Perhitungan momen dan geser**

Dikarenakan pada kondisi sebelum komposit itu tidak disambung dengan kolom dan balok lainnya, sehingga tidak terdapat momen negatif untuk kondisi ini. Berikut perhitungan momen saat sebelum komposit:

$$\begin{aligned} M &= \frac{1}{8} \times q \times L^2 \\ &= \frac{1}{8} \times 11.76 \times 7.25^2 \\ &= 76.74 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V &= \frac{1}{4} \times q \times L \\ &= \frac{1}{4} \times 11.76 \times 7.25 \\ &= 21.17 \text{ kN} \end{aligned}$$

- **Setelah Komposit**

Kondisi setelah komposit akan menggunakan program bantu analisa struktur untuk mendapatkan momen, geser, dan torsi.

- **Rekapitulasi Momen, Geser, dan Torsi**

Tabel 4.32 Rekapitulasi Gaya Dalam Balok

Parameter	BI A	BI B	BI C	BI D	CB1
Pengangkatan					
M ⁺ (Momen Positif), kN.m	21.302	18.9558	11.2668	6.62741	4.99229
M ⁻ (Momen Negatif), kN.m	10.4161	8.8957	4.28486	1.93522	1.23854
Sebelum Komposit					
M ⁻ (Momen), kN.m	76.7413	65.5394	31.5689	14.2578	10.375
V(Geser), kN	21.17	19.564	13.578	9.125	7.3
Setelah Komposit					
M ⁻ Tumpuan, kN.m	-958.11	-938.62	-911.81	-845.63	-20.09
M ⁺ Tumpuan, kN.m	740.09	791.19	755.63	663.39	3.75
M ⁻ Lapangan, kN.m	-384.75	-385.79	-239.06	-119.17	-66.84
M ⁺ Lapangan, kN.m	499.03	472.84	257.93	191.04	5.17
V Tumpuan, kN	421.72	397.37	487.01	517.16	25.18
V Lapangan, kN	381.48	341.79	451.36	515.2	44.41

4.8.1.3 Penulangan Lentur Balok

Penulangan lentur yang akan ditinjau hanya 2 kondisi yaitu yang pertama saat pengangkatan dan sebelum komposit dimana, nilai yang momen yang diambil terbesar dari kedua kondisi tersebut. Kemudian kondisi kedua yaitu saat setelah komposit. Proses perhitungan yang akan dilakukan akan menggunakan cara trial and error. Berikut perhitungan pada kedua kondisi tersebut:

- Sebelum Komposit

- Tumpuan Negatif

Pada tumpuan negatif, akan dilakukan pemasangan 2D22, berikut kontrol yang perlu dilakukan:

3. Cek As Minimum

$$\begin{aligned}
 \text{As pasang} &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\
 &= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 22^2 \\
 &= 760.26 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{As Minimum 1} &= \frac{\sqrt{f'c}}{4 \times fy} \times b \times d \\
 &= \frac{\sqrt{22.75}}{4 \times 420} \times 550 \times 475 \\
 &= 674.28 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{As Minimum 2} &= \frac{1.4}{4 \times fy} \times b \times d \\
 &= \frac{1.4}{4 \times 420} \times 550 \times 475 \\
 &= 197.91 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Berdasarkan area penampang tulangan yang dipasang sudah memenuhi, maka cek as minimum sudah memenuhi syarat area penampang tulangan minimum.

4. Cek Kapasitas Momen

$$\begin{aligned} \text{Panjang beton tekan, } a &= \frac{A_s \times f_y}{0.85 \times f'_c \times b} \\ &= \frac{760.26 \times 420}{0.85 \times 22.75 \times 550} \\ &= 21.46 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Momen Nominal, } M_n &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= 720.26 \times 420 \times \left(d - \frac{21.46}{2}\right) \\ &= 148.24 \text{ kN} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{21.46}{0.8} \\ &= 26.83 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Regangan Baja, } \epsilon_s &= \frac{(d-c)}{c} \times 0.003 \\ &= \frac{(475-26.83)}{26.83} \times 0.003 \\ &= 0.05 \end{aligned}$$

Dikarenakan nilai regangan baja sudah melebihi 0.005 (tension controlled) maka nilai ϕ dapat diambil 0.9.

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \phi \times M_n \\ &= 0.9 \times 148.24 \\ &= 133.42 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$M_u = 10.41 \text{ kN.m}$$

Dikarenakan nilai ϕM_n sudah lebih besar dari nilai momen ultimate, maka kapasitas momen sudah terpenuhi.

o Tumpuan Positif

Pada tumpuan positif, akan dilakukan pemasangan 7D25, berikut kontrol yang perlu dilakukan:

3. Cek As Minimum

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= 8 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 25^2 \\ &= 3926.99 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As Minimum 1} &= \frac{\sqrt{f'_c}}{4 \times f_y} \times b \times d \\ &= \frac{\sqrt{22.75}}{4 \times 420} \times 550 \times 475 \\ &= 674.28 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As Minimum 2} &= \frac{1.4}{4 \times f_y} \times b \times d \\ &= \frac{1.4}{4 \times 420} \times 550 \times 475 \\ &= 197.91 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Berdasarkan area penampang tulangan yang dipasang sudah memenuhi, maka cek as minimum sudah memenuhi syarat area penampang tulangan minimum.

4. Cek Kapasitas Momen

$$\begin{aligned} \text{Panjang beton tekan, } a &= \frac{A_s \times f_y}{0.85 \times f'_c \times b} \\ &= \frac{3926.99 \times 420}{0.85 \times 22.75 \times 550} \\ &= 110.88 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Momen Nominal, } M_n &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= 720.26 \times 420 \times \left(d - \frac{110.88}{2}\right) \\ &= 691.99 \text{ kN} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{97.02}{0.8} \\ &= 138.60 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Regangan Baja, } \epsilon_s &= \frac{(d-c)}{c} \times 0.003 \\ &= \frac{(475-121.27)}{121.27} \times 0.003 \\ &= 0.007 \end{aligned}$$

Dikarenakan nilai regangan baja sudah melebihi 0.005 (tension controlled) maka nilai ϕ dapat diambil 0.9.

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \phi \times M_n \\ &= 0.9 \times 691.99 \\ &= 622.79 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$M_u = 5.20 \text{ kN.m}$$

Dikarenakan nilai ϕM_n sudah lebih besar dari nilai momen ultimate, maka kapasitas momen sudah terpenuhi.

o Lapangan Negatif

Pada tumpuan negatif, akan dilakukan pemasangan 2D22, berikut kontrol yang perlu dilakukan:

3. Cek As Minimum

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 22^2 \\ &= 760.26 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As Minimum 1} &= \frac{\sqrt{f'_c}}{4 \times f_y} \times b \times d \\ &= \frac{\sqrt{22.75}}{4 \times 420} \times 550 \times 475 \\ &= 674.28 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As Minimum 2} &= \frac{1.4}{4 \times f_y} \times b \times d \\ &= \frac{1.4}{4 \times 420} \times 550 \times 475 \\ &= 197.91 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Berdasarkan area penampang tulangan yang dipasang sudah memenuhi, maka cek as minimum sudah memenuhi syarat area penampang tulangan minimum.

4. Cek Kapasitas Momen

$$\begin{aligned} \text{Panjang beton tekan, } a &= \frac{A_s \times f_y}{0.85 \times f'_c \times b} \\ &= \frac{760.26 \times 420}{0.85 \times 22.75 \times 550} \\ &= 21.46 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Momen Nominal, } M_n &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= 760.26 \times 420 \times \left(d - \frac{21.46}{2}\right) \\ &= 148.24 \text{ kN} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{21.46}{0.8} \\ &= 26.83 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Regangan Baja, } \epsilon_s &= \frac{(d-c)}{c} \times 0.003 \\ &= \frac{(475-26.83)}{26.83} \times 0.003 \\ &= 0.05 \end{aligned}$$

Dikarenakan nilai regangan baja sudah melebihi 0.005 (tension controlled) maka nilai ϕ dapat diambil 0.9.

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \phi \times M_n \\ &= 0.9 \times 148.24 \\ &= 133.42 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$M_u = 10.65 \text{ kN.m}$$

Dikarenakan nilai ϕM_n sudah lebih besar dari nilai momen ultimate, maka kapasitas momen sudah terpenuhi.

o Lapangan Positif

Pada tumpuan negatif, akan dilakukan pemasangan 2D22, berikut kontrol yang perlu dilakukan:

3. Cek As Minimum

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 25^2 \\ &= 2454.36 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As Minimum 1} &= \frac{\sqrt{f'_c}}{4 \times f_y} \times b \times d \\ &= \frac{\sqrt{22.75}}{4 \times 420} \times 550 \times 475 \\ &= 674.28 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As Minimum 2} &= \frac{1.4}{4 \times f_y} \times b \times d \\ &= \frac{1.4}{4 \times 420} \times 550 \times 475 \\ &= 197.91 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Berdasarkan area penampang tulangan yang dipasang sudah memenuhi, maka cek as minimum sudah memenuhi syarat area penampang tulangan minimum.

4. Cek Kapasitas Momen

$$\begin{aligned} \text{Panjang beton tekan, } a &= \frac{A_s \times f_y}{0.85 \times f'_c \times b} \\ &= \frac{2454.36 \times 420}{0.85 \times 22.75 \times 550} \\ &= 69.30 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Momen Nominal, } M_n &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= 720.26 \times 420 \times \left(d - \frac{21.46}{2}\right) \\ &= 453.92 \text{ kN} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{69.30}{0.8} \\ &= 86.62 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Regangan Baja, } \epsilon_s &= \frac{(d-c)}{c} \times 0.003 \\ &= \frac{(475-86.62)}{86.62} \times 0.003 \\ &= 0.013 \end{aligned}$$

Dikarenakan nilai regangan baja sudah melebihi 0.005 (tension controlled) maka nilai ϕ dapat diambil 0.9.

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \phi \times M_n \\ &= 0.9 \times 148.24 \\ &= 133.42 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$M_u = 10.65 \text{ kN.m}$$

Dikarenakan nilai ϕM_n sudah lebih besar dari nilai momen ultimate, maka kapasitas momen sudah terpenuhi.

- Setelah Komposit

- Tumpuan Negatif

Pada tumpuan negatif, akan dilakukan pemasangan 2D22, berikut kontrol yang perlu dilakukan:

3. Cek As Minimum

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= 9 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 32^2 \\ &= 7238.23 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As Minimum 1} &= \frac{\sqrt{f'_c}}{4 \times f_y} \times b \times d \\ &= \frac{\sqrt{22.75}}{4 \times 420} \times 550 \times 475 \\ &= 674.28 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As Minimum 2} &= \frac{1.4}{4 \times f_y} \times b \times d \\ &= \frac{1.4}{4 \times 420} \times 550 \times 475 \\ &= 197.91 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Berdasarkan area penampang tulangan yang dipasang sudah memenuhi, maka cek as minimum sudah memenuhi syarat area penampang tulangan minimum.

4. Cek Kapasitas Momen

$$\begin{aligned} \text{Panjang beton tekan, } a &= \frac{A_s \times f_y}{0.85 \times f'_c \times b} \\ &= \frac{7328.23 \times 420}{0.85 \times 22.75 \times 550} \\ &= 204.37 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Momen Nominal, } M_n &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= 720.26 \times 420 \times \left(d - \frac{1133.373}{2}\right) \\ &= 1038.12 \text{ kN} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{204.37}{0.8} \\ &= 227.08 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Regangan Baja, } \epsilon_s &= \frac{(d-c)}{c} \times 0.003 \\ &= \frac{(475-26.83)}{26.83} \times 0.003 \\ &= 0.054 \end{aligned}$$

Dikarenakan nilai regangan baja sudah melebihi 0.005 (tension controlled) maka nilai ϕ dapat diambil 0.9.

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \phi \times M_n \\ &= 0.9 \times 1133.37 \\ &= 1020.03 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$M_u = 938.5 \text{ kN.m}$$

Dikarenakan nilai ϕM_n sudah lebih besar dari nilai momen ultimate, maka kapasitas momen sudah terpenuhi.

o Tumpuan Positif

Pada tumpuan positif, akan dilakukan pemasangan 7D25, berikut kontrol yang perlu dilakukan:

1. Cek As Minimum

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= 8 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 29^2 \\ &= 5284.16 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As Minimum 1} &= \frac{\sqrt{f'_c}}{4 \times f_y} \times b \times d \\ &= \frac{\sqrt{22.75}}{4 \times 420} \times 550 \times 475 \\ &= 674.28 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As Minimum 2} &= \frac{1.4}{4 \times f_y} \times b \times d \\ &= \frac{1.4}{4 \times 420} \times 550 \times 475 \\ &= 197.91 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Berdasarkan area penampang tulangan yang dipasang sudah memenuhi, maka cek as minimum sudah memenuhi syarat area penampang tulangan minimum.

2. Cek Kapasitas Momen

$$\begin{aligned} \text{Panjang beton tekan, } a &= \frac{A_s \times f_y}{0.85 \times f'_c \times b} \\ &= \frac{5284.159 \times 420}{0.85 \times 35 \times 500} \\ &= \text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Momen Nominal, } M_n &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= 5284.16 \times 420 \times \left(d - \frac{149.200}{2}\right) \\ &= 888.627 \text{ kN} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{149.200}{0.8} \\ &= 186.50 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Regangan Baja, } \epsilon_s &= \frac{(d-c)}{c} \times 0.003 \\ &= \frac{(475-186.50)}{186.50} \times 0.003 \\ &= 0.005 \end{aligned}$$

Dikarenakan nilai regangan baja sudah melebihi 0.005 (tension controlled) maka nilai ϕ dapat diambil 0.9.

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \phi \times M_n \\ &= 0.9 \times 888.62 \\ &= 799.76 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$M_u = 740.09 \text{ kN.m}$$

Dikarenakan nilai ϕM_n sudah lebih besar dari nilai momen ultimate, maka kapasitas momen sudah terpenuhi.

o Lapangan Negatif

Pada tumpuan negatif, akan dilakukan pemasangan 2D22, berikut kontrol yang perlu dilakukan:

1. Cek As Minimum

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 32^2 \\ &= 2368.761 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As Minimum 1} &= \frac{\sqrt{f'_c}}{4 \times f_y} \times b \times d \\ &= \frac{\sqrt{22.75}}{4 \times 420} \times 550 \times 475 \\ &= 674.28 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As Minimum 2} &= \frac{1.4}{4 \times f_y} \times b \times d \\ &= \frac{1.4}{4 \times 420} \times 550 \times 475 \\ &= 197.91 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Berdasarkan area penampang tulangan yang dipasang sudah memenuhi, maka cek as minimum sudah memenuhi syarat area penampang tulangan minimum.

2. Cek Kapasitas Momen

$$\begin{aligned} \text{Panjang beton tekan, } a &= \frac{A_s \times f_y}{0.85 \times f'_c \times b} \\ &= \frac{2368.76 \times 420}{0.85 \times 35 \times 500} \\ &= 66.883 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Momen Nominal, } M_n &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= 2368.76 \times 420 \times \left(d - \frac{66.88}{2}\right) \\ &= 439.298 \text{ kN} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{66.883}{0.8} \\ &= 83.603 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Regangan Baja, } \epsilon_s &= \frac{(d-c)}{c} \times 0.003 \\ &= \frac{(475-83.603)}{83.603} \times 0.003 \\ &= 0.05 \end{aligned}$$

Dikarenakan nilai regangan baja sudah melebihi 0.005 (tension controlled) maka nilai ϕ dapat diambil 0.9.

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \phi \times M_n \\ &= 0.9 \times 439.298 \\ &= 395.368 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$M_u = 384.750 \text{ kN.m}$$

Dikarenakan nilai ϕM_n sudah lebih besar dari nilai momen ultimate, maka kapasitas momen sudah terpenuhi.

o Lapangan Positif

Pada tumpuan negatif, akan dilakukan pemasangan 5D29, berikut kontrol yang perlu dilakukan:

1. Cek As Minimum

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= 5 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 29^2 \\ &= 3302.59 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As Minimum 1} &= \frac{\sqrt{f'_c}}{4 \times f_y} \times b \times d \\ &= \frac{\sqrt{22.75}}{4 \times 420} \times 550 \times 475 \\ &= 674.28 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As Minimum 2} &= \frac{1.4}{4 \times f_y} \times b \times d \\ &= \frac{1.4}{4 \times 420} \times 550 \times 475 \\ &= 197.91 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Berdasarkan area penampang tulangan yang dipasang sudah memenuhi, maka cek as minimum sudah memenuhi syarat area penampang tulangan minimum.

2. Cek Kapasitas Momen

$$\begin{aligned} \text{Panjang beton tekan, } a &= \frac{A_s \times f_y}{0.85 \times f'_c \times b} \\ &= \frac{3302.59 \times 420}{0.85 \times 22.75 \times 550} \\ &= 93.250 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Momen Nominal, } M_n &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= 3302.59 \times 420 \times \left(d - \frac{93.250}{2}\right) \\ &= 594.196 \text{ kN} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{93.250}{0.8} \\ &= 116.562 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Regangan Baja, } \epsilon_s &= \frac{(d-c)}{c} \times 0.003 \\ &= \frac{(475-116.562)}{116.562} \times 0.003 \\ &= 0.013 \end{aligned}$$

Dikarenakan nilai regangan baja sudah melebihi 0.005 (tension controlled) maka nilai ϕ dapat diambil 0.9.

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \phi \times M_n \\ &= 0.9 \times 594.196 \\ &= 534.77 \text{ kN} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

$$M_u = 499.03 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Dikarenakan nilai ϕM_n sudah lebih besar dari nilai momen ultimate, maka kapasitas momen sudah terpenuhi.

4.8.1.4 Penulangan Geser Balok

- Sebelum Komposit

- Tumpuan

Pada tulangan geser tumpuan, akan dipasang 2D-150. Berikut perhitungan dan pengecekan untuk tulangan geser tumpuan:

1. Cek Spasi Maksimum

$$\begin{aligned} A_v &= n \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 \\ &= 2 \times \frac{\pi}{4} \times 13^2 \\ &= 265.46 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Spasi Maksimum} &= \frac{d}{2} \\ &= \frac{475}{2} \\ &= 237.5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dikarenakan spasi yang dipasang sudah lebih kecil dari spasi maksimum, maka spasi sudah memenuhi persyaratan spasi maksimum.

2. Cek Batas V_s

$$\begin{aligned}
 V_s &= \frac{A_v \times F_{yv} \times ds}{s} \\
 &= \frac{265.46 \times 420 \times 13}{150} \\
 &= 476456 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Batas } V_s &= 0.66 \times \sqrt{f'c} \times b \times ds \\
 &= 0.66 \times \sqrt{22.75} \times 500 \times 13 \\
 &= 1251428 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Maka nilai V_s dapat digunakan.

3. Cek Kapasitas

$$\begin{aligned}
 V_s &= 476456 \text{ N} \\
 V_c &= 0.17 \times \sqrt{f'c} \times b \times ds \\
 &= 0.17 \times \sqrt{22.75} \times 500 \times 13 \\
 &= 322338 \text{ N} \\
 V_n &= V_c + V_s \\
 &= 322338 + 476456 \\
 &= 798793 \text{ N} \\
 \phi V_n &= 0.75 \times 798793 \\
 &= 599095 \text{ N} \\
 V_u &= 21.17 \text{ kN} \\
 &= 21170 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Maka Kapasitas geser sudah memenuhi.

o Lapangan

Pada tulangan geser lapangan, akan dipasang 2D-200. Berikut perhitungan dan pengecekan untuk tulangan geser tumpuan:

1. Cek Spasi Maksimum

$$\begin{aligned}
 A_v &= n \times \frac{\pi}{4} \times ds^2 \\
 &= 2 \times \frac{\pi}{4} \times 13^2 \\
 &= 265.46 \text{ mm}^2 \\
 \text{Spasi Maksimum} &= \frac{d}{2} \\
 &= \frac{475}{2} \\
 &= 237.5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Dikarenakan spasi yang dipasang sudah lebih kecil dari spasi maksimum, maka spasi sudah memenuhi persyaratan spasi maksimum.

2. Cek Batas V_s

$$\begin{aligned}
 V_s &= \frac{A_v \times F_{yv} \times ds}{s} \\
 &= \frac{265.46 \times 420 \times 13}{200} \\
 &= 357342 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Batas } V_s &= 0.66 \times \sqrt{f'c} \times b \times ds \\
 &= 0.66 \times \sqrt{22.75} \times 500 \times 13 \\
 &= 1251428 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Maka nilai V_s dapat digunakan.

3. Cek Kapasitas

$$\begin{aligned}
V_s &= 357342 \text{ N} \\
V_c &= 0.17 \times \sqrt{f'c} \times b \times ds \\
&= 0.17 \times \sqrt{22.75} \times 500 \times 13 \\
&= 322338 \text{ N} \\
V_n &= V_c + V_s \\
&= 322338 + 357342 \\
&= 679679 \text{ N} \\
\phi V_n &= 0.75 \times 679679 \\
&= 509759 \\
V_u &= 21.17 \text{ kN} \\
&= 21170 \text{ N}
\end{aligned}$$

Maka Kapasitas geser sudah memenuhi.

- Setelah Komposit

- Tumpuan

Pada tulangan geser tumpuan, akan dipasang 2D-150. Berikut perhitungan dan pengecekan untuk tulangan geser tumpuan:

1. Gaya Desain

$$\begin{aligned}
V_g &= 173.81 \text{ kN} \\
M_n^+ &= 888626669 \text{ N mm} \\
M_n^- &= 1133373241 \text{ N mm} \\
V_{\text{sway}} &= 304060 \text{ N} \\
V_e &= V_{\text{sway}} + V_g \\
&= 477870 \text{ N}
\end{aligned}$$

2. Cek Spasi Maksimum

$$\begin{aligned}
A_v &= n \times \frac{\pi}{4} \times ds^2 \\
&= 2 \times \frac{\pi}{4} \times 13^2 \\
&= 265.46 \text{ mm}^2 \\
\text{Spasi Maksimum} &= \frac{d}{2} \\
&= \frac{475}{2} \\
&= 237.5 \text{ mm}
\end{aligned}$$

Dikarenakan spasi yang dipasang sudah lebih kecil dari spasi maksimum, maka spasi sudah memenuhi persyaratan spasi maksimum.

3. Cek Batas V_s

$$\begin{aligned}
V_s &= \frac{A_v \times F_{yv} \times ds}{s} \\
&= \frac{265.46 \times 420 \times 13}{150} \\
&= 476456 \text{ N}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Batas } V_s &= 0.66 \times \sqrt{f'c} \times b \times ds \\
&= 0.66 \times \sqrt{22.75} \times 500 \times 13 \\
&= 1251428 \text{ N}
\end{aligned}$$

Maka nilai V_s dapat digunakan.

4. Cek Kapasitas

$$V_s = 476456 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}
V_C &= 0.17 \times \sqrt{f'c} \times b \times ds \\
&= 0.17 \times \sqrt{22.75} \times 500 \times 13 \\
&= 322338 \text{ N} \\
V_n &= V_C + V_S \\
&= 322338 + 476456 \\
&= 798793 \text{ N} \\
\phi V_n &= 0.75 \times 798793 \\
&= 599095 \text{ N} \\
V_u &= 477870 \text{ N}
\end{aligned}$$

Maka Kapasitas geser sudah memenuhi.

o Lapangan

Pada tulangan geser lapangan, akan dipasang 2D-200. Berikut perhitungan dan pengecekan untuk tulangan geser tumpuan:

4. Cek Spasi Maksimum

$$\begin{aligned}
A_v &= n \times \frac{\pi}{4} \times ds^2 \\
&= 2 \times \frac{\pi}{4} \times 13^2 \\
&= 265.46 \text{ mm}^2 \\
\text{Spasi Maksimum} &= \frac{d}{2} \\
&= \frac{475}{2} \\
&= 237.5 \text{ mm}
\end{aligned}$$

Dikarenakan spasi yang dipasang sudah lebih kecil dari spasi maksimum, maka spasi sudah memenuhi persyaratan spasi maksimum.

5. Cek Batas V_s

$$\begin{aligned}
V_s &= \frac{A_v \times F_{yv} \times ds}{s} \\
&= \frac{265.46 \times 420 \times 13}{200} \\
&= 357342 \text{ N}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Batas } V_s &= 0.66 \times \sqrt{f'c} \times b \times ds \\
&= 0.66 \times \sqrt{22.75} \times 500 \times 13 \\
&= 1251428 \text{ N}
\end{aligned}$$

Maka nilai V_s dapat digunakan.

6. Cek Kapasitas

$$\begin{aligned}
V_s &= 357342 \text{ N} \\
V_C &= 0.17 \times \sqrt{f'c} \times b \times ds \\
&= 0.17 \times \sqrt{22.75} \times 500 \times 13 \\
&= 322338 \text{ N} \\
V_n &= V_C + V_s \\
&= 322338 + 357342 \\
&= 679679 \text{ N} \\
\phi V_n &= 0.75 \times 679679 \\
&= 509759 \text{ N} \\
V_u &= 381480 \text{ N}
\end{aligned}$$

Maka Kapasitas geser sudah memenuhi.

4.8.1.5 Pengecekan Torsi dan Penulangan Torsi

- Pengecekan Kebutuhan Tulangan Torsi

$$\begin{aligned}A_{CP} &= B \times H \\ &= 500 \times 700 \\ &= 350000 \text{ mm}^2 \\ P_{CP} &= 2 \times (B + H) \\ &= 2 \times (500 + 700) \\ &= 2400 \text{ mm} \\ T_{CR} &= 0.33 \times \sqrt{f'_c} \times \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \\ &= 0.33 \times \sqrt{35} \times \frac{350000^2}{2400} \\ &= 99648969 \text{ N.mm} \\ \phi \frac{T_{cr}}{4} &= 0.75 \times \frac{T_{cr}}{4} \\ &= 0.75 \times \frac{99648969}{4} \\ &= 18684182 \text{ N.mm} \\ T_u &= 160000 \text{ N.mm}\end{aligned}$$

Dikarenakan nilai $T_u < \phi \frac{T_{cr}}{4}$, maka tidak perlu dilakukan pengecekan torsi.

- Pengecekan Torsi Transversal
Tidak perlu dilakukan pengecekan
- Pengecekan Torsi Longitudinal
Tidak perlu dilakukan pengecekan

4.8.2 Perencanaan Kolom

- Dimensi Kolom

Kolom Tipe 1 (K1) : 600 x 800

Kolom Tipe 2 (K2) : 500 x 800

- Data Material

Diameter Tulangan Longitudinal, d_b : 32 mm

Diameter Tulangan Sengkang, d_s : 16 mm

Selimut Bersih, c_c : 40 mm

Kuat Tekan Beton, f'_c : 28 MPa

Kuat Leleh Tul. Longitudinal, f_y : 420 MPa

Kuat Leleh Tul. Transversal, f_{yv} : 420 MPa

4.8.2.1 Perencanaan Tulangan Longitudinal

Pada kolom K1 akan dilakukan pemasangan 20D32 untuk tulangan utama. Berikut pengecekan tulangan longitudinal kolom K1:

- Hasil Analisa Struktur

Pada perencanaan kolom, akan dilakukan program bantu untuk mendapatkan diagram interaksi aksial dan momen. Untuk melakukan pengecekan, diambil

beberapa kondisi. Berikut beberapa kondisi dan nilai yang didapatkan dari program bantu analisa struktur:

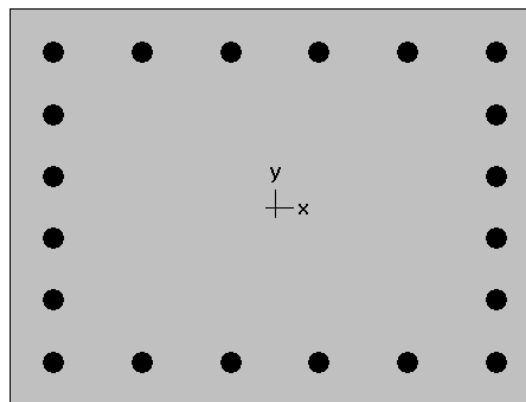
Tabel 4.33 Rekapitulasi Gaya Dalam Kolom Sesuai Kondisi

Aksial - Lentur			
Kondisi	P (kN)	M2 (kN-m)	M3 (kN-m)
P max	1825.160	88.590	290.130
P min	-8061.580	0.000	0.000
M2 Max	-3044.640	1143.850	368.810
M2 Min	-2637.450	-896.670	-196.260
M3 Max	-1474.290	23.090	1210.250
M3 Min	-5696.290	-286.660	-1298.970

- Pengecekan Kapasitas Menggunakan Program Bantu
Pengecekan kapasitas akan menggunakan program bantu analisa struktur untuk mendapatkan diagram interaksi momen dan aksial. Berikut pemodelan dan hasil dari pengecekan kapasitas aksial lentur:

3. Rasio tulangan

Dari program bantu, didapatkan rasio tulangan dari tulangan yang digunakan yaitu:



800 x 600 mm
3.41% reinf.

Gambar 4.24 Pemodelan Kolom

Rasio Tulangan, ρ = 3.41%

Rasio Tul. Minimum, ρ_{min} = 1%

Rasio Tul. Maksimum, ρ_{max} = 8 %

Maka rasio tulangan sudah memenuhi.

4. Pengecekan kapasitas

Untuk melakukan pengecekan kapasitas akan menggunakan program bantu. Berikut hasil analisa yang telah dilakukan:

Tabel 4.34 Hasil Analisa Struktur Kolom

Kondisi	Pu	Mux	Muy	ϕPn	ϕMnx	ϕMny	ϵ_t	ϕ	Rasio
P max	-1825.16	88.59	290.13	- 1825.16	413.77	1355.1	0.00793	0.9	0.21
P min	8061.58	0	0	8061.58	1012.4	0	0.00025	0.65	0
M2 Max	3044.64	1143.85	368.81	3044.64	1301.45	419.63	0.00265	0.698	0.88
M2 Min	2637.45	-896.67	-196.26	2637.45	- 1417.65	-310.29	0.00319	0.744	0.63
M3 Max	1474.29	23.09	1210.25	1474.29	43.54	2282.16	0.00596	0.9	0.53
M3 Min	5696.29	-286.66	-1298.97	5696.29	-333.51	-1511.29	0.00135	0.65	0.86

Dari rasio yang didapatkan. Penggunaan tulangan 20D32 sudah memenuhi semua kondisi.

4.8.2.2 Perencanaan Tulangan Transversal

Pada perencanaan tulangan transversal kolom K1 akan dipasang 4D16-150 untuk di tumpuan dan 2D16-150 untuk di lapangan. Berikut perhitungan perencanaan tulangan transversal.

- Panjang Tumpuan
Panjang tumpuan untuk kolom SRPMM dibatasi oleh beberapa syarat. Berikut pengecekan panjang tumpuan, L_o :
 L_o Minimum 1 = h
 = 800 mm
 L_o Minimum 1 = $\frac{L_n}{6}$
 = 550 mm
 L_o Minimum 1 = 450 mm
 L_o Pakai = 800 mm
- Cek Spasi
 - Tumpuan
 S_o Maksimum 1 = $\frac{b}{2}$
 = 300 mm
 S_o Maksimum 2 = $8d_b$
 = 256 mm
 S_o Maksimum 3 = $24d_s$
 = 384 mm
 S_o Maksimum 4 = 300 mm
 S_o Pasang = 150 mm
 Maka jarak spasi yang digunakan sudah memenuhi spasi maksimum.
 - Lapangan
 S Maksimum 1 = $\frac{d}{2}$
 = 254 mm
 S Maksimum 1 = 300 mm
 S Pakai = 150 mm

Maka jarak spasi yang digunakan sudah memenuhi spasi maksimum.

- Cek Kekuatan Geser

- Tumpuan

3. Nilai V_u

Untuk menentukan nilai V_u , ada dua nilai yang perlu dihitung, Berikut perhitungan nilai V_u :

$$M_n = 1521.33 \text{ kN.m}$$

$$L_n = 3300 \text{ mm}$$

$$V_{Mn} = \frac{2 \times M_n}{L_n} = \frac{2 \times 1521330000}{3300}$$

$$= 922018 \text{ N}$$

$$V_g = 106300 \text{ N}$$

$$V_u, \text{ Minimum 1} = V_{Mn} + V_g = 922018 + 106300 = 1028318 \text{ N}$$

$$V_u, \text{ Minimum 2} = 625100 \text{ N (Gaya Geser Maksimum)}$$

$$V_u \text{ Pakai} = 1028318 \text{ N}$$

4. Kapasitas Geser

$$V_u = 1028318 \text{ N}$$

$$V_c = 0.17 \times \frac{1+N_u}{14 \times A_g} \times \sqrt{f'_c} = 0.17 \times \frac{1+1}{14 \times 480000} \times \sqrt{35} = 424885 \text{ N}$$

$$V_s \text{ Perlu} = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{1028318}{0.75} - 424885 = 946205 \text{ N}$$

$$A_s/s \text{ Perlu} = \frac{V_s \text{ Perlu}}{F_y \times d} = \frac{946205}{420 \times 528} = 4.26$$

$$A_s/s \text{ Pakai} = \frac{n \times \frac{\pi}{4} \times d^2}{s \text{ pakai}} = \frac{4 \times \frac{\pi}{4} \times 16^2}{150} = 5.362$$

Dikarenakan nilai A_s/s sudah memenuhi A_s/s perlu. Maka kapasitas geser kolom sudah sesuai. Perhitungan dilakukan juga untuk sumbu kuat nya.

- Lapangan

3. Nilai V_u

Untuk menentukan nilai V_u , ada dua nilai yang perlu dihitung, Berikut perhitungan nilai V_u :

$$V_u = 625100 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}
4. \text{ Kapasitas Geser} \\
V_u &= 625100 \text{ N} \\
V_c &= 0.17 \times \frac{1+N_u}{14 \times A_g} \times \sqrt{f'_c} \\
&= 0.17 \times \frac{1+1}{14 \times 480000} \times \sqrt{35} \\
&= 424885 \text{ N} \\
V_s \text{ Perlu} &= \frac{V_u}{\phi} - V_c \\
&= \frac{625100}{0.75} - 424885 \\
&= 180835 \text{ N} \\
A_s/s \text{ Perlu} &= \frac{V_s \text{ Perlu}}{F_y \times d} \\
&= \frac{180835}{420 \times 528} \\
&= 0.59 \text{ mm/mm} \\
A_s/s \text{ Pakai} &= \frac{n \times \frac{\pi}{4} \times d^2}{s \text{ pakai}} \\
&= \frac{2 \times \frac{\pi}{4} \times 16^2}{150} \\
&= 2.68 \text{ mm/mm}
\end{aligned}$$

Dikarenakan nilai A_s/s sudah memenuhi A_s/s perlu. Maka kapasitas geser kolom sudah sesuai. Perhitungan dilakukan juga untuk sumbu kuat nya.

4.8.3 Rekapitulasi Desain Struktur Primer

4.8.3.1 Rekapitulasi Balok

Berikut rekapitulasi desain balok induk:

Tabel 4.35 Rekapitulasi Desain Balok

Rekapitulasi Design Balok					
Tipe Balok	BI A	BI B	BI C	BI D	CB1
Sebelum Komposit					
Tulangan Longitudinal					
Longitudinal Tumpuan Atas	2 D22	2 D22	2 D22	2 D22	2 D22
Longitudinal Tumpuan Bawah	8 D29	8 D29	8 D29	7 D29	2 D29
Longitudinal Lapangan Atas	2 D22	2 D22	2 D22	2 D22	2 D22
Longitudinal Lapangan Bawah	5 D29	5 D29	3 D29	3 D29	2 D29
Tulangan Transversal/Senggang					
Senggang Tumpuan	2D13-150	2D13-150	2D13-150	2D13-150	2D13-150
Senggang Lapangan	2D13-200	2D13-200	2D13-200	2D13-200	2D13-200
Setelah Komposit					
Tulangan Longitudinal					
Longitudinal Tumpuan Atas	9 D32	9 D32	8 D32	8 D32	2 D25
Longitudinal Tumpuan Bawah	8 D29	8 D29	8 D29	7 D29	2 D29
Longitudinal Lapangan Atas	2 D32	2 D32	2 D32	2 D32	2 D25
Longitudinal Lapangan Bawah	5 D29	5 D29	3 D29	3 D29	2 D29
Tulangan Transversal/Senggang					
Senggang Tumpuan	2D13-150	2D13-150	2D13-150	2D13-150	2D13-150
Senggang Lapangan	2D13-200	2D13-200	2D13-200	2D13-200	2D13-200

4.8.3.2 Rekapitulasi Kolom

Tabel 4.36 Rekapitulasi Desain Kolom

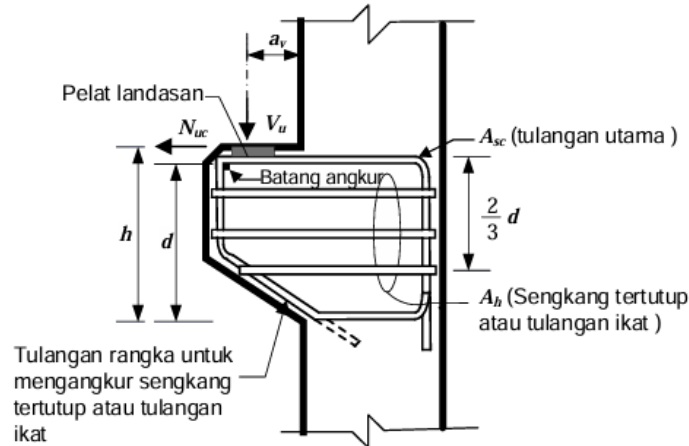
Rekapitulasi Design Kolom		
TIPE KOLOM	BI A	BI A
Tulangan Longitudinal		
Longitudinal Tumpuan Atas	24 D32	20 D32
Tulangan Transversal/Senggang Tumpuan		
Sumbu Lemah	4D16-150	2D16-100
Sumbu Kuat	4D16-150	2D16-100
Tulangan Transversal/Senggang Lapangan		
Sumbu Lemah	2D16-150	2D16-150
Sumbu Kuat	2D16-150	2D16-150

4.9 Perencanaan Sambungan Elemen Pracetak

Perencanaan sambungan elemen pracetak akan menggunakan korbrel sebagai tumpuan balok pada kolom yang ditumpu. Untuk menyambungkan antar elemen pracetak akan menggunakan coupler dari Peikko Group yaitu Modix Rebar Coupler dengan kekuatan leleh 550 MPa.

4.9.1 Perencanaan Korbrel

Perencanaan korbrel atau konsol pendek akan mengacu pada SNI 2847:2019 pasal 16.5. Bentuk konsol pendek yang akan direncanakan seperti gambar



Gambar 4.25 Persyaratan Korbrel

4.9.1.1 Data Perencanaan

Berikut data perencanaan konsol pendek yang akan digunakan diperhitungan selanjutnya:

Tinggi Balok, h	: 700	mm
Lebar Balok, b	: 500	mm
Kuat Tekan Beton, f_c'	: 35	MPa
Selimut Bersih, c_c	: 30	mm
Diameter Tulangan Longitudinal, d_b	: 19	mm
Diameter Tulangan Sengkang, d_s	: 13	mm
Kuat Leleh Tul. Longitudinal, f_y	: 420	MPa
Kuat Leleh Tul. Transversal, f_{yv}	: 420	MPa
V_u	: -409.39	kN
N_u	: -81.878	kN

Properti korbrel

Tinggi Konsol, h_k	: 300	mm
Lebar Konsol, b_k	: 400	mm
Panjang Konsol, a_v	: 150	mm
Tinggi efektif, d	: 260.5	mm

Mengacu pada SNI 2847:2019 pasal 16.5.1.1 perlu dilakukan pengecekan rasio antara bentang terhadap tinggi konsol yang harus bernilai kurang dari 1 dan pengecekan antara gaya geser dan gaya normal. Berikut pengecekan untuk kedua syarat tersebut:

$$\begin{aligned} \text{Rasio bentang dan tinggi} &= \frac{av}{d} \\ &= \frac{150}{260.5} \\ &= 0.57 < 1 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

$$N_u = 81.87 \text{ kN}$$

$$V_u = 409.49 \text{ kN}$$

$V_u > N_u$, maka sudah memenuhi syarat

4.9.1.2 Perencanaan Tulangan Korbek

1. Luas Pelat Landasan

Secara umum, luas landasan yang diperlukan yaitu:

$$\begin{aligned} A_l &= \frac{V_u}{\phi \times 0.85 \times f'_c} \\ &= \frac{409.49}{0.75 \times 0.85 \times 35} \\ &= 18348.01 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A \text{ pakai} &= L \times P \\ &= 400 \times 125 \\ &= 50000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka luas landasan sudah memenuhi syarat.

2. Kontrol Geser Friksi

Mengacu pada SNI 2847:2019 pasal 16.5.2.4 terkait kuat geser (V_n) yang diambil tidak boleh melebihi yang disyaratkan. Berikut perhitungan syarat nilai V_n :

$$\begin{aligned} V_n &= \frac{V_u}{\phi} \\ &= 545853.33 \text{ N} \\ V_n \text{ Maksimum 1} &= 0.2 f'_c \times bw \times d \\ &= 547050 \text{ N} \\ V_n \text{ Maksimum 2} &= (3.3 + 0.08 f'_c) \times b \times d \\ &= 635620 \text{ N} \\ V_n \text{ Maksimum 3} &= 11 \times bw \times d \\ &= 1146200 \text{ N} \end{aligned}$$

Nilai V_n yang digunakan lebih kecil dari yang disyaratkan.

3. Tulangan Lentur

Desain tulangan lentur mengacu pada SNI 2847:2019 pasal 16.5.3 dan pasal 16.2.4.3 seperti berikut:

$$\begin{aligned} M_u &= V_u \times Av + N \times (h - d) \\ &= 64642681 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
A_f &= \frac{M_u}{\phi \times f_y \times d} \\
&= \frac{64642681}{\phi \times 420 \times 260.5} \\
&= 787.77 \text{ mm}^2 \\
A_n &= \frac{N}{\phi \times f_y} \\
&= \frac{81.87}{\phi \times 420} \\
&= 259.93 \text{ mm}^2 \\
A_{vf} &= \frac{V_u}{\phi \times \mu} \\
&= \frac{409.39}{\phi \times 1.4} \\
&= 928.32 \text{ mm}^2 \\
A_{s \text{ minimum 1}} &= A_f + A_n \\
&= 787.77 + 259.93 \\
&= 1047.70 \text{ mm}^2 \\
A_{s \text{ minimum 2}} &= \frac{2}{3} \times A_{vf} + A_n \\
&= \frac{2}{3} \times 928.32 + 259.93 \\
&= 878.81 \text{ mm}^2 \\
A_{s \text{ minimum 3}} &= 0.04 \times \frac{f_c}{f_y} \times b_w \times d \\
&= 0.04 \times \frac{35}{420} \times 400 \times 260.5 \\
&= 347.33 \text{ mm}^2 \\
A_{sc \text{ Pakai}} &= 1047.70 \text{ mm}^2 \\
A_{s \text{ D16}} &= \frac{\pi}{4} \times D^2 \\
&= \frac{\pi}{4} \times 16^2 \\
&= 283.52 \text{ mm}^2 \\
n \text{ Perlu} &= \frac{A_{s \text{ Perlu}}}{A_{s \text{ D16}}} \\
&= 3.69 \approx 4
\end{aligned}$$

Maka untuk tulangan utama akan digunakan 4D16

4. Tulangan Geser

$$\begin{aligned}
A_{s \text{ minimum 1}} &= 0.5 \times (A_{sc} + A_n) \\
&= 0.5 \times (1047.70 + 259.93) \\
&= 653.81 \text{ mm}^2 \\
A_{s \text{ D13}} &= \frac{\pi}{4} \times D^2 \\
&= \frac{\pi}{4} \times 13^2 \\
&= 132.73 \text{ mm}^2 \\
n \text{ Perlu} &= 4.92 \approx 5
\end{aligned}$$

Maka untuk tulangan geser akan digunakan 5D13

4.9.2 Perencanaan Sambungan Kolom-Balok

Pada sambungan balok dan kolom akan digunakan coupler dari Pekko Group yaitu Modix Rebar Coupler. Sambungan balok dan kolom terdiri dari dua tipe sambungan. Tipe sambungan

dibagi berdasarkan jumlah balok yang menumpu pada kolom tersebut. Berikut perhitungan sambungan kolom dan balok:

4.9.2.1 Sambungan Satu Sisi

Berikut contoh perhitungan sambungan balok induk A (BI A) dengan kolom K1.

- Panjang Penyaluran Tulangan Tarik

- Panjang Penyaluran

Panjang penyaluran kondisi tarik mengacu pada SNI 2847:2019 pasal 25.4.3.1. Panjang kondisi tarik harus memenuhi beberapa syarat sebagai berikut:

$$\Psi_e = 1$$

$$\Psi_c = 1$$

$$\Psi_r = 1$$

$$l_{dh1} = \frac{(0.24 \times \Psi_e \times \Psi_c \times \Psi_r \times f_y)}{\lambda \times \sqrt{f'c}} \times d_b$$

$$= \frac{(0.24 \times 1 \times 1 \times 1 \times 420)}{\lambda \times \sqrt{35}} \times 32$$

$$= 545.22 \text{ mm}$$

$$l_{dh2} = 8 \times D_b$$

$$= 8 \times 32$$

$$= 256 \text{ mm}$$

$$l_{dh3} = 150 \text{ mm}$$

$$l_{dh \text{ pakai}} = 550 \text{ mm}$$

- Panjang Kait

Kait yang digunakan pada sambungan ini yaitu kait standar 90°. Berikut panjang kaitan yang disyaratkan:

$$l_{ext} = 12 \times d_b$$

$$= 12 \times 32$$

$$= 384 \text{ mm}$$

$$l_{ext \text{ pakai}} = 400 \text{ mm}$$

- Pemilihan Coupler

Pada sambungan single sided ini akan digunakan sambungan tipe Modix SM. Berikut penjelasan mengenai tipe sambungan yang akan digunakan:

$$\text{Sambungan di kolom (female)} = \text{SM32A - P12 - 550(400)}$$

$$\text{Sambungan di balok (male)} = \text{SM32B - P - 1400}$$

- Kontrol Kekuatan Coupler

Kontrol sambungan yang perlu dilakukan yaitu memastikan kekuatan coupler lebih kuat dibandingkan kekuatan tulangan. Berikut perhitungan pengecekan kekuatan coupler:

$$\text{Mutu Baja Tulangan} = 420 \text{ MPa}$$

$$\text{Mutu Coupler} = 550 \text{ MPa}$$

$$\text{Diameter Tulangan, } d_s = 32$$

$$\text{Diameter Coupler, } d_c = 53$$

$$\begin{aligned} \text{Kuat Tarik Tulangan} &= 1.25 \times A_s \times f_y \\ &= 1.25 \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 \times 420 \\ &= 422230.05 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kuat Tarik Coupler} &= \phi \times A_s \times f_y \\ &= 0.9 \times \frac{\pi}{4} \times d_c^2 \times 550 \\ &= 992782.54 \text{ N} \end{aligned}$$

Dikarenakan kuat tarik coupler lebih besar dari kuat tarik tulangan, maka coupler dapat digunakan.

- Panjang Penyaluran Tulangan Tekan

- Panjang Penyaluran

Panjang penyaluran kondisi tarik mengacu pada SNI 2847:2019 pasal 25.4.3.1. Panjang kondisi tarik harus memenuhi beberapa syarat sebagai berikut:

$$\Psi_e = 1$$

$$\Psi_c = 1$$

$$\Psi_r = 1$$

$$\begin{aligned} l_{dh1} &= \frac{(0.24 \Psi_r \times f_y)}{\lambda \times \sqrt{f'c}} \\ &= \frac{(0.24 \times 1 \times 420)}{\lambda \times \sqrt{35}} \times 25 \\ &= 425.96 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} l_{dh2} &= 0.043 \times f_y \times \Psi_r \times d_b \\ &= 0.043 \times 420 \times 1 \times 25 \\ &= 451.5 \end{aligned}$$

$$l_{dh3} = 200 \text{ mm}$$

$$l_{dh \text{ pakai}} = 460 \text{ mm}$$

- Pemilihan Coupler

Pada sambungan single sided ini akan digunakan sambungan tipe Modix SM. Berikut penjelasan mengenai tipe sambungan yang akan digunakan:

$$\text{Sambungan di kolom (female)} = \text{SM32A} - \text{P} - 460$$

$$\text{Sambungan di balok (male)} = \text{SM32B} - \text{P} - 1400$$

- Kontrol Kekuatan Coupler

Kontrol sambungan yang perlu dilakukan yaitu memastikan kekuatan coupler lebih kuat dibandingkan kekuatan tulangan. Berikut perhitungan pengecekan kekuatan coupler:

$$\text{Mutu Baja Tulangan} = 420 \text{ MPa}$$

$$\text{Mutu Coupler} = 550 \text{ MPa}$$

$$\text{Diameter Tulangan, } d_s = 25$$

$$\text{Diameter Coupler, } d_c = 41$$

$$\text{Kuat Tarik Tulangan} = 1.25 \times A_s \times f_y$$

$$= 1.25 \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 \times 420$$

$$= 257708.77 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}
\text{Kuat Tarik Coupler} &= \phi \times A_s \times f_y \\
&= 0.9 \times \frac{\pi}{4} \times d_c^2 \times 550 \\
&= 594114.44 \text{ N}
\end{aligned}$$

Dikarenakan kuat tarik coupler lebih besar dari kuat tarik tulangan, maka coupler dapat digunakan.

4.9.2.2 Sambungan Dua Sisi

- Panjang Penyaluran Tulangan Tarik

- Panjang Penyaluran

Panjang penyaluran kondisi tarik mengacu pada SNI 2847:2019 pasal 25.4.3.1. Panjang kondisi tarik harus memenuhi beberapa syarat sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
\Psi_e &= 1 \\
\Psi_c &= 1 \\
\Psi_r &= 1
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
l_{dh1} &= \frac{(0.24 \times \Psi_e \times \Psi_c \times \Psi_r \times f_y)}{\lambda \times \sqrt{f'c}} \times db \\
&= \frac{(0.24 \times 1 \times 1 \times 1 \times 420)}{\lambda \times \sqrt{35}} \times 32 \\
&= 545.22 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
l_{dh2} &= 8 \times D_b \\
&= 8 \times 32 \\
&= 256 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$l_{dh3} = 150 \text{ mm}$$

Pada pelaksanaannya antar tulangan akan dipasang menerus dengan cara disambung menggunakan coupler.

- Pemilihan Coupler

Pada sambungan single sided ini akan digunakan sambungan tipe Modix SM. Berikut penjelasan mengenai tipe sambungan yang akan digunakan:

$$\begin{aligned}
\text{Sambungan di kolom (female)} &= \text{SM32A} - \text{D} - 800 \\
\text{Sambungan di balok (male)} &= \text{SM32B} - \text{P} - 1400
\end{aligned}$$

- Kontrol Kekuatan Coupler

Kontrol sambungan yang perlu dilakukan yaitu memastikan kekuatan coupler lebih kuat dibandingkan kekuatan tulangan. Berikut perhitungan pengecekan kekuatan coupler:

$$\begin{aligned}
\text{Mutu Baja Tulangan} &= 420 \text{ MPa} \\
\text{Mutu Coupler} &= 550 \text{ MPa} \\
\text{Diameter Tulangan, } d_s &= 32 \\
\text{Diameter Coupler, } d_c &= 53 \\
\text{Kuat Tarik Tulangan} &= 1.25 \times A_s \times f_y \\
&= 1.25 \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 \times 420 \\
&= 422230.05 \text{ N} \\
\text{Kuat Tarik Coupler} &= \phi \times A_s \times f_y
\end{aligned}$$

$$= 0.9 \times \frac{\pi}{4} \times dc^2 \times 550$$

$$= 992782.54 \text{ N}$$

Dikarenakan kuat tarik coupler lebih besar dari kuat tarik tulangan, maka coupler dapat digunakan.

- Panjang Penyaluran Tulangan Tekan

- Panjang Penyaluran

Panjang penyaluran kondisi tarik mengacu pada SNI 2847:2019 pasal 25.4.3.1. Panjang kondisi tarik harus memenuhi beberapa syarat sebagai berikut:

$$\Psi_e = 1$$

$$\Psi_c = 1$$

$$\Psi_r = 1$$

$$l_{dh1} = \frac{(0.24 \Psi_r \times f_y)}{\lambda \times \sqrt{f'_c}}$$

$$= \frac{(0.24 \times 1 \times 420)}{\lambda \times \sqrt{35}} \times 32$$

$$= 545.22 \text{ mm}$$

$$l_{dh2} = 8 \times D_b$$

$$= 8 \times 32$$

$$= 256 \text{ mm}$$

$$l_{dh3} = 150 \text{ mm}$$

Pada pelaksanaannya antar tulangan akan dipasang menerus dengan cara disambung menggunakan coupler

- Pemilihan Coupler

Pada sambungan single sided ini akan digunakan sambungan tipe Modix SM. Berikut penjelasan mengenai tipe sambungan yang akan digunakan:

$$\text{Sambungan di kolom (female)} = \text{SM32A} - \text{D} - 800$$

$$\text{Penyambung} = \text{PM32}$$

$$\text{Sambungan di balok (male)} = \text{SM32B} - \text{P} - 1400$$

- Kontrol Kekuatan Coupler

Kontrol sambungan yang perlu dilakukan yaitu memastikan kekuatan coupler lebih kuat dibandingkan kekuatan tulangan. Berikut perhitungan pengecekan kekuatan coupler:

$$\text{Mutu Baja Tulangan} = 420 \text{ MPa}$$

$$\text{Mutu Coupler} = 550 \text{ MPa}$$

$$\text{Diameter Tulangan, } d_s = 25$$

$$\text{Diameter Coupler, } d_c = 41$$

$$\text{Kuat Tarik Tulangan} = 1.25 \times A_s \times f_y$$

$$= 1.25 \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2 \times 420$$

$$= 257708.77 \text{ N}$$

$$\text{Kuat Tarik Coupler} = \phi \times A_s \times f_y$$

$$= 0.9 \times \frac{\pi}{4} \times dc^2 \times 550$$

$$= 594114.44 \text{ N}$$

Dikarenakan kuat tarik coupler lebih besar dari kuat tarik tulangan, maka coupler dapat digunakan.

4.9.3 Rekapitulasi Desain Sambungan

4.9.3.1 Sambungan Satu Sisi

Berikut rekapitulasi sambungan yang digunakan pada sambungan dengan tipe satu sisi

Tabel 4.37 Rekapitulasi Sambungan Tipe Satu Sisi

Elemen	Tipe Sambungan
K1	Modix Rebar Coupler SM32A-P12-550(400)
K2	Modix Rebar Coupler SM32A-P12-550(400)
BI A	Modix Rebar Coupler SM32B-P-1400
BI B	Modix Rebar Coupler SM32B-P-1400
BI C	Modix Rebar Coupler SM32B-P-1400
BI D	Modix Rebar Coupler SM32B-P-1400

4.9.3.2 Sambungan Dua Sisi

Berikut rekapitulasi sambungan yang akan digunakan pada sambungan dengan tipe dua sisi

Tabel 4.38 Rekapitulasi Sambungan Tipe Dua Sisi

Elemen	Tipe Sambungan
K1	Modix Rebar Coupler SM32A-D-600/800
K2	Modix Rebar Coupler SM32A-D-450/800
BI A	Modix Rebar Coupler SM32B-P-1400
BI B	Modix Rebar Coupler SM32B-P-1400
BI C	Modix Rebar Coupler SM32B-P-1400
BI D	Modix Rebar Coupler SM32B-P-1400

4.10 Perbandingan Efektivitas Fixed Base dan Isolated Base

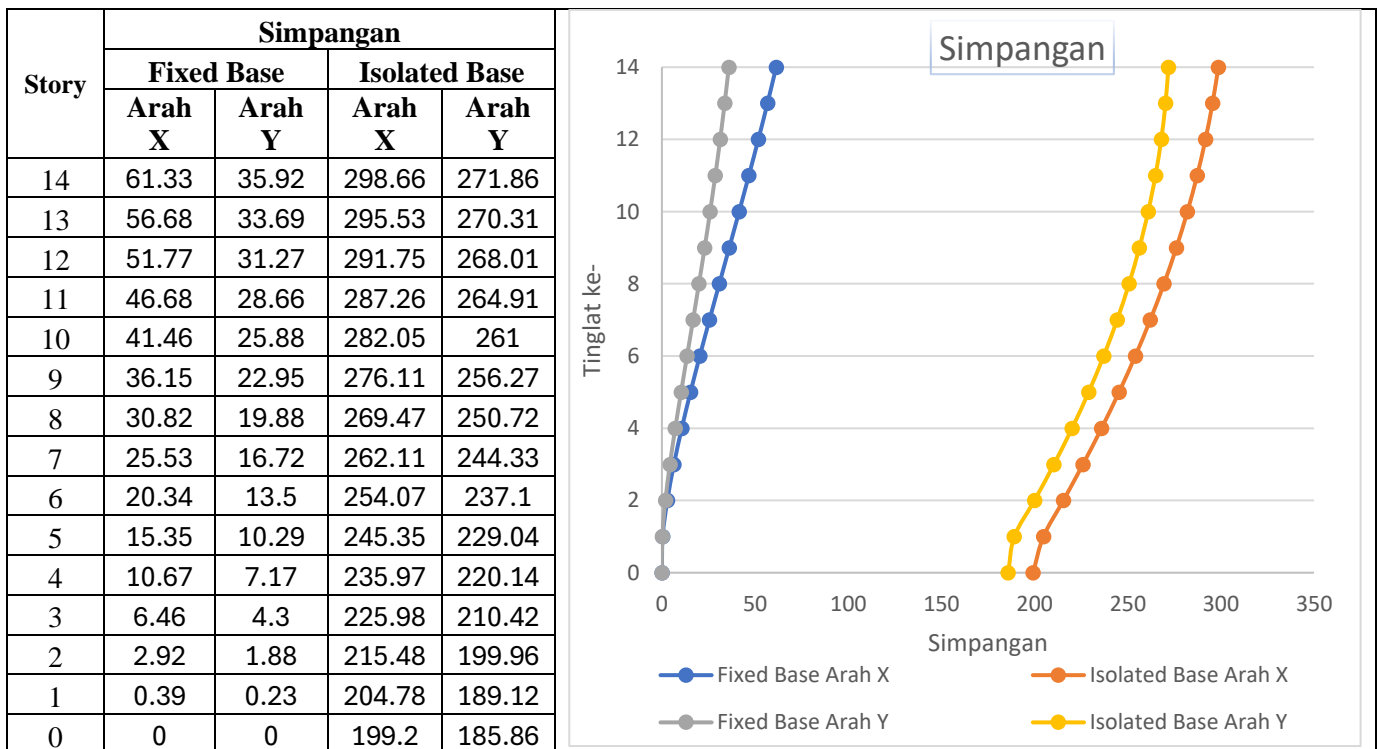
Pada subbab ini akan dilakukan perbandingan hasil analisa struktur fixed base dan isolated base. Adapun parameter yang akan dibandingkan yaitu story drift, gaya geser dasar, periode struktur, dan gaya dalam. Berikut perbandingan hasil analisa struktur yang telah didapat dari kedua struktur:

4.10.1 Simpangan dan Simpangan Antar Lantai

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisa struktur yang telah dilakukan sebelumnya, berikut perbandingan simpangan dan simpangan antar lantai antara fixed base dan isolated base:

- Simpangan
Berikut hasil dan grafik simpangan tiap lantai dari kedua analisa struktur:

Tabel 4.39 Perbandingan Perpindahan



Dari simpangan yang telah didapatkan di kedua struktur, berikut perhitungan perbandingan dari kedua struktur:

Tabel 4.40 Rekapitulasi Perbandingan Simpangan

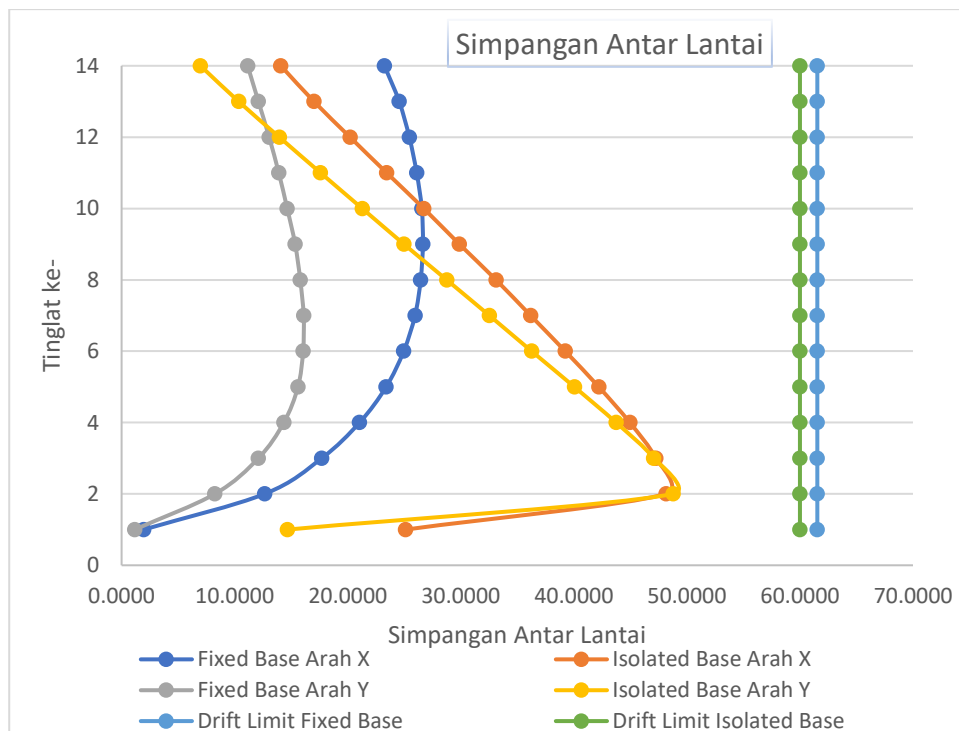
Gempa	Fixed Base	Isolated Base	Selisih
	mm		%
Arah X	27.10	256.25	845%
Arah Y	16.82	237.27	1310%

- Simpangan Antar Lantai

Berikut hasil simpangan antar lantai dari hasil kedua analisa struktur:

Tabel 4.41 Perbandingan Simpangan Antar Tingkat

Story	Simpangan Antar Lantai					
	Fixed Base			Isolated Base		
	Arah X	Arah Y	Drift Limit	Arah X	Arah Y	Drift Limit
14	23.2500	11.1500	61.5385	14.0850	6.9750	60.0000
13	24.5500	12.1000	61.5385	17.0100	10.3500	60.0000
12	25.4500	13.0500	61.5385	20.2050	13.9500	60.0000
11	26.1000	13.9000	61.5385	23.4450	17.5950	60.0000
10	26.5500	14.6500	61.5385	26.7300	21.2850	60.0000
9	26.6500	15.3500	61.5385	29.8800	24.9750	60.0000
8	26.4500	15.8000	61.5385	33.1200	28.7550	60.0000
7	25.9500	16.1000	61.5385	36.1800	32.5350	60.0000
6	24.9500	16.0500	61.5385	39.2400	36.2700	60.0000
5	23.4000	15.6000	61.5385	42.2100	40.0500	60.0000
4	21.0500	14.3500	61.5385	44.9550	43.7400	60.0000
3	17.7000	12.1000	61.5385	47.2500	47.0700	60.0000
2	12.6500	8.2500	61.5385	48.1500	48.7800	60.0000
1	1.9500	1.1500	61.5385	25.1100	14.6700	60.0000



Gambar 4.26 Grafik Perbandingan Simpangan Antar Lantai

Dari simpangan yang telah didapatkan di kedua struktur, berikut perhitungan perbandingan dari kedua struktur:

Tabel 4.42 Rekapitulasi Perbandingan Simpangan Antar Lantai

Gempa	Fixed Base (mm)	Isolated Base (mm)	Selisih
			%
Arah X	21.904	31.969	46%
Arah Y	12.829	27.643	115%
Drift Limit	61.5385	60.0000	-2%

4.10.2 Gaya Geser Dasar

Perbandingan selanjutnya yaitu gaya geser dasar struktur. Pada base reaction terdapat perbedaan terkait nilai R yang digunakan serta syarat Vs minimum untuk struktur isolated base memiliki syarat syarat tambahan. Berikut hasil analisa base reaction dari kedua struktur:

Tabel 4.43 Perbandingan Base Reaction

Gempa	Fixed Base	Isolated Base	Selisih
	R = 6	R = 2	
	kN		%
Arah X	4809.246	4569.340	-5%
Arah Y	5421.889	4634.300	-15%

Dari kedua hasil yang didapatkan, struktur isolated base memiliki base reaction yang lebih kecil dibandingkan dengan fixed base. Perbedaan tersebut didapatkan karena berat efektif struktur serta nilai Cs yang digunakan pada isolated base lebih kecil karena pengaruh adanya shearwall serta periode isolated base lebih besar, sehingga menghasilkan gaya geser dasar yang lebih kecil.

4.10.3 Periode Struktur

Perbandingan selanjutnya yaitu mengenai periode struktur. Berikut perbedaan periode struktur dari kedua analisa struktur:

Tabel 4.44 Perbandingan Periode Struktur

Struktur	Fixed Base	Isolated Base	Selisih
	detik		%
Arah X	1.770	4.670	164%
Arah Y	1.570	4.570	191%

Dari kedua hasil analisa struktur yang didapatkan, dapat disimpulkan periode struktur isolated base memiliki periode yang lebih besar jika dibandingkan dengan struktur jepit.

4.10.4 Perbandingan Berat Efektif Struktur

Perbandingan berat efektif struktur didasarkan pada berat dengan kombinasi 1.2D+0.25L. Berikut perbandingan berat efektif kedua struktur:

Tabel 4.45 Perbandingan Berat Efektif

Gempa	Fixed Base	Isolated Base	Selisih
	kN		%
Berat Efektif	103640.823	96663.056	-7%

Berdasarkan berat efektif, struktur isolated base memiliki berat yang lebih ringan. Hal ini dapat membuat desain struktur bawah/pondasi lebih hemat.

4.10.5 Perbandingan Desain Elemen Struktur Utama

Berdasarkan desain elemen struktur utama yaitu balok, kolom dan shearwall yang telah di desain pada subbab sebelumnya. Berikut perbandingan desain elemen struktur utama:

- Balok

Berikut hasil perbandingan balok struktur fixed based dan isolated base:

Struktur Fixed Base					Struktur Isolated Base				
Tipe	BI A		BI B		Tipe	BI A		BI B	
Lokasi	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan	Lokasi	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
Detail Penampang					Detail Penampang				
Dimensi	500 x 700	500 x 700	500 x 700	500 x 700	Dimensi	500 x 700	500 x 700	500 x 700	500 x 700
Panjang	7250	7250	6700	6700	Panjang	7250	7250	7250	7250
Tinggi Pracetak	550	550	550	550	Tinggi Pracetak	550	550	550	550
Tulangan Atas	10D32	6D32	6D32	2D32	Tulangan Atas	9D32	2D32	9D32	2D32
Tulangan Nonkomposit	2D22	2D22	2D22	2D22	Tulangan Nonkomposit	2D22	2D22	2D22	2D22
Tulangan Bawah	10D32	7D32	7D25	5D25	Tulangan Bawah	8D29	5D29	8D29	5D29
Sengkang	D13-75	D13-100	D13-100	D13-150	Sengkang	D13-150	D13-200	D13-150	D13-200

Struktur Fixed Base					Struktur Isolated Base				
Tipe	BI C		BI D		Tipe	BI C		BI D	
Lokasi	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan	Lokasi	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
Detail Penampang					Detail Penampang				
Dimensi	500 x 700	500 x 700	500 x 700	500 x 700	Dimensi	500 x 700	500 x 700	500 x 700	500 x 700
Panjang	4650	4650	3125	3125	Panjang	4650	4650	7250	7250
Tinggi Pracetak	550	550	550	550	Tinggi Pracetak	550	550	550	550
Tulangan Atas	6D25	2D25	4D25	2D32	Tulangan Atas	8D32	2D32	8D32	2D32
Tulangan Nonkomposit	2D22	2D22	2D22	2D22	Tulangan Nonkomposit	2D22	2D22	2D22	2D22
Tulangan Bawah	6D25	5D25	7D25	5D25	Tulangan Bawah	8D29	3D29	7D29	3D29
Sengkang	D13-100	D13-150	D13-150	D13-150	Sengkang	D13-150	D13-200	D13-150	D13-200

Struktur Fixed Base			Struktur Isolated Base		
Tipe	CB		Tipe	CB	
Lokasi	Tumpuan	Lapangan	Lokasi	Tumpuan	Lapangan
Detail Penampang			Detail Penampang		
Dimensi	500 x 700	500 x 700	Dimensi	500 x 700	500 x 700
Panjang	2500	2500	Panjang	2500	2500
Tinggi Pracetak	550	550	Tinggi Pracetak	550	550
Tulangan Atas	2D25	2D25	Tulangan Atas	2D25	2D25
Tulangan Nonkomposit	2D22	2D22	Tulangan Nonkomposit	2D22	2D22
Tulangan Bawah	2D25	2D25	Tulangan Bawah	2D25	2D25
Sengkang	D13-150	D13-150	Sengkang	D13-200	D13-150

Gambar 4.27 Perbandingan Desain Balok

Berdasarkan desain yang telah didapatkan, struktur fixed base memiliki desain yang lebih boros pada balok induk A jika dilihat dari penggunaan tulangan utama dan tulangan sengkangnya. Akan tetapi balok induk B, C, D, dan CB struktur isolated base memiliki desain yang lebih boros.

- Kolom

Berikut hasil perbandingan kolom struktur fixed based dan isolated base:

Struktur Fixed Base					Struktur Isolated Base				
Type	K1		K2		Type	K1		K2	
Lokasi	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan	Lokasi	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan
Detail Penampang					Detail Penampang				
Dimensi	800 x 600	800 x 600	800 x 500	800 x 500	Dimensi	800 x 600	800 x 600	800 x 500	800 x 500
Panjang	4000	4000	4000	400	Panjang	4000	4000	4000	400
Tulangan Utama	28D36	28D36	20D32	20D32	Tulangan Utama	24D32	24D32	20D32	20D32
Sengkang	4D16-100	2D16-150	4D16-125	2D16-150	Sengkang	4D16-150	2D16-150	2D16-100	2D16-150

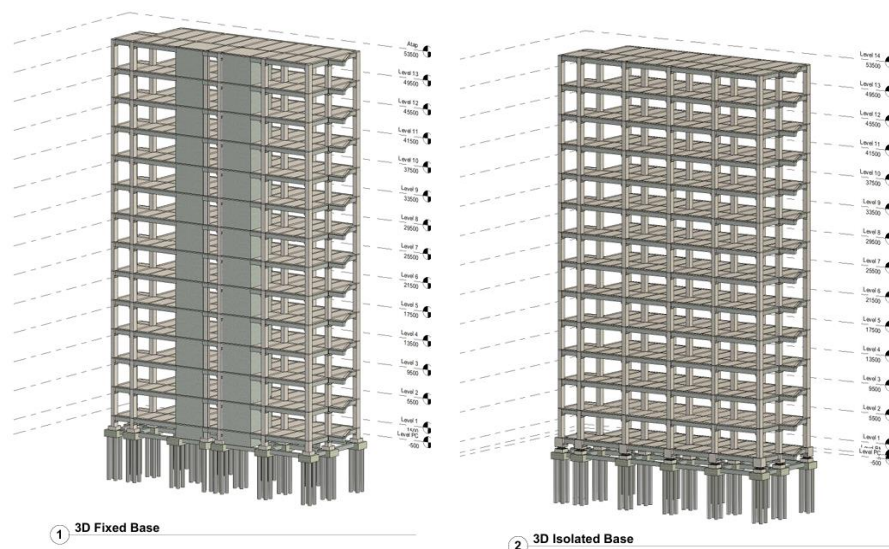
Type	K Pedestal
Detail Penampang	
Dimensi	1250 x 1250
Panjang	1500
Tulangan Utama	24D32
Sengkang	4D16-100

Gambar 4.28 Perbandingan Desain Kolom

Berdasarkan kolom yang digunakan, Struktur fixed base memiliki desain yang lebih boros karena penggunaan tulangan utama yang lebih banyak pada kolom K1. Akan tetapi pada struktur isolated base, terdapat penambahan kolom pedestal untuk menyesuaikan struktur atas dengan base isolator yang akan digunakan, sehingga memerlukan dimensi kolom yang lebih besar dibandingkan struktur fixed base.

4.10.6 Perbandingan Volume

Perbandingan selanjutnya yaitu mengenai volume struktur primer seperti balok, kolom, dan dinding geser. Volume yang didapatkan berasal dari output volume yang didapatkan dari program bantu pemodelan yaitu Autodesk Revit 2024. Berikut pemodelan 3D menggunakan program bantu Autodesk Revit 2024.



Gambar 4.29 Pemodelan 3D Menggunakan Autodesk Revit 2025

Dengan menggunakan program bantu Autodesk Revit 2024, didapatkan volume elemen struktur primer balok dan kolom. Berikut hasil dan perbandingan volume elemen struktur primer:

Tabel 4.46 Perbandingan Volume

Struktur	Lokasi	Fixed Base	Isolated Base	Selisih
Beton (m ³)	Balok	620.34	669.9	-22%
	Kolom	455.64	461.2	
	Shearwall	375.12	-	
	Total	1451.1	1131.1	
Tulangan (kg)	Balok	229333.44	196320.7	-27%
	Kolom	230121.71	187797.1	
	Shearwall	66187.55	-	
	Total	525642.7	384117.8	

Dari volume elemen struktur primer yang digunakan, dapat dilihat bahwa pada struktur isolated base memiliki desain yang lebih hemat jika dibandingkan dengan struktur fixed base. Hal ini dapat terjadi karena struktur fixed base menggunakan sistem pemikul momen SRPMK sedangkan isolated base SRPMM.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan dalam studi ini, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pemodelan struktur bangunan menggunakan program bantu analisa struktur untuk struktur fixed base maupun isolated. Pada model fixed base seluruh pengecekan memenuhi kriteria yang disyaratkan kecuali mengenai mode struktur, dimana pada mode 1 struktur fixed base mengalami torsi. Hal ini dapat terjadi karena antara pusat massa dan pusat kekakuan struktur tidak berimpit sehingga eksentrisitas yang besar menyebabkan gedung mengalami rentan terhadap torsi. Pada model isolated base seluruh pengecekan dilakukan termasuk pengecekan terhadap ketidakberaturan struktur. Seluruh pengecekan telah dilakukan dan seluruh pengecekan memenuhi kriteria.
2. Pada studi ini akan digunakan 2 type lead rubber bearing dengan tipe LH090G4-H untuk type A dan LH085G4-B untuk type B. Untuk merencanakan base isolator yang digunakan, perlu mendapatkan gaya aksial dari tiap kolom. Kemudian dilakukan dengan cara trial and error dengan melakukan pengecekan kapasitas aksial, perpindahan maksimum, dan periode efektif. Isolator yang digunakan telah memenuhi seluruh persyaratan.
3. Metode analisis riwayat waktu atau time history analysis akan digunakan pada studi ini untuk melakukan pengecekan kapasitas base isolator yang digunakan terhadap data gaya gempa yang di inputkan. Data gempa didapatkan dari website Natural Hazard Risks and Resiliency Research Center (NHR3). Kriteria yang digunakan akan merujuk pada Peta Deagregasi Bahaya Gempa Indonesia yang dirilis oleh Pusat Studi Gempa Nasional. Spectral matching data gempa yang telah didapatkan akan menggunakan program bantu analisa struktur Setelah dilakukan running pada model. Seluruh riwayat gempa yang didapatkan masih berada dalam kapasitas base isolator yang digunakan.
4. Hasil analisis menunjukkan bahwa struktur isolated base memiliki karakteristik berbeda dibandingkan dengan struktur fixed base. Perpindahan arah X dan Y pada struktur isolated base meningkat signifikan, masing-masing sebesar 845% dan 1310%, terutama pada dasar struktur. Simpangan antar tingkat juga lebih besar, dengan peningkatan 46% di arah X dan 115% di arah Y, yang dominan terjadi pada tingkat bawah dan dapat diatasi dengan memperkuat struktur bawah. Di sisi lain, gaya geser dasar pada struktur isolated base lebih kecil, yaitu turun 5% di arah X dan 15% di arah Y, disebabkan oleh berat efektif yang lebih ringan dan periode yang lebih besar dibanding fixed base. Periode struktur isolated base mengalami peningkatan signifikan, sebesar 164% (2,6 kali) di arah X dan 191% (2,9 kali) di arah Y. Selain itu, volume beton pada struktur isolated base berkurang sebesar 22%, dan kebutuhan tulangan menurun sebesar 27% dibandingkan dengan struktur fixed base, menunjukkan efisiensi material yang signifikan.

5. Pengaruh penggunaan base isolator terhadap kebutuhan volume cukup signifikan dikarenakan struktur fixed base menggunakan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) sedangkan struktur isolated base menggunakan sistem rangka pemikul momen menengah (SRPMM). Penggunaan beton pada struktur isolated base berkurang sebesar 22% dan penggunaan tulangan berkurang sebesar 27%.

Berdasarkan hasil analisis, dapat disimpulkan bahwa penggunaan base isolator memberikan keuntungan signifikan dibandingkan struktur fixed base. Keunggulan ini terlihat dari efisiensi biaya yang lebih baik akibat pengurangan kebutuhan material beton dan tulangan, serta peningkatan performa struktur yang lebih optimal dalam merespons gaya gempa. Oleh karena itu, sistem isolated base dapat menjadi alternatif desain yang lebih ekonomis dan efektif untuk bangunan tahan gempa.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan berdasarkan hasil pengerjaan studi yang telah dilakukan mengenai sistem isolasi dasar dan pracetak adalah sebagai berikut:

1. Dapat dilakukan studi perbandingan struktur berdasarkan biaya dan waktu pelaksanaan sehingga terdapat parameter lain untuk membandingkan keefektifan antara struktur fixed base dan isolated base.
2. Dapat dilakukan studi lebih lanjut terkait penggunaan sistem peredam gempa tipe lain seperti High Dumper Rubber Bearing (HDRB), Friction Pendulum System, dan sistem peredam gempa lainnya.
3. Dapat dilakukan penyelidikan terkait pengaruh penggunaan base isolator terhadap elemen non struktural seperti *mechanical*, *electrical*, dan *plumbing*.
4. Desain sambungan pracetak yang digunakan perlu diperhatikan pada beberapa aspek karena sambungan yang digunakan dari *PEIKKO Group* memiliki persyaratan sesuai *code* dari negaranya yaitu Finlandia.

DAFTAR PUSTAKA

- Admilhusia, D. (2020). EFISIENSI BIAYA DAN WAKTU PENGGUNAAN BETON PRACETAK DI PROYEK PEMBANGUNAN LIVING PLAZA – BEKASI. *Jurnal KaLIBRASI - Karya Lintas Ilmu Bidang Rekayasa Arsitektur, Sipil, Industri*, 3(2), Article 2. <https://doi.org/10.37721/kalibrasi.v3i2.743>
- Akbar, I. A. (2018). *DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG HOTEL SWISS-BELINN DENGAN METODE BETON PRACETAK MENGGUNAKAN SAMBUNGAN BASAH BERDASARKAN STANDARD ACI 318M-14*.
- Antoniou, S. (2022, Februari 1). Seismic Isolation. *Seismosoft*. <https://seismosoft.com/seismic-isolation/>
- Avcil, F. (2023). Investigation of Precast Reinforced Concrete Structures during the 6 February 2023 Türkiye Earthquakes. *Sustainability*, 15(20), Article 20. <https://doi.org/10.3390/su152014846>
- Badan Standarisasi Nasional. (2019a). *SNI 1726:2019 Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung*.
- Badan Standarisasi Nasional. (2019b). *SNI 2847:2019, Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan*.
- Badan Standarisasi Nasional. (2020). *SNI 1727 Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain*.
- Belleri, A., Brunesi, E., Nascimbene, R., Pagani, M., & Riva, P. (2015). Seismic Performance of Precast Industrial Facilities Following Major Earthquakes in the Italian Territory. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 29(5), 04014135. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CF.1943-5509.0000617](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0000617)

- Chen, P., Wang, B., Zhang, Z., Li, T., & Dai, K. (2023). A generalized model of lead rubber bearing considering large strain stiffening and degradation. *Engineering Structures*, 275, 115264. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2022.115264>
- Ghayeb, H. H., Razak, H. A., & Sulong, N. H. R. (2017). Development and testing of hybrid precast concrete beam-to-column connections under cyclic loading. *Construction and Building Materials*, 151, 258–278. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.06.073>
- Habieb, A. B. (2023). *Struktur Gedung Tahan Gempa Dengan Sistem Isolasi*.
- Hameed, A., Koo, M.-S., Do, T. D., & Jeong, J.-H. (2008). Effect of lead rubber bearing characteristics on the response of seismic-isolated bridges. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 12(3), 187–196. <https://doi.org/10.1007/s12205-008-0187-9>
- Kelly, T. (2001). *BASE ISOLATION OF STRUCTURES DESIGN GUIDELINES DESIGN GUIDELINES DESIGN GUIDELINES DESIGN GUIDELINES | Oguzhan Öner—Academia.edu*.
https://www.academia.edu/4948840/BASE_ISOLATION_OF_STRUCTURES_DESIGN_GUIDELINES_DESIGN_GUIDELINES_DESIGN_GUIDELINES_DESIGN_GUIDELINES?auto=download
- Munot, S. (2021). *Comparison between Conventional Seismic analysis and Lead Rubber Bearing Base Isolation system using ETABS software*.
https://www.academia.edu/66901443/Comparison_between_Conventional_Seismic_analysis_and_Lead_Rubber_Bearing_Base_Isolation_system_using_ETABS_software
- Naeim, F., & Kelly, J. (1999). *Design of Seismic Isolated Structures From Theory to Practice*. Precast/Prestressed Concrete Institute. (2010). *PCI Design Handbook, 7th Edition*.
- Rahman, M. A. (2023). *EARTHQUAKE ANALYSIS OF HIGH RISE BUILDING USING LEAD RUBBER ISOLATION TECHNIQUE*.

Ridhotullah, S. A. G. (2018). *PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN GEDUNG PASCA SARJANA UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MALANG (UMM) DENGAN MENGGUNAKAN METODE BETON PRACETAK (PRECAST) PADA ELEMEN STRUKTUR BALOK DAN PELAT.*

Zhao, B., Taucer, F., & Rossetto, T. (2009). Field investigation on the performance of building structures during the 12 May 2008 Wenchuan earthquake in China. *Engineering Structures*, *31*(8), 1707–1723. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2009.02.039>

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Muhamad Rizki Ismail, yang akrab disapa Mail atau Ismail, adalah mahasiswa program studi Teknik Sipil di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) dengan konsentrasi dalam Teknik Struktur. Ia memiliki minat besar pada struktur gedung tahan gempa serta teknologi Building Information Modeling (BIM). Selama masa studinya, Ismail aktif mengikuti berbagai pelatihan dan kompetisi, termasuk sebagai Finalis Kompetisi BIM Nasional di Universitas Hasanuddin dan Kompetisi Desain Jembatan NTU di Nanyang Technological University.

Selain prestasi akademik, Ismail memiliki pengalaman lain yang relevan, termasuk sebagai Asisten Penulis Dosen dalam penulisan buku berjudul *Rekayasa Jembatan Bentang Panjang* dan turut serta membantu beberapa proyek dengan dosen. Ia juga pernah menjadi Structural Engineer Intern di PT Bina Karya serta mengikuti kolaborasi antara ITS dan PT Krakatau Steel dalam program inovasi Kemendikbud RI. Dalam organisasi, Ismail menjabat sebagai Wakil Kepala Departemen Hubungan Luar HMS FTSP ITS dan aktif sebagai Pemandu LKMM. Kemampuan teknis yang dikuasainya meliputi perangkat lunak seperti Autodesk Revit, ETABS, SAP2000, dan Cubicost Glodon. Ismail berkomitmen untuk terus mengembangkan keterampilan dan berkontribusi dalam proyek-proyek menantang di bidang Teknik Sipil.

Apabila terdapat kritik dan saran maupun hal yang dapat didiskusikan, penulis dapat dihubungi melalui e-mail: muhamadrizkiismail1202@gmail.com.