

TUGAS AKHIR

**PENGARUH PEMODELAN BASEMENT TERHADAP
RESPON SEISMIK PADA GEDUNG PERKANTORAN
(STUDI KASUS GEDUNG BRI CABANG
ADISUCIPTO)**

***(THE EFFECT OF BASEMENT MODELING ON
SEISMIC RESPONSE IN OFFICE BUILDINGS (CASE
STUDY OF BRI ADISUCIPTO BRANCH OFFICE)***

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil**



**Artek Aryanto
17511146**

**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2023**

TUGAS AKHIR

**PENGARUH PEMODELAN BASEMENT TERHADAP
RESPON SEISMIC PADA GEDUNG PERKANTORAN
(STUDI KASUS GEDUNG BRI CABANG
ADISUCIPTO)**

**(THE EFFECT OF BASEMENT MODELING ON
SEISMIC RESPONSE IN OFFICE BUILDINGS (CASE
STUDY OF BRI ADISUCIPTO BRANCH OFFICE))**

Disusun Oleh

Artek Aryanto

17511146


Telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji pada tanggal **28 Agustus 2023**


Oleh Dewan Penguji




Pembimbing I

 30/8/23
Malik Mushthofa, S.T., M.Eng.
NIK : 185111302


Penguji I

 30.08.23
Astriana Hardawati, S.T., M.Eng.
NIK : 165111301

Penguji II


Elvis Saputra, S.T., M.T.
NIK : 205111302

Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

 30/8/23
Yunalia Munzafi, S.T., M.T., Ph.D.
NIK : 095110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya buat sebagai syarat untuk memenuhi salah satu persyaratan pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Bagian-bagian tertentu dalam penulisan laporan tugas akhir yang saya kutip dari hasil karya orang telah dicantumkan sumbernya secara jelas dan telah sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian dari laporan tugas akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau terindikasi adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 28 Agustus 2023

Yang membuat pernyataan,



Artek Aryanto
(17511146)

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah Ta'ala atas segala rahmatnya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul *Pengaruh Pemodelan Basement Terhadap Respon Seismik Pada Gedung Perkantoran (Studi Kasus Gedung BRI Cabang Adisucipto)*. Penyusunan Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menempuh gelar sarjana strata satu di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini, penulis banyak mendapat bantuan dari berbagai pihak dari segi bimbingan, arahan, serta saran maupun kritik demi terselesaikannya laporan Tugas Akhir ini dengan baik. Untuk itu, pada kesempatan kali ini penyusun ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D., selaku Ketua Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
2. Bapak Malik Mushthofa, S.T., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir, yang telah membimbing, mengarahkan, dan memberi masukan pada penyusunan Tugas Akhir.
3. Ibu Astriana Hardawati, S.T., M.Eng. dan Bapak Elvis Saputra, S.T., M.T. selaku dosen penguji yang telah memberi masukan, saran dan mengevaluasi penelitian Tugas Akhir agar lebih baik.
4. Kedua orang tua saya, Bapak Eko Haryanto dan Ibu Suasih yang selalu memberi dukungan baik moril maupun material.
5. Saya mengucapkan terima kasih kepada dik Qoimatuddina zakiiyyah selaku calon saya yang selalu mendukung dan memberikan semangat untuk melalui setiap rencana hidup yang sudah saya buat.

6. Semua pihak yang telah memberikan dukungan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini, yang tidak dapat disebutkan satu persatu. Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya.

Akhirnya penulis berharap agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pihak yang membaca.

Yogyakarta, 28 Agustus 2023

Penulis,



Artek Aryanto

17511146

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xiii
ABSTRAK	xv
<i>ABSTRACT</i>	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Tinjauan Umum	5
2.2 Redesain Gedung	5
2.3 Gedung Bertingkat dengan Lahan Parkir Basement	6
2.4 Gaya Dalam dan Simpangan antar Lantai	7
2.5 Perbandingan Penelitian Redesain Gedung	8
BAB III LANDASAN TEORI	10
3.1 Analisis Stuktur	10
3.2 Ketentuan Pembebanan	10
3.3 Kombinasi Pembebanan	26
3.4 Respon Struktur	27
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN	30

4.1 Jenis Penelitian	30
4.2 Denah Struktur Gedung	30
4.3 Metode Pengumpulan Data	38
4.3.1 Data Primer	38
4.3.2 Data Sekunder	38
4.4 Metode Analisis	38
4.4.1 Pemodelan Struktur	38
4.4.2 Analisis Struktur	38
4.5 Bagan Alir	39
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN	42
5.1 Pemodelan Struktur	42
5.2 Data Struktur	43
5.2.1 Balok	43
5.2.2 Kolom	43
5.2.3 Pelat	44
5.2.4 Dinding Geser	44
5.3 Pembebanan	44
5.3.1 Beban Mati	44
5.3.2 Beban Hidup	45
5.3.3 Beban Atap	46
5.3.4 Beban Dinding Basemen	49
5.4 Beban Gempa	53
5.4.1 Statik Ekuivalen	53
5.4.2 Respon Spektrum	54
5.5 Analisis Ketidakberaturan Horizontal	59
5.6 Simpangan Antar Tingkat	64
5.7 Pengaruh P-Delta	68
5.8 Pembahasan	72
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	74
6.1 Kesimpulan	74
6.2 Saran	74

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Redesain Gedung	9
Tabel 3.1 Beban Hidup Terdistribusi Merata Minimum dan Beban Hidup Terpusat Minimum	12
Tabel 3.2 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung	13
Tabel 3.3 Faktor Keutamaan Gempa	15
Tabel 3.4 Klasifikasi Situs	17
Tabel 3.5 Koefisien Situs, F_a	18
Tabel 3.6 Koefisien Situs F_v	18
Tabel 3.7 Kategori Desain Seismik Berdasarkan <i>SDS</i>	20
Tabel 3.8 Kategori Desain Seismik Berdasarkan <i>SD1</i>	21
Tabel 3.9 Ketidakberaturan Horizontal pada Struktur Berdasarkan SNI 1726: 2019	23
Tabel 3.10 Modulus Reaksi Tanah (Bowless, 1996)	26
Tabel 5.1 Kodefikasi Balok dan Tie beam	43
Tabel 5.2 Kodefikasi Kolom	44
Tabel 5.3 Dinding Geser	44
Tabel 5.4 Beban Hidup Merata	46
Tabel 5.5 Beban Rangka Atap	48
Tabel 5.6 Konversi Tinggi Gedung pada Lantai Basemen	50
Tabel 5.7 Rekapitulasi Nilai C dan D pada ETABS v 20	52
Tabel 5.8 Berat Bangunan	53
Tabel 5.9 Pengecekan Ketidakberaturan Torsi Arah X	59
Tabel 5.10 Pengecekan Ketidakberaturan Torsi Arah Y	60
Tabel 5.11 Pengecekan Ketidakberaturan Torsi Arah X	60
Tabel 5.12 Pengecekan Ketidakberaturan Torsi Arah Y	61
Tabel 5.13 Simpangan antar Lantai Arah X Model Basement	65
Tabel 5.14 Simpangan antar Lantai Arah X Model Tanpa Basement	65
Tabel 5.15 Simpangan antar Lantai arah Y Model Basement	66

Tabel 5.16 Simpangan antar Lantai arah Y Model Tanpa Basement	67
Tabel 5.17 Tabel Koefisien Stabilitas Arah X Model Basement	69
Tabel 5.18 Tabel Koefisien Stabilitas Arah X Model Tanpa Basement	69
Tabel 5.19 Tabel Koefisien Stabilitas Arah Y Model Basement	70
Tabel 5.20 Tabel Koefisien Stabilitas Arah Y Model Tanpa Basement	70

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Gambar Peta Wilayah Gempa Ss	15
Gambar 3.2 Gambar Peta Wilayah Gempa S1	16
Gambar 3.3 Spektrum Respons Desain	20
Gambar 3.4 Ketidakberaturan Torsi Horizontal dan Faktor Torsi	24
Gambar 3.5 <i>Drift Ratio</i>	28
Gambar 4.1 Denah Struktur Elevasi -4,700m.	30
Gambar 4.2 Denah Struktur Elevasi -3,300m.	31
Gambar 4.3 Denah Struktur Elevasi -1,700m.	31
Gambar 4.4 Denah Struktur Elevasi -0,050m	32
Gambar 4.5 Denah Struktur Elevasi +4,150m	32
Gambar 4.6 Denah Struktur Elevasi +8,350m	33
Gambar 4.7 Denah Struktur Elevasi +12,550m	33
Gambar 4.8 Denah Potongan A-A	34
Gambar 4.9 Denah Potongan A'-A'	34
Gambar 4.10 Denah Potongan B-B	35
Gambar 4.11 Denah Potongan B'-B'	35
Gambar 4.12 Denah Potongan C-C	36
Gambar 4.13 Denah Potongan D-D	36
Gambar 4.14 Denah Potongan E-E	37
Gambar 4.15 Denah Potongan E'-E'	37
Gambar 4.16 Bagan Alir Pemodelan	40
Gambar 5.1 Pemodelan Gedung dengan Basement	42
Gambar 5.2 Pemodelan Gedung tanpa Basement	42
Gambar 5.3 Gambar Struktur Atap	47
Gambar 5.4 Gaya yang Bekerja pada Dinding Basemen	49
Gambar 5.5 Data Tekanan Tanah pada ETABS	51
Gambar 5.6 Respon Spektrum Yogyakarta	57
Gambar 5.7 Ketidakberaturan Horizontal Arah X	61

Gambar 5.8 Ketidakberaturan Horisontal Arah Y	62
Gambar 5.9 Bentuk Gedung	63
Gambar 5.10 Simpangan antar Tingkat Arah X terhadap Simpangan Tingkat Izin	67
Gambar 5.11 Simpangan antar Tingkat Arah Y terhadap Simpangan Tingkat Izin	68
Gambar 5.12 Pengecekan P-Delta Arah X	71
Gambar 5.13 Pengecekan P-Delta Arah Y	71
Gambar 5.14 Gaya Gempa Basement	71

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

<i>Cd</i>	= Faktor pembesaran simpangan lateral
<i>Cs</i>	= Koefisien respon seismik yang ditentukan
<i>c</i>	= Nilai kohesi tanah pada lapisan dasar pondasi yang ditinjau
<i>DL</i>	= Pengaruh dari beban mati
<i>E</i>	= Pengaruh beban seismik horisontal dan vertikal
<i>Ex</i>	= Pengaruh gaya seismik horisontal
<i>Ey</i>	= Pengaruh gaya seismik vertikal
<i>Fa</i>	= Koefisien situs untuk periode pendek yaitu pada periode 0,2 detik
<i>fu</i>	= Tegangan tarik batas material
<i>Fv</i>	= Koefisien situs untuk periode panjang (pada periode 1 detik)
<i>fy</i>	= Tegangan tarik leleh material
<i>g</i>	= Percepatan gravitasi (m/detik ²)
<i>h</i>	= Tinggi rata-rata struktur diukur dari dasar hingga level atap
<i>hn</i>	= Batasan tinggi struktur
<i>Ie</i>	= Faktor keutamaan gempa
<i>k</i>	= Kekakuan gedung
<i>Ks</i>	= Modulus reaksi tanah dasar
<i>LL</i>	= Pengaruh dari beban hidup
<i>PGA</i>	= Percepatan muka tanah puncak MCE_G terpeta
<i>qa</i>	= Tegangan izin tanah
<i>R</i>	= Koefisien modifikasi respons
<i>SA</i>	= Batuan keras
<i>SB</i>	= Batuan
<i>SC</i>	= Tanah keras, sangat padat, dan batuan lunak
<i>SD</i>	= Tanah sedang
<i>SE</i>	= Tanah lunak
<i>SF</i>	= Tanah khusus yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisa respon spesifik situs

- S_S = Parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada periode pendek dengan redaman 5 persen
 S_I = Parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada periode 1 detik dengan redaman 5 persen
 S_{DS} = Parameter percepatan respons spektral dari peta gempa pada periode pendek dengan redaman 5 persen
 S_{DI} = Parameter percepatan respons spektral dari peta gempa pada periode 1 detik dengan redaman 5 persen
 S_{MS} = Parameter percepatan respon spektral MCE pada periode pendek yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs
 S_{MI} = Parameter percepatan respon spektral MCE pada periode 1 detik yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs
 T = Periode fundamental bangunan
 $T_{a\ max}$ = Nilai batas atas perioda fundamental pendekatan
 $T_{a\ min}$ = Nilai batas bawah perioda fundamental pendekatan
 V_t = Nilai desain dari gaya geser dasar akibat seismik
 V_1 = Nilai desain gaya geser dasar seismik untuk ragam fundamental pada arah respons yang ditentukan
 W_t = Berat total gedung
 δx = Defleksi pusat massa di tingkat x
 Δ = Simpangan antar tingkat desain
 β = Rasio redaman viskos efektif dari sistem struktur
 Δa = Simpangan antar tingkat yang diizinkan
 ρ = Faktor reduksi struktur
 θ_{max} = Nilai maksimum dari koefisien stabilitas untuk pengaruh P-Delta
 \emptyset = Sudut geser tanah
 γ = Berat jenis tanah
CQC = *Complete Quadratic Combination*
SRPMK = Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus
SNI = Standar Nasional Indonesia

ABSTRAK

Struktur gedung yang dibuat pada wilayah rawan gempa harus memenuhi persyaratan sebagai bangunan tahan gempa, dimana bangunan tahan gempa mempunyai persyaratan untuk tidak mengalami kegagalan struktur pada level gempa kecil, menengah dan besar. Keberadaan *basement* pada gedung-gedung seperti gedung perkantoran menjadi solusi praktis untuk mengatasi keterbatasan lahan. Basement pada gedung, secara struktural menahan beban lateral akibat tekanan tanah, beban gravitasi dari struktur atas dan efek beban gempa terhadap tekanan tanah. Struktur basement yang diperhitungkan turut bekerja bersama dengan struktur atas dalam merespon getaran gempa dapat mempengaruhi respon seismik bagian struktur atas bangunan tersebut. Efek yang ditimbulkan tersebut dapat membesarkan atau memperkecil respon pada struktur atas.

Penelitian ini membandingkan efek dari basement yang dimodelkan menjadi satu kesatuan dengan struktur atas dibandingkan dengan pemodelan konvensional yang mengabaikan *sub-structure* dalam merespon beban gempa. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis *response spectrum*. Analisis respon seismik meliputi ketidakberaturan horisontal, simpangan antar tingkat, dan pengecekan P-Delta.

Hasil dari studi ini, pemodelan bangunan yang disertai dengan basement menghasilkan kenaikan respon seismik pada ketidakberaturan horisontal (arah x dan y), sebesar 6 % - 50 %. Pada simpangan antar tingkat model *basement* lebih besar 74,678% dibandingkan model *nonbasement*. Pada pengecekan P-Delta model *basement* lebih besar 74,51% dibandingkan model *nonbasement*.

Kata Kunci: Gaya gempa, *Basement*, Respon seismik

ABSTRACT

Building structures made in earthquake-prone areas must meet the requirements as earthquake-resistant buildings, where earthquake-resistant buildings have requirements not to experience structural failure at the level of small, medium and large earthquakes. The existence of basements in buildings such as office buildings is a practical solution to overcome limited land. The basement in the building, structurally withstands lateral loads due to ground pressure, the gravity load of the upper structure and the effect of earthquake loads on ground pressure. The basement structure that is calculated to work together with the upper structure in responding to earthquake vibrations can affect the seismic response of the upper structure of the building. The effect caused can magnify or minimize the response to the upper structure.

This study compared the effects of a basement modeled as a whole with an upper structure compared to conventional modeling that ignores sub-structures in response to earthquake loads. The method used in this study is response spectrum analysis. Seismic response analysis includes horizontal irregularities, inter-level deviations, and P-Delta checking.

The results of this study, modeling of buildings accompanied by basements resulted in an increase in seismic response to horizontal irregularities (X and Y directions), by 6% - 50%. The deviation between basement model levels is 74.678% greater than the nonbasement model. In checking P-Delta the basement model is 74.51% larger than the nonbasement model.

Keyword: *Earthquake, Basement, Seismic response*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam dunia rekayasa struktural, perancangan dan pembangunan gedung merupakan aspek yang esensial dalam memastikan infrastruktur manusia dapat berfungsi dengan optimal. Pada tahap perancangan dibutuhkan suatu perencanaan yang tepat dengan menerapkan berbagai standar operasional sesuai prosedur yang telah ditetapkan. Demi keamanan struktur gedung diharapkan mampu menerima gaya gempa pada level tertentu tanpa terjadi kerusakan yang signifikan pada struktur apabila bangunan mengalami keruntuhan (disebabkan beban gempa melebihi beban gempa rencana), masih mampu memberikan perilaku nonlinier pada kondisi pasca-elastik sehingga tingkat keamanan bangunan terhadap gempa dan keselamatan jiwa penghuninya lebih terjamin (Pratama & Wibowo, 2014).

Gempa bumi adalah bencana alam yang memiliki potensi merusak infrastruktur dan properti dengan dampak ekonomi yang serius, serta mengancam nyawa manusia secara signifikan (Xu & Lu, 2018). Kekuatan gempa bumi memiliki kemampuan untuk menyebabkan kerusakan yang besar dalam hitungan detik (Xia dkk, 2021). Gempa bumi dapat merusak infrastruktur seperti jembatan, pelabuhan, dan jaringan pipa, bangunan seperti rumah tinggal, apartemen, sekolah, fasilitas kesehatan, dan bangunan industri (Kim dkk., 2022). Selain dampak tersebut, gempa bumi juga mampu memicu bencana lain seperti tsunami, likuifaksi, dan tanah longsor (Zhou dkk., 2021). Salah satu faktor penyebab gempa bumi adalah terdapatnya pergesekan pada kerak bumi.

Daniel L. Schodek dalam Pratama & Wibowo (2014) menyatakan bahwa gempa bumi dapat terjadi karena fenomena getaran dengan kejutan pada kerak bumi. Faktor utama penyebab gempa adalah benturan pergesekan kerak bumi yang mempengaruhi permukaan bumi. Gempa bumi menjalar dalam bentuk gelombang. Gelombang ini mempunyai energi yang menyebabkan bangunan

diatasnya bergetar. Getaran inilah yang menggerakkan struktur bagian bawah bangunan baik yang memiliki basement dan tanpa basement.

Basement merupakan ruang bangunan yang terletak di bawah tanah. Keberadaan basement pada gedung-gedung seperti gedung perkantoran menjadi solusi praktis untuk mengatasi keterbatasan lahan. Pada saat terjadi gempa, *basement* yang terletak di dalam tanah mengalami perubahan perilaku dinamis seperti periode dan modus getaran (Caglar dkk., 2015). Hal ini menunjukkan bahwa ketika terjadi gempa pergerakan tidak hanya terjadi pada bagian atas struktur bangunan, tetapi juga terjadi pada tanah.

Pada pemodelan struktur dengan tumpuan jepit bangunan akan mengalami deformasi tetapi tanah dianggap tidak mengalami pergerakan. Padahal keadaan sebenarnya selain terjadi deformasi struktur bangunan, tanah juga mengalami pergerakan. Pergerakan struktur akibat respon tanah ataupun sebaliknya yang saling mempengaruhi satu sama lain, disebut *soil structure interaction* (Smadi, 2015). Pendekatan ini mendasari pemodelan dengan mengintegrasikan faktor pergerakan tanah melalui elemen-elemen seperti *spring* (Munir & Yakin, 2018). Kemampuan tanah dalam menahan beban dan respon dinamisnya pada dasarnya ditentukan oleh modulus reaksi tanah dasar, yang menggambarkan hubungan antara tekanan tanah dan deformasi. Oleh karena itu, dalam tahap perencanaan interaksi antara tanah dan struktur perlu diperhitungkan dengan cermat, terutama dalam menghadapi gaya gempa dan beban lateral tanah (Rizal, 2019).

Menurut Hardiyatmo dalam N.A Wibowo (2016), beban tanah lateral adalah gaya yang ditimbulkan akibat dorongan tanah di belakang struktur penahan tanah. Besarnya beban lateral dipengaruhi oleh perubahan letak (*displacement*) dari dinding penahan dan sifat – sifat tanahnya. Ketika gaya lateral akibat gempa bekerja, struktur gedung akan mengalami simpangan (*displacement*) yang menginduksi eksentrisitas. Kehadiran eksentrisitas ini mengakibatkan timbulnya momen torsi yang berujung pada fenomena puntir pada gedung. Respon yang terjadi akibat interaksi kompleks antara tanah dan struktur ini dapat mengakibatkan ketidakberaturan dalam struktur sesuai peraturan perencanaan

ketahanan gempa terbaru, yaitu SNI 1726-2019 yang berfokus pada ketidakberaturan horisontal.

Dalam memahami perilaku struktur gedung menghadapi gempa bumi, analisis gempa dinamik menjadi pendekatan yang sangat efektif. Analisis ini melibatkan pertimbangan terhadap parameter-parameter seperti massa, kekakuan, dan redaman, serta respon tanah terhadap struktur (Widodo, 2001). Metode analisis gempa dinamik ini sangat bermanfaat dalam konteks perencanaan bangunan tinggi yang memiliki karakteristik tidak beraturan, karena mampu memberikan hasil yang lebih mendekati perilaku struktur aktual (Wantalantie dkk., 2016). Metode analisis ini, termasuk analisis ragam *response spectrum* yang digunakan untuk menganalisis dinamika struktur pada model matematik dari bangunan yang telah diberikan.

Penelitian ini berfokus pada pengaruh efek basement terhadap respon seismik bangunan. Hal ini penting untuk memahami interaksi kompleks antara tanah, struktur, dan gempa, serta bagaimana basement memengaruhi perilaku dinamis dan ketahanan bangunan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang penelitian yang telah di uraikan oleh penulis, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana perbandingan respon seismik model bangunan dengan *basement* dan model bangunan tanpa *basement* ?
2. Bagaimana pengaruh pemodelan *basement* terhadap respon seismik model struktur ?

1.3 Tujuan Penelitian

Mengacu pada rumusan masalah di atas, tujuan penelitian pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui perbandingan respon seismik model bangunan dengan *basement* dan model bangunan tanpa *basement* .
2. Mengetahui pengaruh pemodelan *basement* terhadap respon seismik model struktur.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah memberikan edukasi bagi pembaca maupun peneliti mengenai acuan perbandingan respon seismik bangunan portal beton dengan *basement* dan tanpa *basement*.

1.5 Batasan Penelitian

Supaya penelitian ini terfokus pada tujuan yang telah di buat, maka diperlukan 14 (empat belas) batasan penelitian sebagai berikut.

1. Struktur gedung yang di gunakan dalam penelitian adalah gedung perkantoran dengan jumlah lima tingkat lantai dengan dua lantai parkir *basement*.
2. Desain gedung berbentuk *setback*.
3. Pemodelan struktur dibagi menjadi bangunan *basement* dan *nonbasement* yang memodelkan dinding pada tanah.
4. Respon seismik yang dianalisis yaitu simpangan antar tingkat dan pengecekan P-Delta.
5. Analisis percepatan gempa menggunakan response spectrum.
6. Tumpuan pada pemodelan struktur diasumsikan jepit.
7. Rangka struktur utama di analisis menggunakan *ETABS v 20*.
8. Tangga, void, dan lift tidak dimodelkan dan diinput sebagai beban.
9. Beban angin tidak diperhitungkan.
10. Asumsi kelas situs tanah sedang berpasir mengacu pada Peta Geologi Yogyakarta (Windu dkk., 2019). Dengan penetapan γ tanah sebesar $1,5t/m^3$ berdasarkan buku Mekanika Tanah 1 (Hardiyatmo, 2002).
11. Modulus reaksi tanah dimodelkan sebagai *spring* pada pemodelan.
12. Analisis ini tidak menganalisis ketidakberaturan vertikal.
13. Acuan Standar Nasional Indonesia 1726 tahun 2019 digunakan sebagai acuan beban gempa rencana.
14. Acuan Standar Nasional Indonesia 1727 tahun 2020 digunakan sebagai acuan pembebanan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Peninjauan terhadap penelitian terdahulu yang bertujuan untuk menemukan hal-hal yang relevan atau yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan oleh penulis. Dengan adanya peninjauan terhadap penelitian terdahulu, penulis diharapkan melakukan perbandingan atau komparasi objek penelitian sehingga tidak terjadi pengulangan penelitian yang akan dilakukan.

2.2 Redesain Gedung

Yulianto, (2004) melakukan penelitian yang berjudul “Re Desain Struktur Bangunan Gedung Kampus Babarsari Upn "Veteran" Yogyakarta” dan mendapatkan beberapa hasil penelitian sebagai berikut ini.

1. Gedung yang dirancang kembali berlokasi di Babarsari Yogyakarta sebagai gedung Dekanat Universitas Pembangunan Nasional Yogyakarta dan direncanakan menggunakan analisis 3-D dengan menggunakan program *SAP* 2000 terhadap berat sendiri, beban kerja dan beban gempa. Beban gempa yang bekerja adalah yang terjadi di wilayah Yogyakarta (wilayah gempa 3).
2. Struktur bangunan terbagi menjadi dua yaitu struktur bangunan atas (*Upper Structure*) dan struktur bangunan bawah (*Sub Structure*). Struktur atas merupakan elemen bangunan yang berada di atas permukaan tanah sedangkan struktur bawah merupakan elemen bangunan yang terletak di bawah permukaan tanah.
3. Dalam perancangan ini, digunakan metode kekuatan batas yaitu beban kerja dinaikkan dengan memberikan faktor beban sehingga diperoleh suatu beban yang dipakai untuk perancangan.

(Prasetyani, 2022) melakukan penelitian mengenai redesain struktur atas pada Gedung Jogja *Apartel* yang terletak di Kota Yogyakarta dengan menggunakan sistem rangka bresing konsentris khusus. Penelitian ini bertujuan

untuk mengetahui hasil perbandingan gaya geser dasar dan simpangan antar lantai pada Gedung *Jogja Apartel*. Selain itu, juga dilakukan perbandingan anggaran biaya pada struktur Gedung *Jogja Apartel*.

Dari penelitian yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan bahwa edesain *Jogja Apartel* telah memenuhi syarat sistem ganda, dimana rangka pemikul momen harus mampu menahan paling sedikit 25 % gaya gempa desain. Selisih diantara struktur eksisting dan redesain pada arah X adalah sebesar 69,698 %, sedangkan pada arah Y adalah sebesar 72,246%. Kemudian, simpangan antar lantai pada struktur redesain lebih besar daripada struktur eksisting. Presentase selisih rancangan anggaran biaya dari struktur eksisting dan struktur redesain adalah sebesar 52,74%, sehingga struktur eksisting lebih hemat dibandingkan struktur redesain.

2.3 Gedung Bertingkat dengan Lahan Parkir Basement

Hanafi dan Setiawan (2015) melakukan penelitian yang berjudul “Perencanaan Struktur Apartemen 5 Lantai +1 Basement Dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) Di Sukoharjo” dan menyimpulkan bahwa terjadi fenomena peningkatan ekonomi dan bisnis di Kota Sukoharjo. Oleh sebab itu, akan direncanakan sebuah gedung apartemen 5 lantai + 1 basement dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) di kota tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh desain perencanaan struktur gedung bertingkat yang tahan terhadap gempa.

Penelitian yang dilakukan oleh Hanafi dan Setiawan (2015) ini mengacu pada standar peraturan (SNI) terbaru yang telah diterbitkan, yaitu SNI-1726:2012 (Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Gedung dan Non Gedung) dan SNI-2847:2013 (Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung). Perencanaan gedung ini mencakup struktur utama (struktur yang terdiri dari balok dan kolom; serta struktur bawah) dan struktur rangka atap baja dan struktur plat (plat lantai, dinding basement dan tangga).

Hasil dari penelitian yang dilakukan oleh Hanafi dan Setiawan (2015) adalah perlunya digunakan mutu beton yang dipakai $f_c' 25$ MPa, serta tulangan

baja BJTS 400 MPa dan BJTP 250 MPa. Balok struktur direncanakan berdimensi 350/700 untuk lantai 1 dan 2, 300/650 untuk lantai 3 sampai dengan 5 dan 300/500 untuk lantai atap. Sedangkan untuk kolom direncanakan dengan dimensi 600/700 untuk lantai basement sampai dengan lantai 2 dan 550/600 untuk lantai 3 sampai dengan 5. Struktur bawah direncanakan memakai pondasi tiang pancang dengan poer 3x3 m dan tiang 40x40 cm dengan kedalaman 16 m.

(Yuliyanto, dan Dewandaru 2022) melakukan penelitian mengenai *Redesign* Struktur Bangunan Gedung Pendidikan Ma'had Institut Agama Islam Negeri Surakarta. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan alternatif desain lain yang efektif dan efisien dengan tingkat keamanan struktur sesuai dengan yang dipersyaratkan, naik dari segi dimensi elemen struktur maupun jumlah tulangan yang dibutuhkan sesuai dengan data arsitektur dan lapangan.

Hasil dari *Redesign* pada penelitian ini didapatkan desain dengan sistem SPRMK menghasilkan Balok G2 dengan ukuran 600x300 dengan tulangan tarik 5D16 dan tulangan tekan 3D16, Kolom K1 600x600 dengan tulangan 32D19 dengan Sengkang 2D10-100, K2 500x500 tulangan 24D19, K3 300x300 tulangan 8D19.

2.4 Gaya Dalam dan Simpangan antar Lantai

Putra M., (2017) melakukan penelitian yang berjudul “Analisis Gaya Dalam Dan Simpangan Antar Lantai Pada Gedung Ireguler Dengan Menggunakan Variasi Dilatasi”. Penelitian ini dilatarbelakangi oleh hubungan kekuatan struktur bangunan dengan geometri gedung. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan pengaruh dilatasi terhadap simpangan antar lantai pada gedung ireguler dan menentukan pengaruh dilatasi terhadap gaya dalam pada balok dan kolom pada gedung ireguler.

(Putra M., 2017) memberi kesimpulan bahwa penerapan dilatasi pada Gedung Bookstore UII memberikan beberapa pengaruh positif secara keseluruhan gedung, seperti adanya penurunan nilai simpangan dan penurunan gaya geser dan momen pada kolom di salah satu varian dilatasi. Akan tetapi, dilatasi tidak mengurangi eksentrisitas antara pusat massa dan pusat kekakuan gedung secara

signifikan, yang mengakibatkan ketidakberaturan torsional masih terjadi pada pemodelan gedung dengan maupun tanpa dilatasi.

2.5 Perbandingan Penelitian Redesain Gedung

Perbandingan penelitian redesain gedung akan disajikan dalam Tabel 2.1 di halaman selanjutnya

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Redesain Gedung

Penelitian Sebelumnya						Penelitian yang Dilakukan
Aspek	Yulianto (2004)	Hanafi dan Setiawan (2015)	Putra (2017)	Prasetyani (2022)	Yulianto dan Dewandaru (2022)	Penulis (2023)
Judul	Re Desain Struktur Bangunan Gedung Kampus Babarsari Upn “ Veteran “ Yogyakarta	Perencanaan Struktur Apartemen 5 Lantai +1 Basement Dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (Srpmm) Di Sukoharjo	Analisis Gaya Dalam Dan Simpangan Antar Lantai Pada Gedung Ireguler Dengan Menggunakan Variasi Dilatasi	Redesain Struktur Atas Gedung Jogja Apartel Dengan Sistem Rangka Bresing Konsentris Khusus	<i>Redesign</i> Struktur Bangunan Gedung Pendidikan Ma’had Institut Agama Islam Negeri Surakarta	Pengaruh Basement Pada Gedung Perkantoran Terhadap Simpangan Horizontal Berdasarkan SNI 1726:2019
Tujuan Penelitian	Mendapatkan alternatif lain desain yang efektif dan efisien dengan tingkat keamanan sesuai dengan peraturan yang telah disyaratkan	Memperoleh desain perencanaan struktur gedung bertingkat yang tahan terhadap gempa	<ol style="list-style-type: none"> 1. Menentukan pengaruh dilatasi terhadap simpangan antar lantai pada gedung ireguler 2. Menentukan pengaruh dilatasi terhadap gaya dalam pada balok dan kolom pada gedung ireguler 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mengetahui hasil perbandingan gaya geser dasar dan simpangan antar lantai pada Gedung Jogja Apartel. 2. Mengetahui hasil perbandingan anggaran biaya pada struktur Gedung Jogja Apartel 	Mendapatkan alternatif desain lain yang efektif dan efisien dengan tingkat keamanan struktur sesuai dengan yang dipersyaratkan, naik dari segi dimensi elemen struktur maupun jumlah tulangan yang dibutuhkan sesuai dengan data arsitektur dan lapangan	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mengetahui perbandingan respon seismic bangunan <i>basement</i> dan tanpa <i>basement</i> 2. Mengetahui pengaruh basement terhadap ketidakberaturan horisontal dan simpangan antar lantai.
Lokasi Penelitian	Universitas Pembangunan Nasional Veteran Yogyakarta	Sukoharjo	Gedung Bookstore Universitas Islam Indonesia (UII), Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta	Gedung Jogja Apartel	Gedung Pendidikan Ma’had Institut Agama Islam Negeri Surakarta	Gedung Perkantoran

BAB III LANDASAN TEORI

3.1 Analisis Struktur

Analisis struktur yang dilakukan adalah analisis struktur atas (*upper structure*) bangunan gedung perkantoran dilakukan dengan komputer berbasis elemen yang digunakan untuk berbagai kombinasi meliputi beban hidup, beban mati dan beban gempa dengan pemodelan 3D menggunakan *software ETABS v20*. Analisis ketidakberaturan bangunan ini mempunyai daktilitas penuh seperti yang terdapat dalam (SNI) 1726-2019 berisi tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Bangunan gedung dan Non Gedung dan Standar Nasional Indonesia (SNI) 1727–2020 tentang Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Standar Nasional Indonesia.

3.2 Ketentuan Pembebanan

Pembebanan adalah faktor penting dalam melakukan perancangan struktur bangunan. Maka perlu adanya identifikasi beban yang bekerja pada struktur bangunan sebagai berikut.

1. Beban Mati (*Dead Load*)

(Badan Standarisasi Nasional, 2020) menyatakan bahwa beban mati merupakan beban yang meliputi seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, *finishing*, *cladding* gedung dan komponen gedung arsitektural dan struktural lainnya serta peralatan yang terpasang termasuk berat derek dan sistem pengangkut material. Beban mati yang diperhitungkan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

- a. Berat kolom sendiri.
- b. Berat sendiri balok induk, balok anak.
- c. Berat pelat lantai

2. Beban Hidup (*Live Load*)

Badan Standarisasi Nasional (2020) menyatakan bahwa beban hidup merupakan 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. Pemilihan beban hidup pada perencanaan struktur dipilih berdasarkan fungsi bangunannya. Beban hidup yang digunakan dalam penelitian ini adalah beban hidup bangunan gedung perkantoran. Penentuan beban hidup dapat dilihat pada Tabel 3.1 di halaman selanjutnya.

Tabel 3.1 Beban Hidup Terdistribusi Merata Minimum dan Beban Hidup Terpusat Minimum

Hunian atau Penggunaan	Merata psf (KN/m ²)	Terpusat lb (KN)
Sistem lantai akses 1.Ruang kantor 2.Ruang komputer	50 (2,4) 100 (4,79)	2000 (8,9) 2000 (8,9)
Ruang pertemuan 1.Kursi tetap (terikat di lantai) 2.Lobi 3.Kursi dapat dipindahkan 4.Panggung pertemuan 5.Lantai podium	100 (4,7)a 100 (4,7)a 100 (4,7)a 100 (4,7)a 150 (7,18)a	
Balkon dan dek	1,5 kali beban hidup untuk daerah yang dilayani. Tidak perlu melebihi 100 psf (4,79 KN/m ²)	
Ruang mesin elevator (pada daerah 2 in x 2 in. [50mmx50mm])		300 (1,33)
Tangga		300 (1,33)
Garasi/parkir Mobil penunggu		40 (1,92) 40 (1,92)
Gedung perkantoran Ruang arsip dan komputer harus dirancang untuk beban yang lebih berat berdasarkan pada perkiraan hunian lobi dan koridor lantai pertama Kantor Koridor di atas lantai pertama	100 (4,79) 50 (2,40) 80 (3,83)	2000 (8,9) 2000 (8,9) 2000 (8,9)
Atap bubung Atap taman	20 (0,96)n 100 (4,79)	200 (0,89)

(Sumber: SNI 1727-2020)

3. Beban Gempa (*Earthquake*)

Beban gempa dapat didefinisikan sebagai beban yang bekerja pada suatu struktur bangunan akibat terjadinya pergerakan tanah yang diakibatkan adanya getaran gempa. Beban gempa merupakan suatu aspek beban yang harus dipertimbangkan untuk merancang suatu struktur bangunan. Akibat yang ditimbulkan apabila suatu struktur bangunan tidak direncanakan untuk menahan gempa, maka kegagalan struktur akan terjadi bahkan bangunan dapat mengalami keruntuhan. Berikut ini adalah penjelasan analisis beban gempa atau beban seismik berdasarkan panduan yang dibuat oleh Badan Standarisasi Nasional, (2019)

a. Kategori Resiko Bangunan (I-IV) dan faktor keutamaan (*Ie*)

Penentuan kategori resiko bangunan dan faktor keutamaan dapat dilihat pada Tabel 3.2 sebagai berikut dan Tabel 3.4 di halaman selanjutnya.

Tabel 3.2 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung

Jenis Pemanfaatan	Kategori
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, III, IV termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik	II

(Sumber: SNI 1726-2019)

Lanjutan Tabel 3.2 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung

Jenis Pemanfaatan	Kategori
<p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo <p>Gedung dan nongedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi <p>Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	III
<p>Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah ibadah - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat <p>Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	IV

(Sumber: SNI 1726-2019)

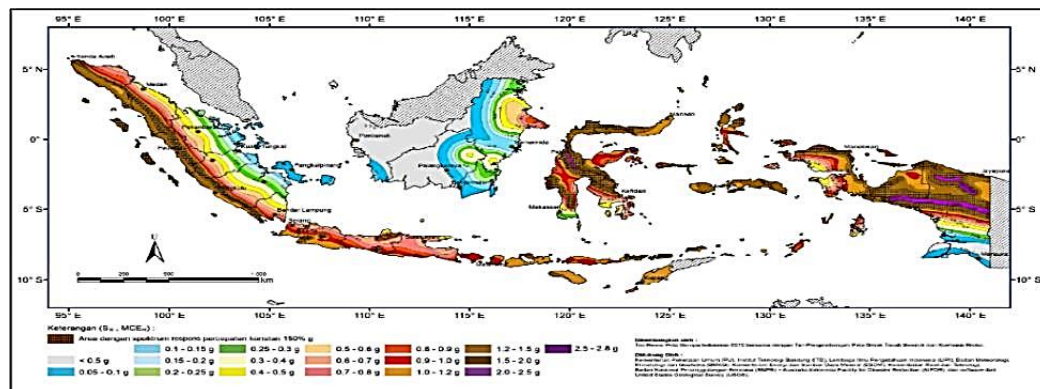
Tabel 3.3 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa (I_e)
I dan II	1,0
III	1,25
IV	1,5

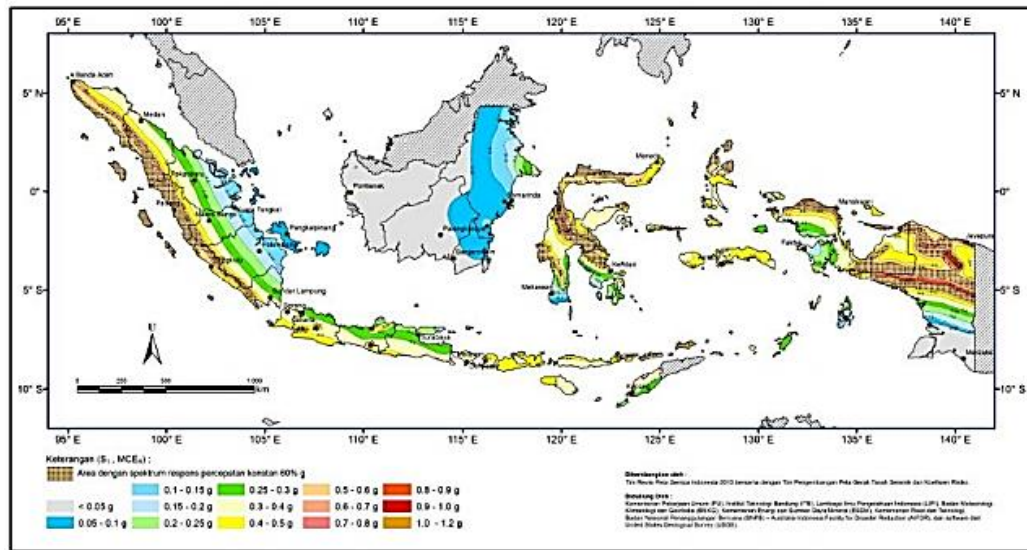
(Sumber: SNI 1726-2019)

b. Parameter percepatan gempa (S_s dan S_1)

Badan Standarisasi Nasional (2019) menyatakan bahwa nilai S_s adalah parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada periode pendek dengan redaman 5 persen. Sedangkan nilai S_1 menurut Badan Standarisasi Nasional (2019) adalah nilai parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada periode 1 detik dengan redaman 5 persen. Nilai S_s dan S_1 dapat ditentukan menggunakan Gambar 3.1 dan Gambar 3.2 sebagai berikut.

**Gambar 3.1 Gambar Peta Wilayah Gempa S_s**

(Sumber: SNI 1726-2019)



Gambar 3.2 Gambar Peta Wilayah Gempa S_1

(Sumber: SNI 1726-2019)

c. Kelas Situs

Badan Standarisasi Nasional (2019) menyatakan bahwa kelas situs merupakan klasifikasi situs yang dilakukan berdasarkan kondisi tanah di lapangan. Klasifikasi kelas situs merupakan salah satu parameter dalam kategori desain seismik. Oleh karena itu, harus dilakukan proses klasifikasi situs tersebut terlebih dahulu. Profil tanah di situs diklasifikasikan sesuai dengan Tabel 3.5 halaman selanjtnya.

Tabel 3.4 Klasifikasi Situs

Kelas situs	\bar{V}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{ch}	\bar{s}_u (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	< 175	<15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40\%$, 3. Kuat geser niralir $\bar{s}_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus,yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 0)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m)		

(Sumber: SNI 1726-2019)

d. Koefisien-Koefisien Situs dan Parameter-Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa Maksimum dipertimbangkan Risiko-Tertarget (MCER).

Badan Standarisasi Nasional (2019) menyatakan bahwa untuk penentuan respons spektral percepatan gempa MCER di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada perioda 0,2 detik dan perioda 1 detik. Lebih lanjut, Badan Standarisasi Nasional (2019) menyatakan bahwa faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran perioda pendek F_a dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran perioda 1 detik F_v . Tabel nilai F_a dapat dilihat pada Tabel 3.5 dan Tabel 3.6 di halaman selanjutnya.

Tabel 3.5 Koefisien Situs, F_a

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_s					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
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	SS ^(a)					

(Sumber: SNI 1726-2019)

Tabel 3.6 Koefisien Situs, F_v

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada perioda 1 detik, S_I					
	$S_I \leq 0,1$	$S_I = 0,2$	$S_I = 0,3$	$S_I = 0,4$	$S_I = 0,5$	$S_I \geq 0,6$
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	SS ^(a)					

(Sumber: SNI 1726-2019)

Badan standarisasi Nasional (2019) menyatakan, penentuan Parameter spektrum respons percepatan pada perioda pendek SMS dan perioda 1 detik SM1 dapat diinterpolasi apabila nilai yang dimaksud tidak terdapat pada Tabel 3.6 dan Tabel 3.7. Persamaan keduanya dapat dilihat pada Persamaan 3.1 dan Persamaan 3.2 berikut ini.

$$SMS = F_a \times S_s \quad (3.1)$$

$$SMI = F_v \times S_I \quad (3.2)$$

Keterangan:

S_{MS} = parameter spektrum respons percepatan pada perioda pendek,

F_a = faktor amplifikasi periode pendek,

S_s = percepatan batuan dasar pada periode pendek,

S_{MI} = parameter spektrum respons percepatan pada periode 1 detik,

F_v = faktor amplifikasi periode 1 detik, dan

S_I = percepatan batuan dasar pada periode 1 detik.

Nilai S_{MS} dan S_{MI} yang telah diketahui, selanjutnya perlu dilakukan analisis parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek, S_{DS} dan pada periode 1 detik, S_{DI} . Keduanya dapat didapatkan dari Persamaan 3.3 dan Persamaan 3.4 berikut ini.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times S_{MS} \quad (3.3)$$

$$S_{DI} = \frac{2}{3} \times S_{MI} \quad (3.4)$$

Keterangan:

S_{DS} = parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek, dan

S_{DI} = parameter percepatan spektral desain untuk periode 1 detik.

e. Spektrum Respon Desain

Setelah mendapatkan nilai S_{DS} dan S_{DI} , selanjutnya perlu diketahui nilai T_0 dan T_s . Persamaan untuk mencari nilai T_0 dan T_s dapat dilihat pada Persamaan 3.5 dan Persamaan 3.6 di halaman selanjutnya.

$$T_0 = 0,2 \times \frac{S_{DI}}{S_{DS}} \quad (3.5)$$

$$T_s = \frac{S_{DI}}{S_{DS}} \quad (3.6)$$

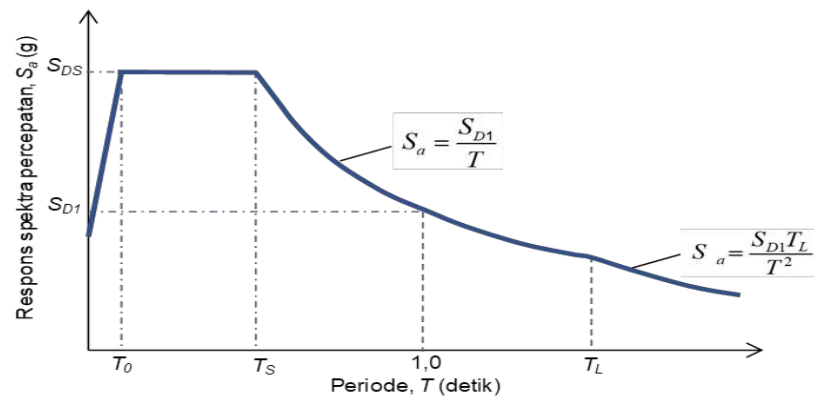
Badan Standarisasi Nasional (2019) menyatakan bahwa dalam menghitung nilai S_a harus mengikuti persyaratan yang tertulis pada Persamaan 3.7, Persamaan 3.8, dan Persamaan 3.9 berikut ini.

$$T < T_0 ; S_a = S_{DS} \left(0,4 + \frac{T}{T_0} \right) \quad (3.7)$$

$$T_0 \leq T \leq T_s ; S_a = S_{DS} \quad (3.8)$$

$$T > ; S_a = \frac{SD1}{T} \quad (3.9)$$

Nilai T dan S_a dipresentasikan dalam bentuk grafik. Kurva spektrum respons desain mengacu pada Gambar 3.3 berikut ini.



Gambar 3.3 Spektrum Respons Desain

(Sumber: SNI 1726-2019)

f. Kategori Desain Seismik

Badan Standarisasi Nasional (2019) menyatakan bahwa semua struktur bangunan harus ditetapkan kategori desain seismiknya. Kategori desain seismik didasarkan pada beberapa faktor yang meliputi kategori risiko dan parameter respons spektral percepatan desain, S_{DS} , dan S_{D1} . Masing-masing bangunan dan struktur harus ditetapkan ke dalam kategori desain seismik yang lebih parah dari kondisi asli bangunan tersebut., dengan mengacu pada Tabel 3.7 dan Tabel 3.8 sebagai berikut.

Tabel 3.7 Kategori Desain Seismik Berdasarkan SDS

Nilai S_{DS}	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

(Sumber: SNI 1726-2019)

Tabel 3.2 Kategori Desain Seismik Berdasarkan SD1

Nilai S_{D1}	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

(Sumber: SNI 1726-2019)

g. Eksentrisitas

Eksentrisitas menurut (Badan Standarisasi Nasional, 2002) terjadi karena pusat rotasi dan pusat massa pada gedung tidak berimpit. Lebih lanjut, Badan Standarisasi Nasional (2002) menyatakan bahwa Pusat massa lantai tingkat suatu struktur gedung adalah titik tangkap resultante beban mati, berikut beban hidup yang sesuai, yang bekerja pada lantai tingkat itu. Sedangkan pusat rotasi menurut Badan Standarisasi Nasional (2002) adalah suatu titik pada lantai tingkat itu yang bila suatu beban horisontal bekerja padanya, lantai tingkat tersebut tidak berotasi, tetapi hanya bertranslasi, sedangkan lantai-lantai tingkat lainnya yang tidak mengalami beban horisontal semuanya berotasi dan bertranslasi.

h. Torsi

Torsi adalah efek momen termasuk putaran atau puntiran yang terjadi pada penampang tegak lurus terhadap sumbu utama dari elemen. Beban lateral dapat mengakibatkan torsi pada bangunan ketika beban lateral tersebut cenderung memutar bangunan tersebut dengan arah vertikal. Hal ini terjadi ketika pusat beban tidak tepat dengan pusat kekakuan elemen vertikal beban lateral-sistem ketahanan struktur tersebut. Eksentrisitas diantara pusat kekakuan dan massa bangunan dapat menyebabkan gerakan torsi selama terjadinya gempa. Torsi ini dapat meningkatkan displacement pada titik ekstrim bangunan dan menimbulkan masalah pada elemen penahan lateral yang berlokasi pada tepi gedung.

Badan Standarisasi Nasional (2019) menyatakan bahwa terdapat dua jenis torsi yaitu sebagai berikut.

1) Torsi Bawaan

Badan Standarisasi Nasional (2019) menyatakan jika diafragma tidak fleksibel, desain harus menyertakan momen torsi bawaan (M_t) yang dihasilkan dari lokasi massa struktur ditambah momen torsi tak terduga (M_{ta}) akibat perpindahan pusat massa dari lokasi aktualnya yang diasumsikan pada masing-masing arah dengan jarak sebesar 5 % dimensi struktur tegak lurus terhadap arah gaya yang diterapkan.

2) Torsi tak terduga

Badan Standarisasi Nasional (2019) menyatakan Jika diafragma tidak fleksibel, desain harus menyertakan momen torsi bawaan (M_t) yang dihasilkan dari lokasi massa struktur ditambah momen torsi tak terduga (M_{ta}) akibat perpindahan pusat massa dari lokasi aktualnya yang diasumsikan pada masing-masing arah dengan jarak sebesar 5 % dimensi struktur tegak lurus terhadap arah gaya yang diterapkan. Jika gaya gempa diterapkan secara serentak dalam dua arah ortogonal, perpindahan pusat massa 5 % yang disyaratkan tidak perlu diterapkan dalam kedua arah ortogonal pada saat bersamaan, tetapi harus diterapkan dalam arah yang menghasilkan pengaruh yang lebih besar.

Badan Standarisasi Nasional (2019) menyatakan bahwa torsi termasuk kedalam ketidakberaturan horizontal. Definisi untuk ketidakberaturan horizontal dapat dilihat pada Tabel 3.9 sebagai berikut.

Tabel 3.9 Ketentuan Ketidakberaturan Horizontal pada Struktur

No	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismik
1a	Ketidakberaturan torsi didefinisikan ada jika simpangan antar lantai tingkat maksimum, torsi yang melintang terhadap sumbu lebih dari 1,2 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur dimana diafragma kaku atau setengah kaku.	7.3.3.4 7.7.3 7.8.4.3 7.12.1 Tabel 13 12.2.2	D, E dan F B, C, D, E dan F C, D, E dan F C, D, E dan F D, E dan F B, C, D, E dan F
1b	Ketidakberaturan torsi berlebihan didefinisikan ada jika simpangan antar lantai tingkat maksimum, torsi yang dihitung termasuk tak terduga, di sebuah ujung struktur melintang terhadap sumbu lebih dari 1,4 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi berlebihan dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur dimana diafragma kaku atau setengah kaku.	7.3.3.1 7.3.3.4 7.3.3 7.8.4.3 7.12.1 Tabel 13 12.2.2	E dan F D B, C dan D C dan D C dan D D B, C dan D
2	Ketidakberaturan sudut dalam didefinisikan ada jika di dua proyeksi denah dari sudut dalam lebih besar dari 15% dimensi denah struktur dalam arah yang ditentukan	7.3.3.4 Tabel 13	D, E dan F D, E dan F
3	Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma didefinisikan ada jika terdapat diafragma dengan diskontinuitas atau variasi kekakuan mendadak, termasuk yang mempunyai daerah terpotong atau terbuka lebih besar dari 50% daerah diafragma bruto yang melingkupinya, atau perubahan kekakuan diafragma efektif lebih dari	7.3.3.4 Tabel 13	D, E dan F D, E dan F

(Sumber: SNI 1726-2019)

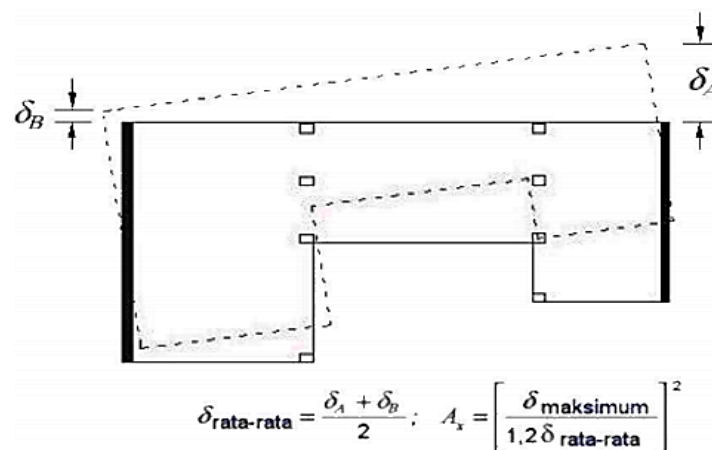
Lanjutan Tabel 3.10 Ketentuan Ketidakberaturan Horizontal pada Struktur

	50% dari suatu tingkat ketinggian selanjutnya.		
4	Ketidakberaturan gesekan melintang terhadap bidang didefinisikan ada jika terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, seperti geseran melintang terhadap bidang elemen vertikal.	7.3.3.3 7.3.3.4 7.3.3 Tabel 13 12.2.2	B, C, D, E dan F D, E dan F B, C, D, E dan F D, E dan F B, C, D, E dan F
5	Ketidakberaturan sistem non paralel didefinisikan ada jika elemen penahan gaya lateral vertikal tidak paralel atau simetris terhadap sumbu-sumbu orthogonal utama sistem penahan gaya seismik	7.5.3 7.7.3 Tabel 13 12.2.2	C, D, E dan F B, C, D, E dan F D, E dan F B, C, D, E dan F

(Sumber: SNI 1726-2019)

Untuk mengetahui ada tidaknya ketidakberaturan torsi pada suatu struktur dapat ditentukan dengan melihat defleksi maksimum (δ_{max}) dan defleksi rata-rata (δ_{avg}) pada struktur tersebut seperti pada Gambar 3.4. merupakan tipe dari ketidakberaturan torsi yang ditentukan berdasarkan defleksi maksimum (δ_{max}) dan defleksi rata-rata (δ_{avg}):

- 1) $\delta_{max} < 1,2 \delta_{avg}$: Tanpa ketidakberaturan torsi
- 2) $\delta_{max} 1,2 < \delta_{max} < 1,4 \delta_{avg}$: Ketidakberaturan torsi 1a
- 3) $\delta_{max} > 1,4 \delta_{avg}$: Ketidakberaturan torsi 1b



Gambar 3.4 Ketidakberaturan Torsi Horizontal dan Faktor Torsi

(Sumber: SNI 1726-2019)

4. Interaksi Tanah Struktur

Respon struktur akibat gempa disebabkan oleh interaksi antara 3 sistem terhubung yaitu struktur, pondasi dan tanah yang berada disekitar dan di bawah pondasi (NEHRP, 2012). Perilaku struktur pada tanah yang fleksibel dan dikerjakan beban dinamik bergantung sifat tanah dan pondasi. Deformasi dan tegangan yang terjadi pada tanah di akibatkan oleh gaya geser dan momen struktur yang bergetar. Deformasi tanah inilah yang disebut *soil structure interaction*. Tanah yang terkena deformasi tersebut di harapkan tetap mampu menahan beban yang tergantung pada modulus reaksi tanah dasar (*modulus of subgrade reaction*).

Modulus reaksi tanah dasar atau koefisien reaksi tanah dasar merupakan suatu konstanta matematis yang menunjukkan kekakuan fondasi. Modulus ini secara luas telah digunakan untuk analisis struktur dari bagian fondasi yang berinteraksi dengan sistem dukungan elastis (tanah adalah dukungan elastis). Berikut persamaan modulus reaksi seperti dibawah ini.

$$K_s = 40 S_f q_a (\text{KN/m}^3) \quad (3.10)$$

Keterangan :

K_s = Modulus reaksi tanah

S_f = *Safety factor*

q_a = kapasitas dukung ijin tanah

Perkiraan dalam nilai nilai modulus reaksi tanah sesuai jenis tanah dapat di lihat pada Tabel 3.10 pada halaman selanjutnya

Tabel 3.10 Modulus Reaksi Tanah Dasar (Bowless,1996)

Tanah	k (kN/m ³)
Pasir longgar	4800 – 16000
Pasir kepadatan sedang	9600 – 80000
Pasir padat	64000 – 128000
Pasir berlempung kepadatan sedang	32000 – 80000
Pasir berlanau kepadatan sedang	24000 – 48000
Tanah-tanah berlempung:	
Kapasitas dukung ijin, $q_a \leq 200$ kPa	12000 – 24000
$q_a \leq 800$ kPa	24000 – 48000
$q_a > 800$ kPa	> 48000

(Sumber: Hary Christady Hardiyatmo 2011)

3.3 Kombinasi Pembebanan

Badan Standarisasi Nasional (2019) menyatakan bahwa setiap bagian dari struktur yang direncanakan harus memiliki kekuatan minimal sebesar kekuatan yang dihitung berdasarkan kombinasi pembebanan. Perhitungan kombinasi pembebanan dapat dihitung menggunakan rumus yang dituliskan dalam Persamaan 3.11 hingga Persamaan 3.17 sebagai berikut.

$$1,4 D \quad (3.11)$$

$$1,2 D + 1,6 L + 0,5(Lr \text{ atau } R) \quad (3.12)$$

$$1,2 D + 1,6(Lr \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W) \quad (3.13)$$

$$1,2 D + 1,0 W + L + 0,5(Lr \text{ atau } R) \quad (3.14)$$

$$0,9 D + 1,0 W \quad (3.15)$$

$$1,2 D + 1W + 1N \quad (3.16)$$

$$0,9 D + 1E + 1N \quad (3.17)$$

Keterangan:

D = beban mati diakibatkan berat konstruksi permanen,

L = beban hidup diakibatkan fungsi gedung,

Lr = beban hidup pekerja, peralatan dan material,

- R = beban hujan (tidak termasuk genangan air),
 W = beban angin,
 N = beban notional, dan
 E = beban gempa.

3.4 Respon Struktur

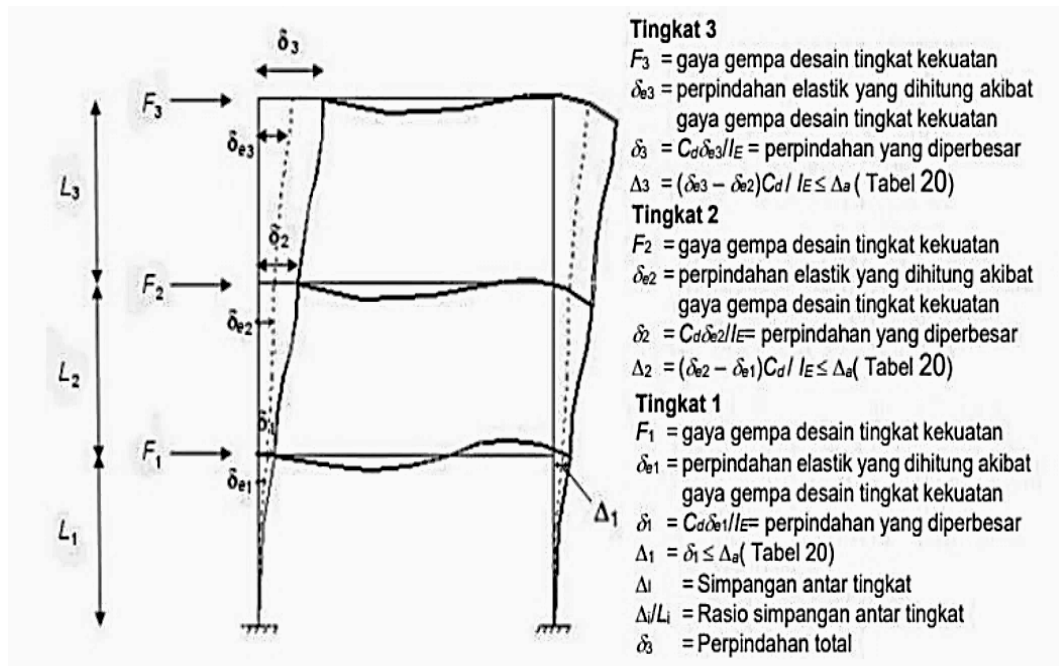
Respon struktur adalah tanggapan atau reaksi yang terjadi pada suatu bangunan terhadap gaya-gaya, salah satunya yaitu gaya gempa. Beban bangunan mempengaruhi respon struktur akibat gempa. Pada tugas akhir ini respon struktur meliputi :

1. *Base Shear*

Base shear menurut Badan Standarisasi Nasional (2019) adalah gaya lateral atau geser desain total yang terjadi pada tingkat dasar. Gaya geser dasar (v) harus dihitung dalam dua arah horisontal dan orthogonal menggunakan periode fundamental struktur yang dihitung T dalam masing-masing arah dan prosedur 0.

2. Rasio Simpangan Antar Tingkat (*Drift Ratio*)

Badan Standarisasi Nasional (2019) menyatakan bahwa rasio simpangan antar tingkat merupakan simpangan antar tingkat dibagi dengan tinggi lantai (h_x) yang ditinjau. Badan Standarisasi Nasional (2019) menyatakan bahwa rasio simpangan antar tingkat desain (*drift ratio*) dapat dihitung berdasarkan perbedaan defleksi pada pusat massa di tingkat teratas dan terbawah yang ditinjau. Namun, apabila pusat massa tidak terletak segaris arah vertikal maka diizinkan untuk dilakukan perhitungan defleksi di dasar tingkat berdasarkan proyeksi vertikal dari pusat massa tingkat atasnya. Struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik C, D, E atau F yang memiliki ketidakberaturan horisontal Tipe 1a atau 1b pada Tabel 3.10, rasio simpangan antar lantai desain (*drift ratio*) harus dihitung sebagai selisih terbesar dari defleksi titik-titik di atas dan di bawah tingkat yang letaknya segaris vertikal dan di sepanjang salah satu bagian tepi struktur. Contoh *drift ratio* dapat dilihat pada Gambar 3.5 sebagai di halaman selanjutnya.



Gambar 3.5 Drift Ratio

(Sumber: SNI 1726-2019)

Nilai *Drift ratio* pada Lantai 1 dan nilai *Drift ratio* pada Lantai 2 dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.18 dan 3.19 sebagai berikut.

$$\text{Drift ratio pada Lantai 1} = (\delta_1 C_d / I_e) / H \quad (3.18)$$

$$\text{Drift ratio pada Lantai 2} = ((\delta_2 - \delta_1) C_d / I_e) / H \quad (3.19)$$

Keterangan:

δ_i = displacement pada lantai i (mm),

C_d = faktor pembesaran,

I_e = faktor keutamaan, dan

H_i = tinggi lantai (mm).

3. Simpangan Antar Lantai Izin (Δ_a)

Berdasarkan pasal 7.12.1.1 nilai simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) seperti ditentukan dalam Persamaan 3.19, nilainya tidak boleh melebihi simpangan antar lantai ijin (Δ_a) / ρ untuk semua tingkat.

$$\Delta_n = ((\delta_n - \delta_{n-1}) Cd) / I_e \quad (3.20)$$

Keterangan:

Δ_n = simpangan antar lantai ke n (mm),

δ_n = *displacement* pada lantai n (mm),

Cd = faktor pembesaran, dan

I_e = faktor keutamaan.

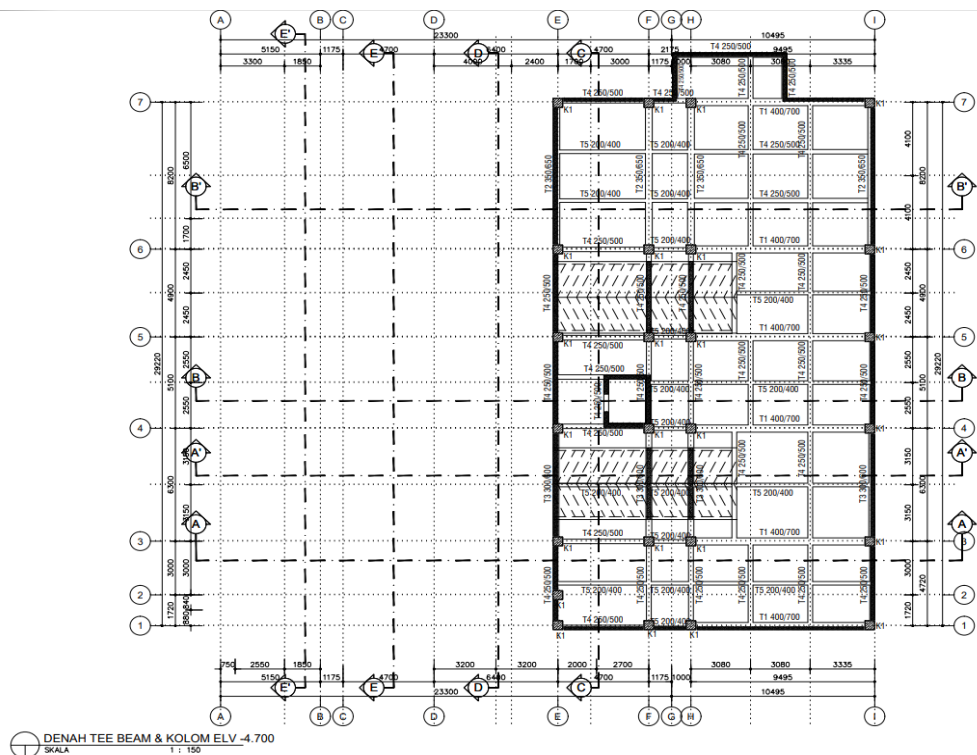
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Jenis Penelitian

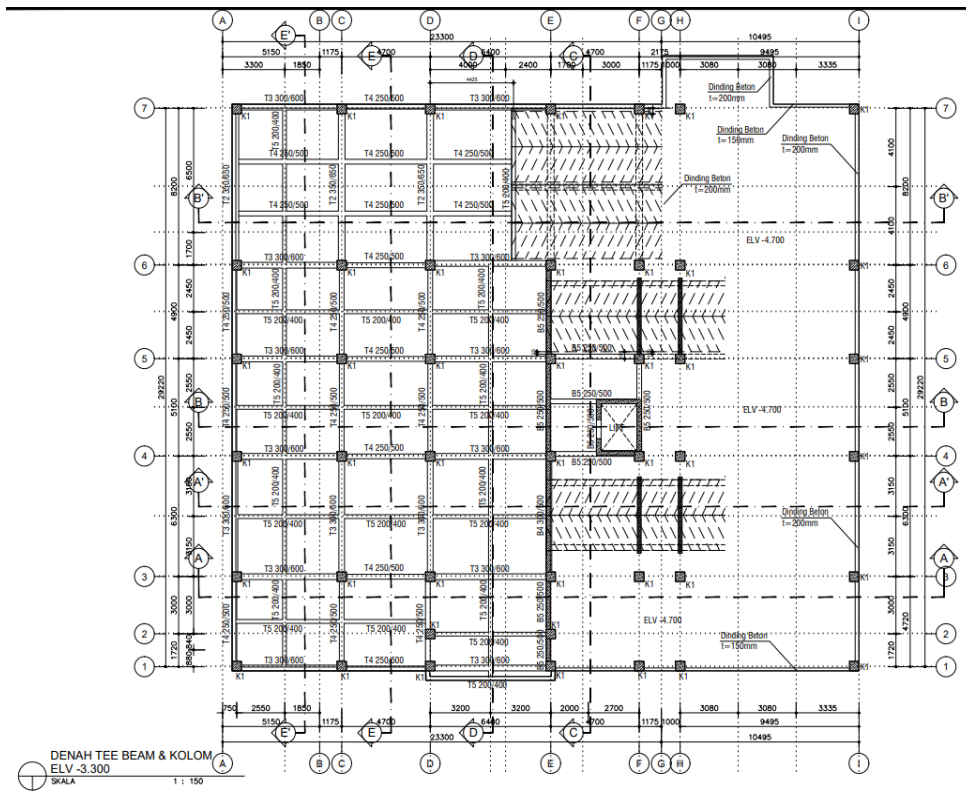
Penelitian ini yaitu studi kasus dengan metode deskriptif yang di lakukan pada bangunan perkantoran dengan struktur tidakberaturan. Menggunakan bantuan *software ETABS v20* untuk mendapatkan hasil perbandingan gedung *berbasement* dan *nonbasement*.

4.2 Denah Struktur Gedung

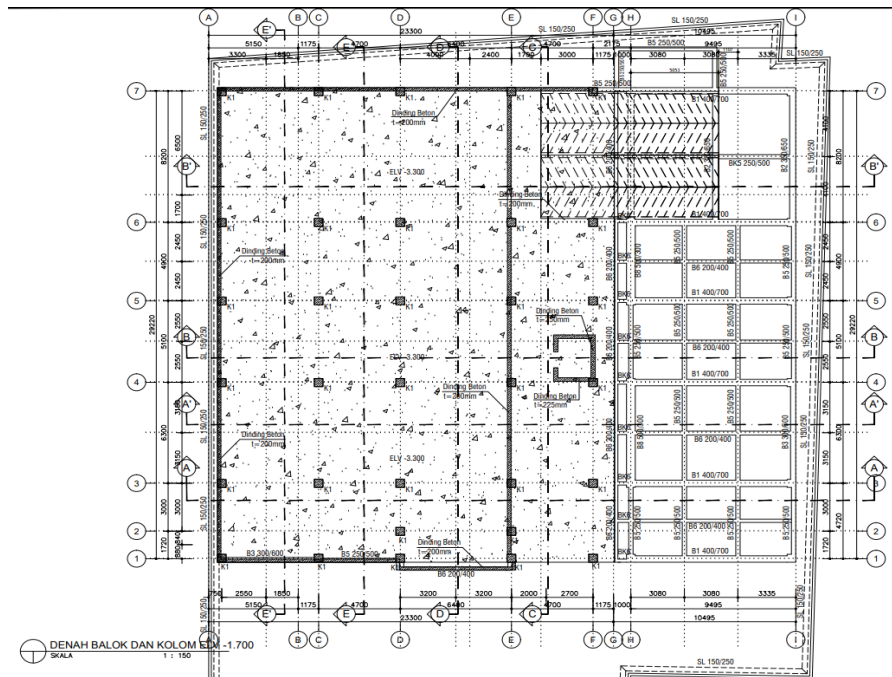
Penelitian dilakukan dengan menganalisis gedung dengan beberapa detail struktur. Berikut Gambar 4.1 yang menunjukkan denah struktur elevasi -4,700 m.



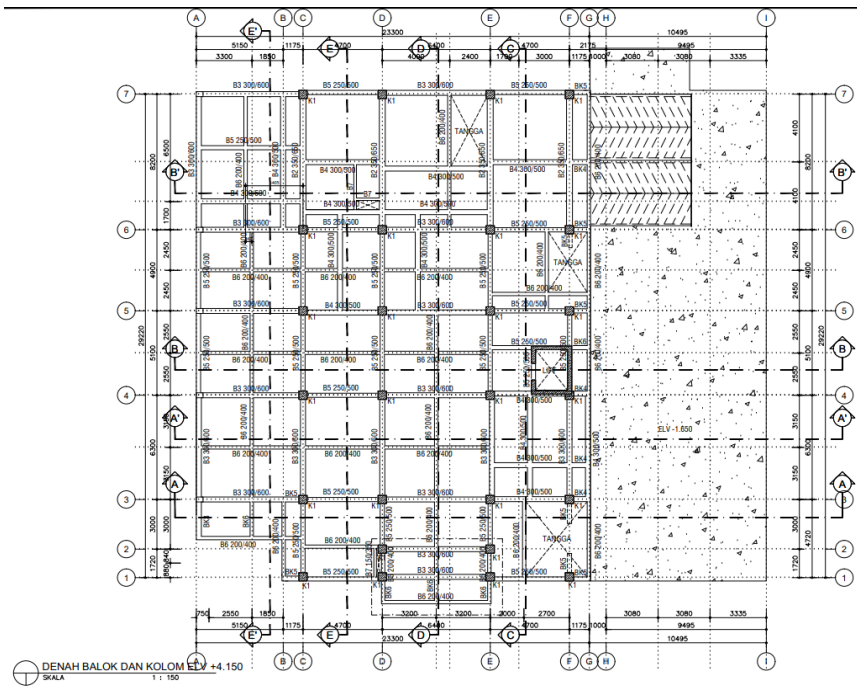
Gambar 4.1 Denah Struktur Elevasi -4,700m.



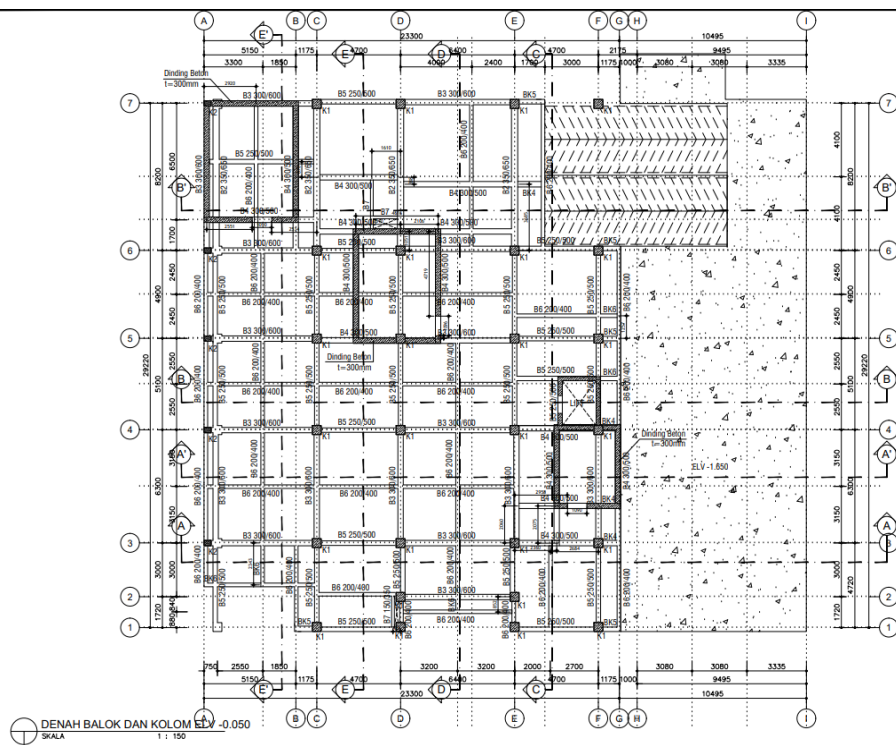
Gambar 4.2 Denah Struktur Elevasi -3,300m.



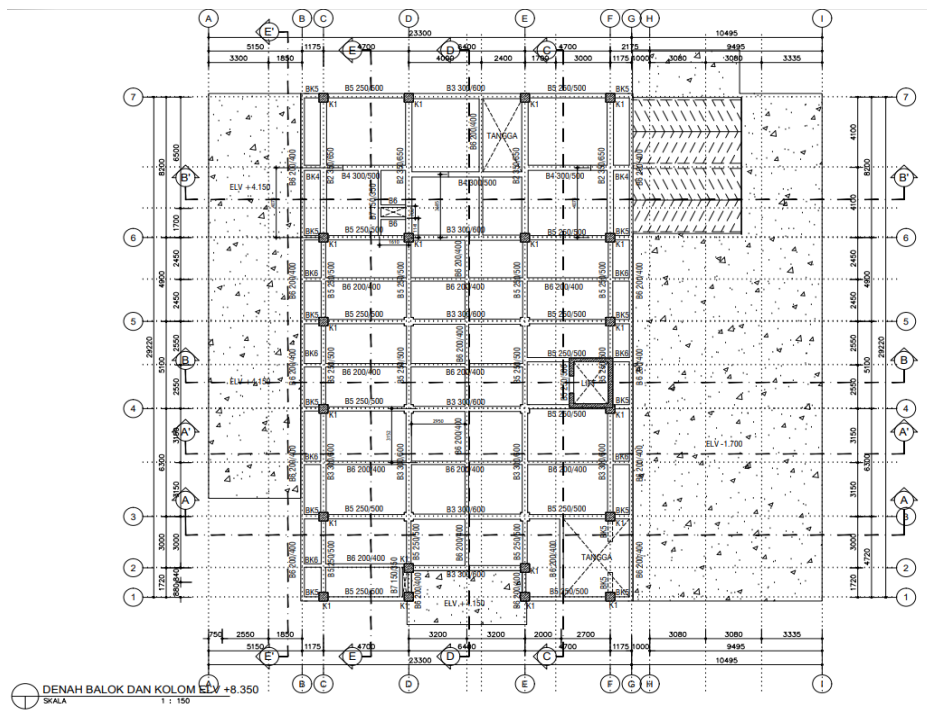
Gambar 4.3 Denah Struktur Elevasi -1,700m.



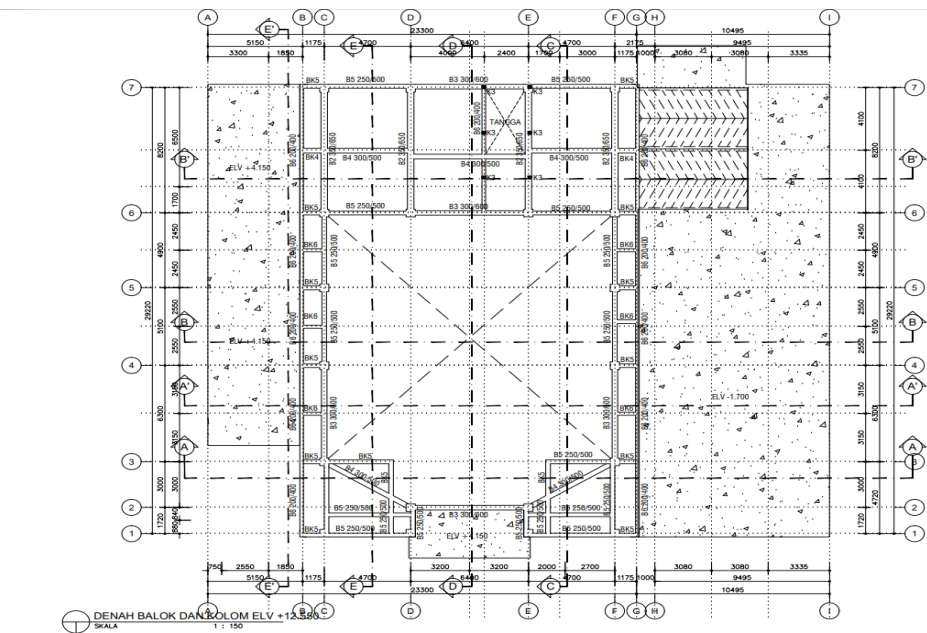
Gambar 4.4 Denah Struktur Elevasi -0,050m



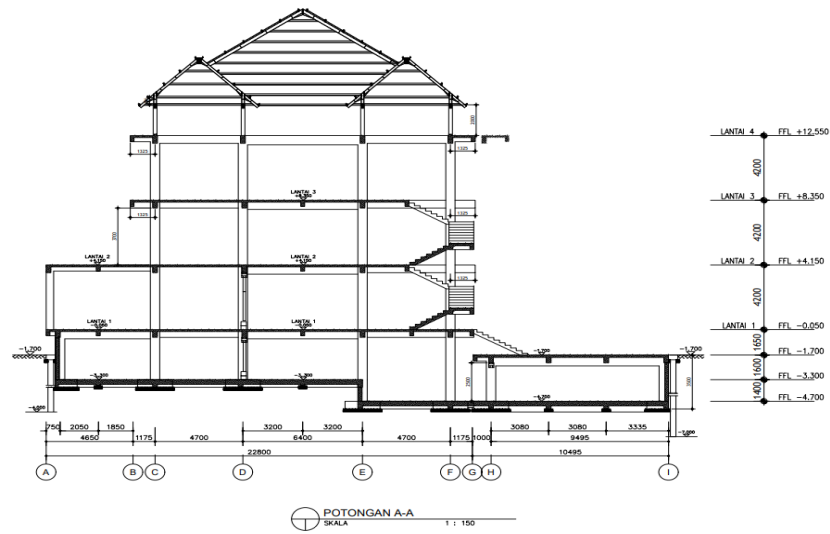
Gambar 4.5 Denah Struktur Elevasi +4,150m



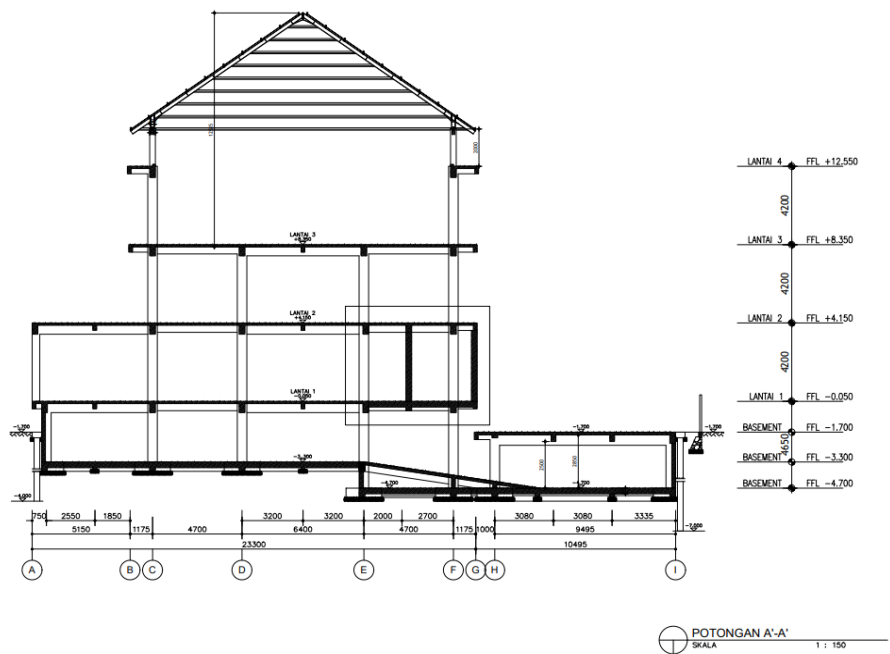
Gambar 4.6 Denah Struktur Elevasi +8,350m



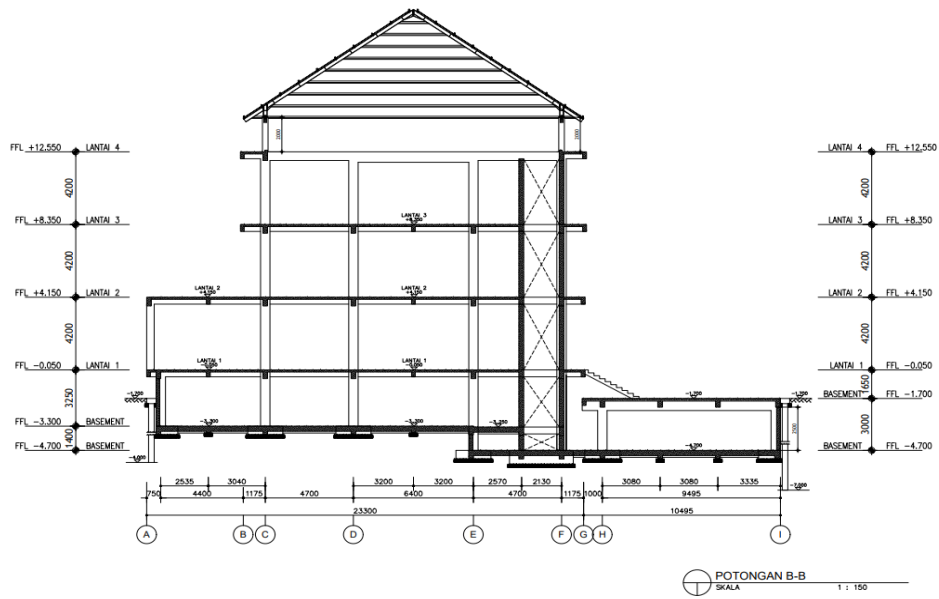
Gambar 4.7 Denah Struktur Elevasi +12,550m



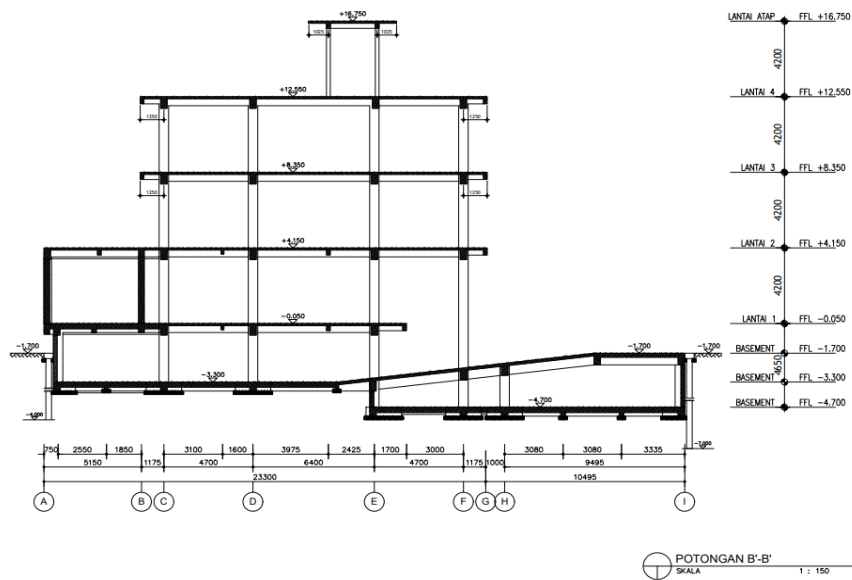
Gambar 4.8 Denah Potongan A-A



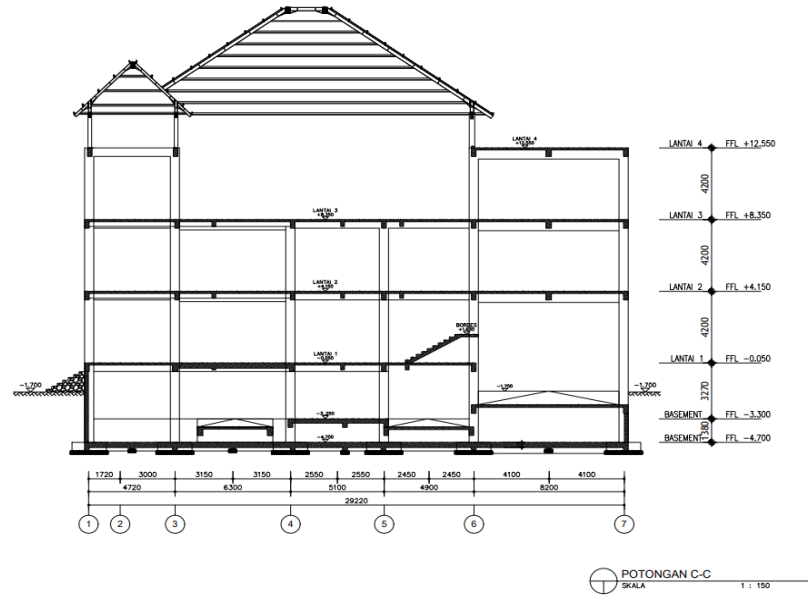
Gambar 4.9 Denah Potongan A'-A'



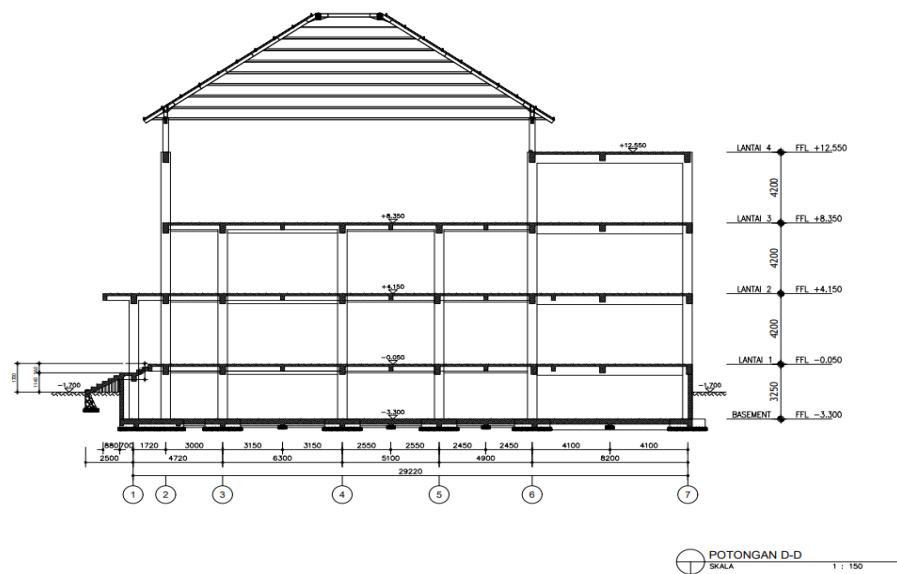
Gambar 4.10 Denah Potongan B-B



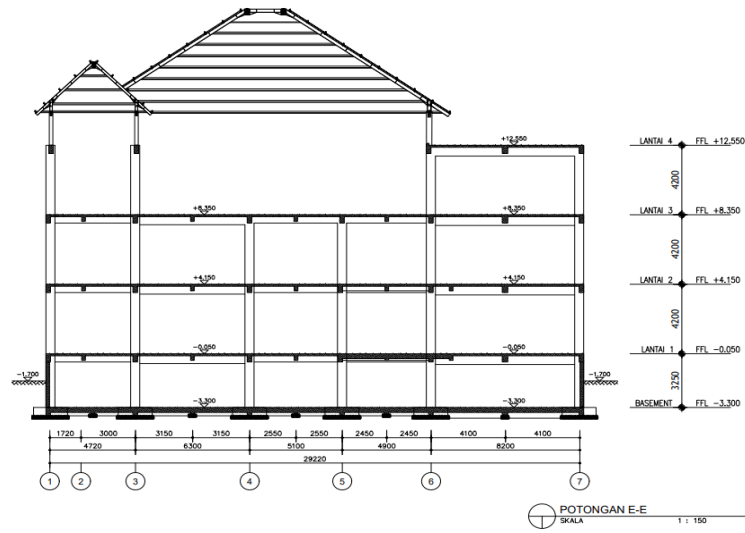
Gambar 4.11 Denah Potongan B'-B'



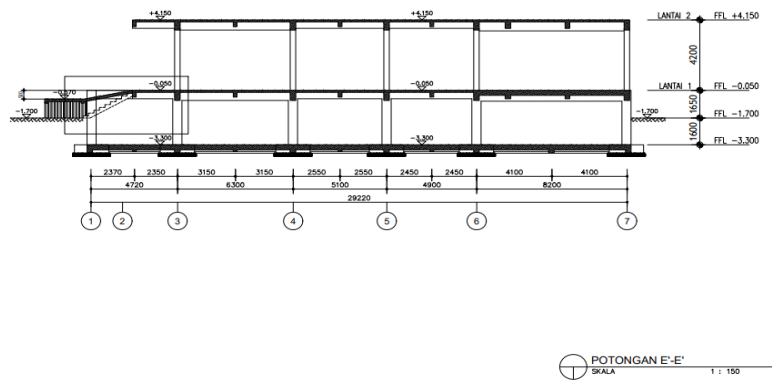
Gambar 4.12 Denah Potongan C-C



Gambar 4.13 Denah Potongan D-D



Gambar 4.14 Denah Potongan E-E



Gambar 4.15 Denah Potongan E'-E'

4.3 Metode Pengumpulan Data

Data yang digunakan terbagi menjadi dua jenis, yaitu data primer dan data sekunder. Sumber data yang digunakan sebagai berikut.

4.3.1 Data Primer

Data primer didapatkan dengan cara melakukan observasi langsung pada lokasi gedung perkantoran untuk mendapatkan data seperti penjelasan pada batasan penelitian.

4.3.2 Data Sekunder

Data sekunder yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Data Struktur

Data komponen struktur meliputi data bentuk gedung dan dimensi komponen struktur yang terdapat pada gambar DED yang sudah direkap.

2. Data Respon Spektrum

Data respon spektrum didapatkan sesuai lokasi gedung yang ditinjau berdasarkan desain spektra Indonesia.

3. Data Tanah

Data tanah adalah data jenis tanah yang ditetapkan pada batasan penelitian.

4.4 Metode Analisis

Metode analisis dan pemodelan yang dilakukan adalah pemodelan dan analisis Gedung Perkantoran sesuai persyaratan teknis dan Pedoman SNI 1726:2019. Proses dalam analisis ini adalah pengusulan desain yang diperoleh sesuai ketentuan desain konstruksi dan bangunan tinggi. Analisis konstruksi hanya upper struktur sesuai pada batasan penelitian.

4.4.1 Pemodelan Struktur

Dalam melakukan pemodelan struktur akan menggunakan bantuan *ETABS v20* untuk mempermudah analisis respon spektrum berdasarkan SNI 1726 – 2019.

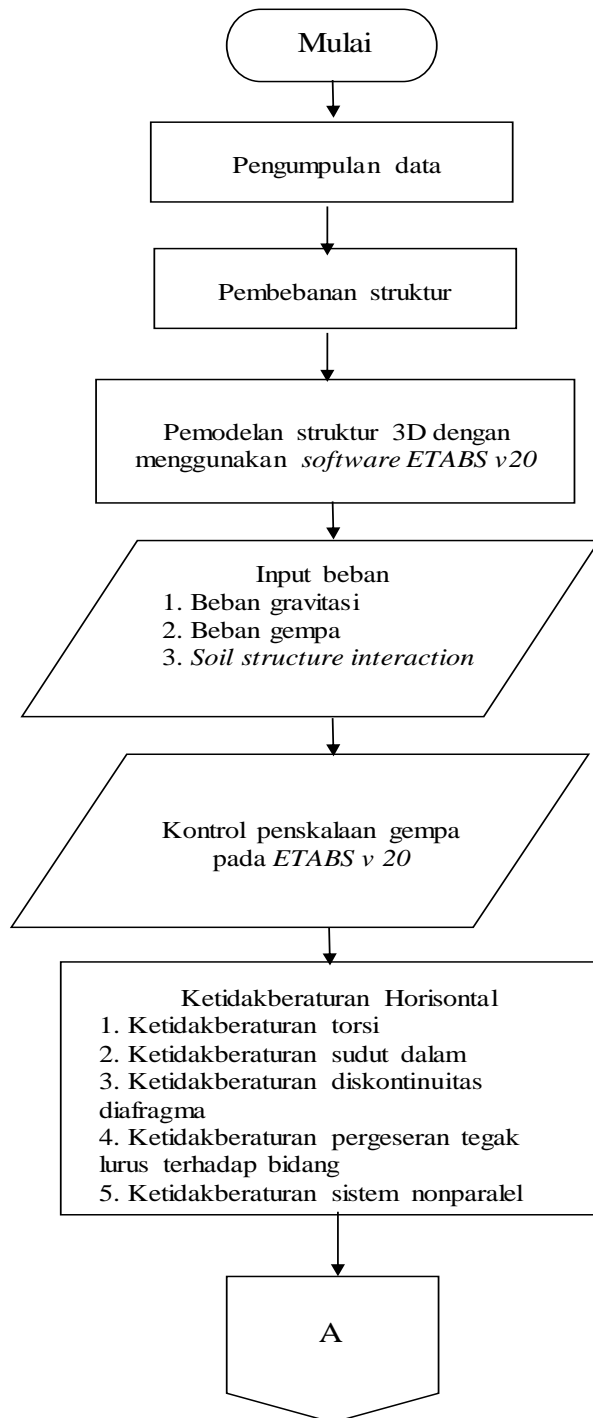
4.4.2 Analisis Struktur

Perancangan struktur dilakukan dengan. Semua tahapan perancangan dilakukan dengan *software Microsoft Excel* dan dikontrol menggunakan aplikasi

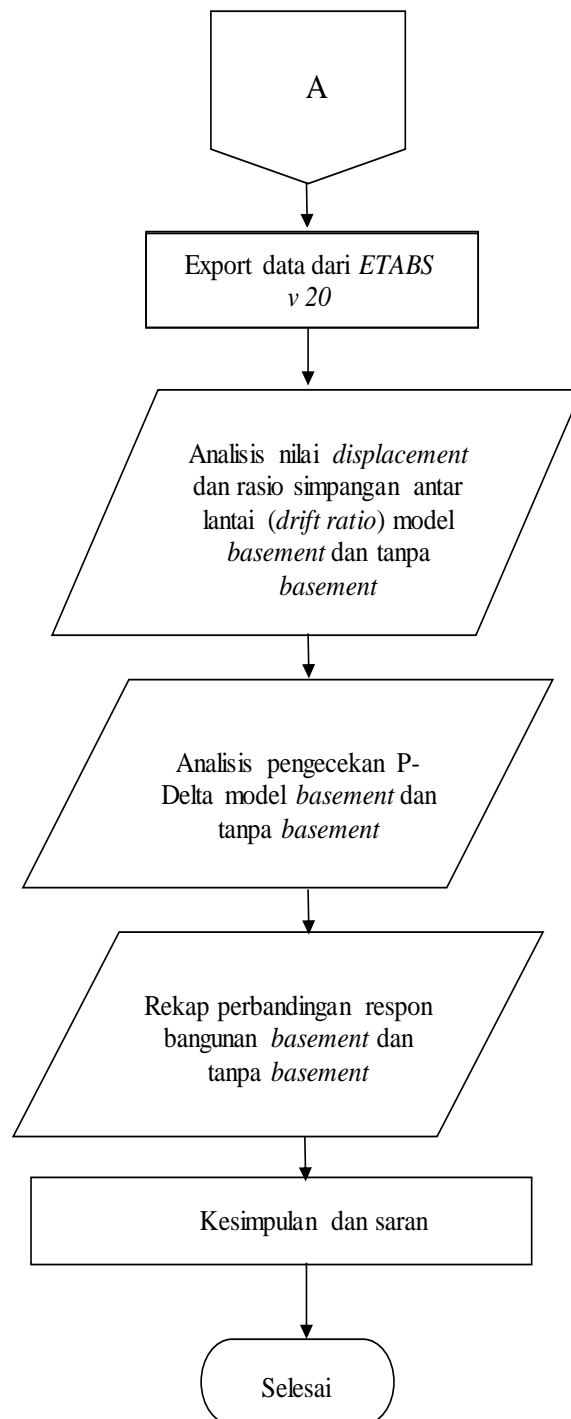
software ETABS V 20. Hasil analisis harus memenuhi standar sesuai pedoman yang dibuat oleh Badan Standarisasi Nasional (2019).

4.5 Bagan Alir

Berikut proses alur penelitian akan di tunjukan pada Gambar 4.16 Bagan Alir Penelitian di halaman selanjutnya.



Gambar 4.16 Bagan Alir Penelitian



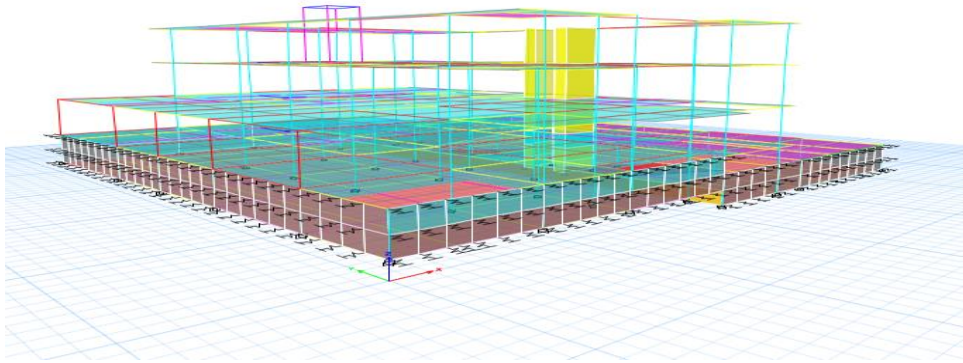
Gambar 4.17 Lanjutan Bagan Alir Penelitian

BAB V

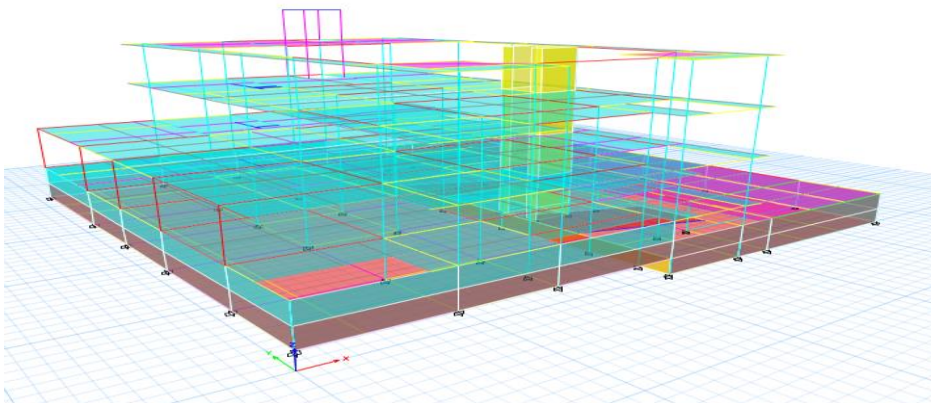
ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Pemodelan Struktur

Pemodelan struktur dimodelkan menjadi dua jenis pemodelan struktur dimana seperti Gambar 5.1 dan Gambar 5.2 berikut ini.



Gambar 5.1 Pemodelan Gedung dengan Basement



Gambar 5.2 Pemodelan Gedung tanpa Basement

5.2 Data Struktur

Bangunan gedung kantor yang ditinjau memiliki data balok, kolom, dan pelat dengan mutu beton ($f'c$) sebesar 25 N/mm² dan mutu baja tulangan (f_y) sebesar 400 N/mm². Data balok, kolom, dan pelat dapat dilihat pada subbab berikut.

5.2.1 Balok

Balok dan *tiebeam* yang digunakan pada gedung kantor ini dapat dilihat pada Tabel 5.1 di bawah ini.

Tabel 5.1 Kodefikasi Balok dan Tie beam

REKAP DIMENSI STRUKTUR			
Kode Balok	Keterangan	H pakai (mm)	B pakai (mm)
T1	Tie beam	700	400
T2	Tie beam	650	350
T3	Tie beam	600	300
T4	Tie beam	500	250
T5	Tie beam	400	200
T6	Tie beam	400	200
SL	Tie beam	150	250
B1	Balok Utama	700	400
B2	Balok Utama	650	350
B3	Balok Utama	600	300
B4	Balok Utama	500	300
B5	Balok Utama	500	250
B6	Balok Utama	400	200
B7	Balok Utama	350	150
B8	Balok Utama	500	300

5.2.2 Kolom

Pada bangunan gedung kantor ini hanya terdapat dua jenis tipe kolom yang akan ditunjukkan pada Tabel 5.2 di halaman selanjutnya.

Tabel 5.2 Kodefikasi Kolom

REKAP DIMENSI STRUKTUR				
No	Kode Balok	Keterangan	H pakai (mm)	B pakai (mm)
1	K1	KOLOM	500	500
2	K2	KOLOM	200	200

5.2.3 Pelat

Pelat yang digunakan untuk bangunan gedung ini menggunakan pelat dengan tebal 300 mm untuk basement dan tebal 150 mm untuk pelat lantai dan pelat atap.

5.2.4 Dinding Geser

Pada gedung kantor ini terdapat beberapa dinding geser yang memiliki dimensi yang berbeda dan dapat dilihat pada Tabel 5.3 di bawah ini.

Tabel 5.3 Dinding Geser

KODEFIKASI	Lebar (mm)	Panjang (mm)
SW-1	200	2550
SW-2	200	2750
SW-3	200	2750

5.3 Pembebanan

5.3.1 Beban Mati

Beban mati adalah beban gravitasi yang bersifat permanen pada sebuah bangunan. Berikut adalah perhitungan beban mati.

1. Beban mati pelat lantai

- a. Pelat $= 0,15 \text{ m} \times 23,536 \text{ kN/m}^3 = 3,532 \text{ kN/m}^3$
- b. Spesi $= 0,03 \text{ m} \times 16,671 \text{ kN/m}^3 = 0,500 \text{ kN/m}^3$
- c. Pasir $= 0,03 \text{ m} \times 15,691 \text{ kN/m}^3 = 0,471 \text{ kN/m}^3$
- d. Keramik $= 0,172 \text{ kN/m}^3$
- e. Ducting AC $= 0,172 \text{ kN/m}^3$
- f. Waterproofing $= 0,025 \text{ m} \times 18,639 \text{ kN/m}^3 = 0,466 \text{ kN/m}^3$

g. Plafon		= 0,235 kN/ m ³
h. Penggantung plafon		= 0,069 kN/ m ³
i. <i>Mechanical electrical</i>		= 0,147 kN/ m ³
j. Beban input ETABS		= Qd – Beban Pelat
		= 6,087 – 3,532
		= 2,556 kN/ m ³

2. Beban mati pelat atap

a. Pelat	= 0,15 m x 23,536kN/m ³	= 3,532 kN/m ³
b. Spesi	= 0,03 m x 16,671kN/m ³	= 0,500 kN/m ³
c. Pasir	= 0,03 m x 15,691kN/m ³	= 0,471 kN/m ³
d. Waterproofing	= 0,025 m x 18,639kN/m ³	= 0,466 kN/ m ³
e. Ducting AC		= 0,172 kN/ m ³
f. Plafon		= 0,235 kN/ m ³
g. Penggantung plafon		= 0,069 kN/ m ³
h. <i>Mechanical electrical</i>		= 0,147 kN/ m ³
i. Beban input ETABS		= Qd – Beban Pelat
		= 4,738 – 2,354
		= 2,384 kN/ m ³

5.3.2 Beban Hidup

Beban hidup yang digunakan beracuan pada (Badan Standarisasi Nasional, 2020)SNI 1727-2020 mengenai beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain. Pada pembebanan beban hidup perlu ditinjau apakah struktur perlu dilakukan reduksi sesuai pasal 4.7.2 hingga pasal 4.7.4. Setelah dilakukan analisis, didapatkan hasil bahwa pada struktur bangunan ini memiliki lapisan pelat terbesar 32,8m² dengan syarat yang ditentukan tidak melebihi 37,16m². Maka pada pelat tidak perlu direduksi. Ketentuan beban hidup pelat dapat dilihat pada Tabel 5.4 di halaman selanjutnya.

Tabel 5.4 Beban Hidup Merata

Hunian atau Penggunaan	Merata psf (KN/m ²)	Terpusat lb (KN)
Sistem lantai akses 1.Ruang kantor 2.Ruang komputer	50 (2,4) 100 (4,79)	2000 (8,9) 2000 (8,9)
Ruang pertemuan 1.Kursi tetap (terikat di lantai) 2.Lobi 3.Kursi dapat dipindahkan 4.Panggung pertemuan 5.Lantai podium	100 (4,7) _a 100 (4,7) _a 100 (4,7) _a 100 (4,7) _a 150 (7,18) _a	
Balkon dan dek	1,5 kali beban hidup untuk daerah yang dilayani. Tidak perlu melebihi 100 psf (4,79 KN/m ²)	
Ruang mesin elevator (pada daerah 2 in x 2 in. [50mmx50mm])		300 (1,33)
Tangga		300 (1,33)
Garasi/parkir Mobil penunggu		40 (1,92) 40 (1,92)
Gedung perkantoran Ruang arsip dan komputer harus dirancang untuk beban yang lebih berat berdasarkan pada perkiraan hunian lobi dan koridor lantai pertama Kantor Koridor di atas lantai pertama	100 (4,79) 50 (2,40) 80 (3,83)	2000 (8,9) 2000 (8,9) 2000 (8,9)
Atap bubung Atap taman	20 (0,96) _n 100 (4,79)	200 (0,89)

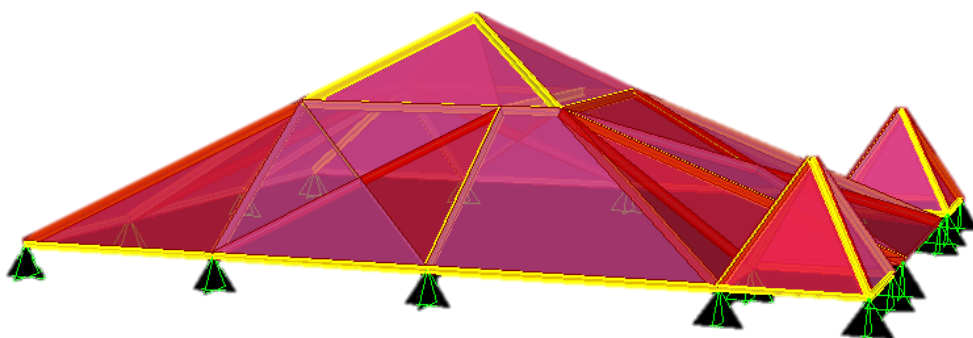
(Sumber: SNI 1727-2020)

Gedung yang ditinjau adalah gedung perkantoran maka menggunakan beban hidup merata pada pelat lantai sebesar 2,4 kN/m² dan untuk pelat atap sebesar 0,981kN/m².

5.3.3 Beban Atap

Beban atap yang digunakan dalam perencanaan ini berupa struktur baja IWF 100 dan IWF 200 yang ditetapkan memiliki beban merata sebesar 50 kg/m². Pada gedung ini, beban atap akan ditransferkan ke titik joint struktur agar tidak

mengganggu analisis pemodelan *ETABS v 20* pada gedung perkantoran. Beban Atap yang ditransfer pada joint struktur dapat dilihat pada Gambar 5.3 di halaman selanjutnya.



Gambar 5.3 Gambar Struktur Atap

Rekapitulasi beban yang bekerja pada joint dapat dilihat pada Tabel 5.5 di halaman selanjutnya.

Tabel 5.5 Beban Rangka Atap

TABLE: Joint Reactions								
Joint	OutputCase	CaseType	F1	F2	F3	M1	M2	M3
Text	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
613	1D	Combination	-0,499	-20,552	20,617	0	0	0
613	1L	Combination	-1,043	-34,026	34,24	0	0	0
615	1D	Combination	-1,495	-19,475	20,839	0	0	0
615	1L	Combination	-2,869	-31,878	34,624	0	0	0
778	1D	Combination	-16,889	0,297	18,294	0	0	0
778	1L	Combination	-27,482	0,071	30,054	0	0	0
779	1D	Combination	17,725	1,837	18,944	0	0	0
779	1L	Combination	29,315	3,108	31,399	0	0	0
787	1D	Combination	-23,125	-2,62	23,047	0	0	0
787	1L	Combination	-38,144	-4,272	38,245	0	0	0
799	1D	Combination	23,663	-2,513	23,305	0	0	0
799	1L	Combination	39,171	-3,967	38,79	0	0	0
800	1D	Combination	2,253	-2,122	3,927	0	0	0
800	1L	Combination	3,743	-3,48	5,706	0	0	0
801	1D	Combination	-2,197	-2,382	4,4	0	0	0
801	1L	Combination	-3,656	-3,929	6,652	0	0	0
824	1D	Combination	7,152	-0,085	5,554	0	0	0
824	1L	Combination	11,741	-0,047	7,994	0	0	0
828	1D	Combination	-6,52	-1,532	5,728	0	0	0
828	1L	Combination	-10,657	-2,524	8,525	0	0	0
829	1D	Combination	-2,341	7,864	6,07	0	0	0
829	1L	Combination	-3,767	12,972	11,44	0	0	0
830	1D	Combination	3,015	7,851	4,352	0	0	0
830	1L	Combination	4,9	12,958	8,209	0	0	0
831	1D	Combination	0,574	0,574	2,935	0	0	0
831	1L	Combination	0,887	0,887	4,29	0	0	0
832	1D	Combination	-0,574	0,574	2,935	0	0	0
832	1L	Combination	-0,887	0,887	4,29	0	0	0
833	1D	Combination	0,464	0,464	2,761	0	0	0
833	1L	Combination	0,665	0,665	3,941	0	0	0
834	1D	Combination	-10,635	15,75	27,315	0	0	0
834	1L	Combination	-17,677	26,027	45,774	0	0	0
837	1D	Combination	9,893	15,606	25,568	0	0	0
837	1L	Combination	16,426	25,882	42,563	0	0	0
844	1D	Combination	-0,464	0,464	2,761	0	0	0
844	1L	Combination	-0,665	0,665	3,941	0	0	0

Keterangan:

1. Nilai F1 adalah gaya yang bekerja arah x,
2. Nilai F2 adalah gaya yang bekerja pada arah y, dan
3. Nilai F3 adalah gaya yang bekerja pada arah z.

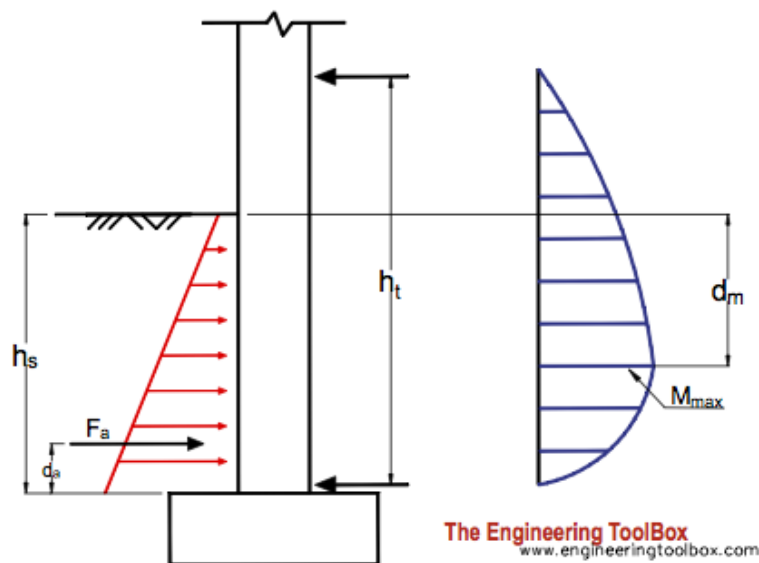
5.3.4 Beban Dinding Basemen

Gaya yang bekerja pada pada dinding ruang bawah pada gedung perkantoran. Data yang sudah ditetapkan adalah sebagai berikut.

$$\gamma = 1,5 \text{ t/m}^3$$

$$\emptyset = 30^\circ$$

Pendistribusian tekanan dinding tanah basemen akan dapat dilihat pada Gambar 5.4 sebagai berikut.



Gambar 5.4 Gaya yang Bekerja pada Dinding Basemen

(Sumber: https://www.engineeringtoolbox.com/basement-wall-earth-pressure-d_558.html)

Diketahui data tinggi dinding basemen adalah sebagai berikut.

1. Lantai Basement 1 = 3,3 m
2. Lantai Basement 2 = 3 m

Perhitungan yang akan digunakan untuk menghitung tekanan dinding basement pada ETABS V20 adalah berikut.

Hitung K_a :

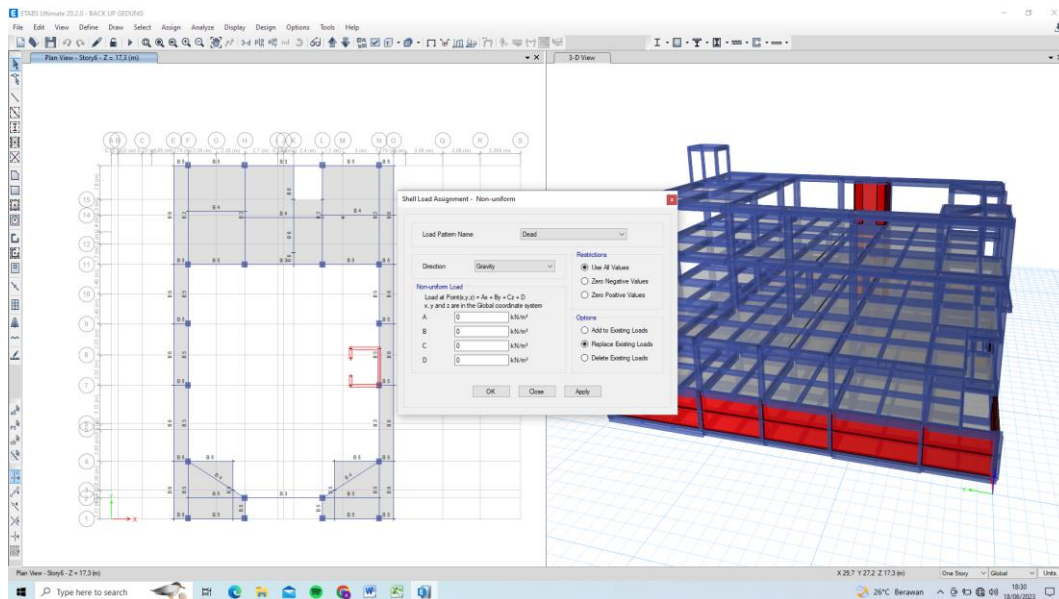
$$\begin{aligned} K_a &= \frac{1 - \sin \emptyset}{1 + \sin \emptyset} \\ &= \frac{1 - \sin 30}{1 + \sin 30} \\ &= 0,333 \end{aligned}$$

Maka rekapitulasi data hasil konversi dapat dilihat pada Tabel 5.6 sebagai berikut.

Tabel 5.6 Konversi Tinggi Gedung pada Lantai Basemen

Dinding Basement Lantai 1	
Z1	1,7 m
Z2	1,6 m
Dinding Basement Lantai 2	
Z1	1,6 m
Z2	1,4 m

Nilai C dan D pada *ETABS v 20* dapat dicari dengan cara yang ditunjukkan pada Gambar 5.5 di halaman selanjutnya.



Gambar 5.5 Data Tekanan Tanah pada ETABS

Maka dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut.

$$P1 = K_a \times \gamma \times z_1$$

$$P = K_a \times \gamma \times z$$

$$\begin{aligned} \gamma &= 1,5 \text{ t/m}^3 \\ &= 14,71 \text{ kN/m}^3 \end{aligned}$$

Selanjutnya perhitungan untuk mencari nilai tekanan tanah aktif pasif pada tanah adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} P1 &= 0,333 \times 14,71 \times 1,7 \\ &= 8,327 \text{ KN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P &= 0,333 \times 14,71 \times 3,3 \\ &= 16,165 \text{ KN/m}^2 \end{aligned}$$

Selanjutnya setelah didapatkan nilai P, maka untuk mencari nilai C dan D pada ETABS adalah sebagai berikut dengan penetapan $Z=0$.

$$P = Cz + D$$

1. Mencari nilai C pada Wall 1

$$8,327 \text{ KN/m}^2 = C \times 0 + D$$

$$D = 8.327 \text{ KN/m}^2$$

$$z = 1,7 \text{ m}$$

$$0 = Cz + D$$

$$0 = C \times 1,7\text{m} + 8.327 \text{ KN/m}^2$$

$$C = -1,514 \text{ KN/m}^2$$

2. Mencari nilai C pada Wall 2

$$16,165 \text{ KN/m}^2 = C \times 0 + D$$

$$D = 16,165 \text{ KN/m}^2$$

$$z = 1,6 \text{ m}$$

$$8.327 \text{ KN/m}^2 = C \times 1,6 \text{ m} + 16,165 \text{ KN/m}^2$$

$$C = -1,514 \text{ KN/m}^2$$

Hasil rekapitulasi mencari nilai C dan D pada Tabel 5.7 di bawah ini.

Tabel 5.7 Rekapitulasi Nilai C dan D pada ETABS v 20

BASEMENT LANTAI 1					
MENCARI NILAI D ETABS			MENCARI NILAI C ETABS		
WALL 1	8,327	KN/m ²	WALL 1	-1,514	KN/m ²
WALL 2	16,165	KN/m ²	WALL 2	-1,514	KN/m ²
BASEMENT LANTAI 2					
MENCARI NILAI D ETABS			MENCARI NILAI C ETABS		
WALL 1	7,907	KN/m ²	WALL 1	-1,514	KN/m ²
WALL 2	14,827	KN/m ²	WALL 2	-1,514	KN/m ²

Selanjutnya untuk menghitung Modulus Reaksi Tanah (Ks) menggunakan metode Bowless (1966) adalah sebagai berikut.

$$K_s = 40 \times SF \times q_a$$

Keterangan:

SF = *Safety Factor*

Qa = Daya dukung tanah ijin (kN/m²)

Contoh Perhitungan Ks pada Lantai Basement 2 adalah sebagai berikut.

$$Q_a = 1,5 \text{ t/m}^3$$

$$= 14.71 \text{ kN/m}^3$$

$$h = 3,3 \text{ m}$$

maka nilai K_s sebagai berikut

$$K_s = 40 \times 1,5 \times 14.71 \times 3,3$$

$$= 2912.58 \text{ kN/m}^3$$

5.4 Beban Gempa

Analisis beban gempa yang digunakan pada penelitian bangunan gedung perkantoran menggunakan analisis respons spektrum yang tercantum dalam SNI 1726-2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.

5.4.1 Statik Ekuivalen

Beban gempa untuk menentukan ketidakberaturan horizontal dapat dilakukan dengan menggunakan beban gempa statik ekuivalen.

1. Berat Bangunan

Hasil berat bangunan per lantai dapat dilihat dari hasil output ETABS V 20 1D + 1L dengan hasil pada Tabel 5.8 sebagai berikut.

Tabel 5.8 Berat Bangunan

Kode Lantai	SelfMass (Ton)	SelfWeight (KN)
Elevasi -4.7m	440,59	4320,695
Elevasi -3.3m	585,26	5739,395
Elevasi -1.7m	277,59	2722,183
Elevasi 0.00m	440,97	4324,487
Elevasi 4.2m	468,23	4591,793
Elevasi 8.4m	355,38	3485,12
Elevasi 12.6m	246,15	2413,907
Jumlah	2814,17	27597,58

2. Penentuan Koefisien Respons Seismik (C_s)

Nilai koefisien respons seismik ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut sesuai dengan pasal 7.8 SNI 1726-2019 dengan periode (T) sebesar 0,691 yang dijelaskan pada beban gempa respon spektrum.

$$\begin{aligned}
 C_s &= \frac{SD_s}{\frac{R}{I_e}} \\
 &= \frac{0,807}{\frac{7}{1}} \\
 &= 0,115
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_s(\min) &= 0,044 \times SD_s \times I_e \\
 &= 0,044 \times 0,807 \times 1 \\
 &= 0,036
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_s(\max) &= \frac{SD_1}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \\
 &= \frac{0,617}{0,691\left(\frac{7}{1}\right)} \\
 &= 0,0911
 \end{aligned}$$

3. Gaya Seismik

$$\begin{aligned}
 V &= C_s \times W \\
 &= 0,0911 \cdot 27597,58 \text{ kN} \\
 &= 2500,522 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

5.4.2 Respon Spektrum

Perhitungan analisis respons spektrum berdasarkan SNI 1726 -2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.

1. Penentuan kategori desain seismik

Bangunan yang ditinjau berada di Kota Yogyakarta dengan jenis tanah sedang (SD) dengan fungsi bangunan gedung perkantoran masuk dalam kategori risiko II. Faktor keutamaan gempa sebesar 1,0 sesuai dengan 1726-2019.

2. Penentuan Nilai S_s dan S_1

Nilai S_s dan S_1 didapat dari lokasi bangunan. Untuk menentukan nilai tersebut secara akurat dapat diakses dengan menggunakan website <http://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/>. Dari hasil mengakses website tersebut didapat nilai S_s sebesar 1,176 g dan S_1 sebesar 0,5203g.

3. Penentuan nilai F_a dan F_v

Penentuan nilai F_a dan F_v dapat dilakukan dengan melihat data tanah yang sudah ditetapkan pada batasan penelitian sesuai dengan tabel 6 dan tabel 7 SNI 1726-2019 dengan cara menyesuaikan kelas situs bangunan dengan nilai S_s dan S_l . Apabila nilai dari S_s dan S_l tidak tepat harus dilakukan interpolasi linier. Didapatkan nilai F_a dan F_v sebesar 1,0296 dan 1,779.

4. Penentuan nilai S_{MS} dan S_{MI}

Pada pasal 6.2 SNI 1726-2019 ditentukan bagaimana cara menentukan nilai S_{MS} dan S_{MI} . Berikut cara menentukan nilai S_{MS} dan S_{MI} .

$$\begin{aligned} S_{MS} &= F_a \times S_s \\ &= 1,0296 \times 1,176 \\ &= 1,211 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{MI} &= F_v \times S_l \\ &= 1,779 \times 0,5203 \\ &= 0,926 \end{aligned}$$

5. Penentuan nilai S_{DS} dan S_{DI}

Pasal 6.3 SNI 1726-2019 menentukan bagaimana cara menentukan nilai S_{DS} dan S_{DI} . Berikut cara menentukan nilai S_{DS} dan S_{DI} .

$$\begin{aligned} S_{DS} &= \frac{2}{3} \times S_{MS} \\ &= \frac{2}{3} \times 1,211 \\ &= 0,807 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{DI} &= \frac{2}{3} \times S_{MI} \\ &= \frac{2}{3} \times 0,926 \\ &= 0,617 \end{aligned}$$

6. Pembuatan desain respon spektrum

Pembuatan desain respon spektrum mengacu pada pasal 6.4 SNI 1726-2019. Berikut ini proses pembuatannya.

a. Penentuan nilai T_s dan T_0

$$\begin{aligned} T_s &= \frac{SD1}{SDS} \\ &= \frac{0,807}{0,617} \\ &= 0,764 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_0 &= 0,2 \times \frac{SD1}{SDS} \\ &= 0,2 \times \frac{0,807}{0,617} \\ &= 0,153 \end{aligned}$$

b. Penentuan nilai S_a saat lebih kecil dari T_0

$$\begin{aligned} S_a &= SDS \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \\ &= 0,617 \left(0,4 + 0,6 \frac{0,764}{0,153} \right) \\ &= 2,095 \end{aligned}$$

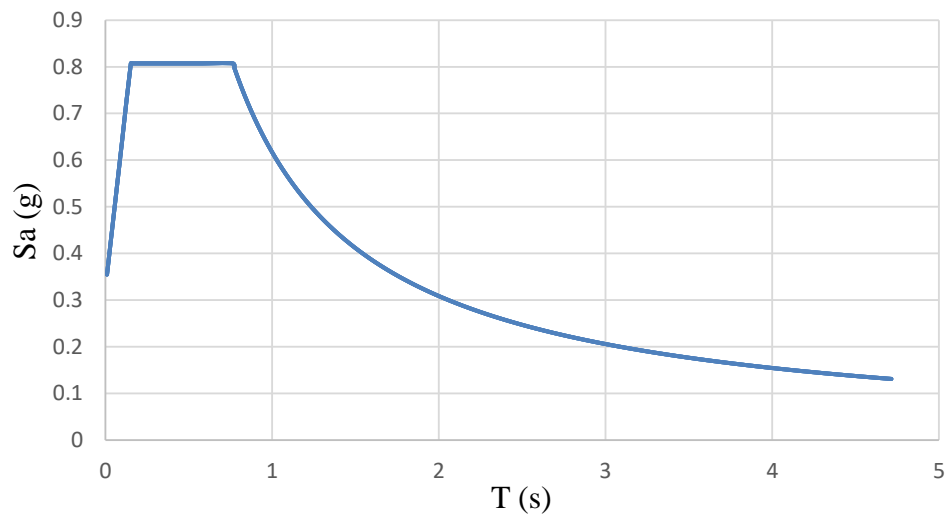
c. Penentuan nilai S_a nilai lebih besar dari T_0 dan kurang dari sama dengan T_s , maka diambil sebesar SDS

$$\begin{aligned} S_a &= SDS \\ S_a &= 0,617 \end{aligned}$$

d. Penentuan nilai S_a saat nilai lebih besar dari T_0

$$\begin{aligned} S_a &= \frac{SD1}{T} \\ &= \frac{0,807}{0,764} \\ &= 1,056 \end{aligned}$$

Setelah mendapat nilai-nilai yang dibutuhkan untuk membuat respon spektrum maka grafik respon spektrum kota Yogyakarta pada bangunan gedung perkantoran dapat dilihat pada Gambar 5.6 di halaman selanjutnya.



Gambar 5.6 Respon Spektrum Yogyakarta

7. Kategori Desain Seismik

Sesuai ketentuan kategori desain seismik sesuai pasal 6.5 SNI 1726-2019 pada table 8 dan table 9 berdasarkan SDS dan SD1. Dengan nilai SDS dan SD1 sebesar dan kategori risiko II pada table 8 dan 9 keduanya di dapat kategori desain seismik D.

8. Penentuan nilai R , Ω_0 , dan C_d

Penentuan nilai R , Ω_0 , dan C_d berdasarkan tabel 12 SNI 1726-2019. Pada bangunan gedung kantor yang digunakan pada penelitian ini dengan sistem ganda pemikul momen khusus dinding geser beton bertulang khusus didapat nilai faktor koefisien respons (R) sebesar 7, faktor kuat lebih sistem (Ω_0) sebesar 2,5, dan faktor pembesaran defleksi (C_d) sebesar 5,5.

9. Penentuan Fundamental Struktur Bangunan (T)

Perioda Fundamental Struktur Bangunan (T) membandingkan hasil analisa program atau software ETABS V 20 dengan peraturan yang ada pada pasal 7.8.2 SNI 1726-2019. Penentuan perioda memiliki perioda minimum atau perioda fundamental pendekatan (T_a) dengan adanya faktor C_t , h_n dan x yang diatur pada tabel 18 SNI 1726-2019 dengan h_n sebesar 20 m. Perhitungan perioda fundamental pendekatan (T_a) dapat dilihat pada halaman selanjutnya.

$$\begin{aligned}
 T_a &= C_t \times h n^x \\
 &= 0,466 \times 20^{0,9} \\
 &= 0,691 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

10. Nilai perioda program (T_c) tidak boleh melebihi C_u yang telah ditentukan pada tabel 17 SNI 1726-2019 berdasarkan nilai $SD1$ didapat nilai C_u sebesar 1,4 yang akan dikalikan dengan nilai T_a . Berikut ini perhitungan nilai perioda maksimum.

$$\begin{aligned}
 T_a(\text{maks}) &= C_u \times T_a \\
 &= 1,4 \times 0,691 \\
 &= 0,967 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

Nilai perioda hasil analisa program (T_c) pada model *basement* didapat 0,534 detik dan pada model tanpa *basement* 0,593 detik. Dapat dilihat bahwa nilai T_c lebih kecil dari batas bawah T_a yang telah di atur dalam SNI 1726-2019. Sehingga nilai perioda yang digunakan yaitu nilai T_a fundamental sebesar 0,691 detik.

11. Penskalaan Gaya Respon Spektrum

Gaya geser dasar hasil analisis ragam atau respon spektrum (V) tidak dapat langsung digunakan karena harus disesuaikan berdasarkan peraturan dari SNI 1726-2019. Nilai $V_{\text{dinamik}} (V_t) \leq 100\%$ Nilai V statik (V). Oleh karena itu, perlu dilakukan penskalaan gaya. Berikut ini adalah penjabaran dari perhitungan penskalaan gaya.

Diketahui:

- a. Nilai (V_t) dinamik

$$V_x = 1265,095 \text{ kN}$$

$$V_y = 1046 \text{ kN}$$

- b. Nilai (V) statik

$$V_{\text{statik}} = 2500,522$$

- c. Perhitungan skala ulang

$$\text{Skala ulang } V_{tx} = \left(\frac{1265,095}{2500,522} \right) \times 1,4$$

$$\begin{aligned}
 &= 2,769 \\
 \text{Skala ulang } V_{ty} &= \left(\frac{1046}{2500,522} \right) \times 1,4 \\
 &= 3,349
 \end{aligned}$$

5.5 Analisis Ketidakberaturan Horizontal

1. Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1a dan 1b

Ketidakberaturan horizontal dianalisis dengan cara membedakan arah gempa x dan arah gempa y. Berikut merupakan hasil analisis ketidakberaturan horizontal dapat dilihat pada Tabel 5.9, Tabel 5.10, Tabel 5.11, dan Tabel 5.12 sebagai berikut.

Tabel 5.9 Pengecekan Ketidakberaturan Torsi Arah X

MODEL BASEMENT								
Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Max Drift	Avg Drift	Ratio	Cek
					mm	mm		
Story8	RSX	LinRespSpec	Max	X	2,110	2,079	1,015	OK
Story6	RSX	LinRespSpec	Max	X	5,246	4,951	1,060	OK
Story5	RSX	LinRespSpec	Max	X	5,899	5,195	1,136	OK
Story4	RSX	LinRespSpec	Max	X	4,848	4,146	1,169	OK
Story3	RSX	LinRespSpec	Max	X	0,213	0,122	1,746	H.1b
Story2	RSX	LinRespSpec	Max	X	0,090	0,048	1,875	H.1b

H.1a = Terjadi ketidakberaturan horisontal torsi tipe 1a

H.1b = Terjadi ketidakberaturan horisontal torsi tipe 1b

Tabel 5.10 Pengecekan Ketidakberaturan Torsi Arah Y

MODEL BASEMENT								
Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Max Drift	Avg Drift	Ratio	Cek
					mm	mm		
Story8	RSY	LinRespSpec	Max	Y	2,066	2,033	1,02	OK
Story6	RSY	LinRespSpec	Max	Y	5,472	4,202	1,30	H.1a
Story5	RSY	LinRespSpec	Max	Y	8,145	5,717	1,43	H.1b
Story4	RSY	LinRespSpec	Max	Y	9,631	6,227	1,55	H.1b
Story3	RSY	LinRespSpec	Max	Y	0,356	0,22	1,62	H.1b
Story2	RSY	LinRespSpec	Max	Y	0,095	0,063	1,51	H.1b

H.1a = Terjadi ketidakberaturan horisontal torsi tipe 1a

H.1b = Terjadi ketidakberaturan horisontal torsi tipe 1b

Tabel 5.11 Pengecekan Ketidakberaturan Torsi Arah X

MODEL TANPA BASEMENT								
Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Max Drift	Avg Drift	Ratio	Cek
					mm	mm		
Story8	RSX	LinRespSpec	Max	X	2,815	2,785	1,104	OK
Story6	RSX	LinRespSpec	Max	X	4,613	4,04	1,066	OK
Story5	RSX	LinRespSpec	Max	X	5,293	4,428	1,141	OK
Story4	RSX	LinRespSpec	Max	X	4,378	3,604	1,174	OK
Story3	RSX	LinRespSpec	Max	X	0,177	0,151	1,114	OK
Story2	RSX	LinRespSpec	Max	X	0,041	0,031	1,573	H.1b

H.1a = Terjadi ketidakberaturan horisontal torsi tipe 1a

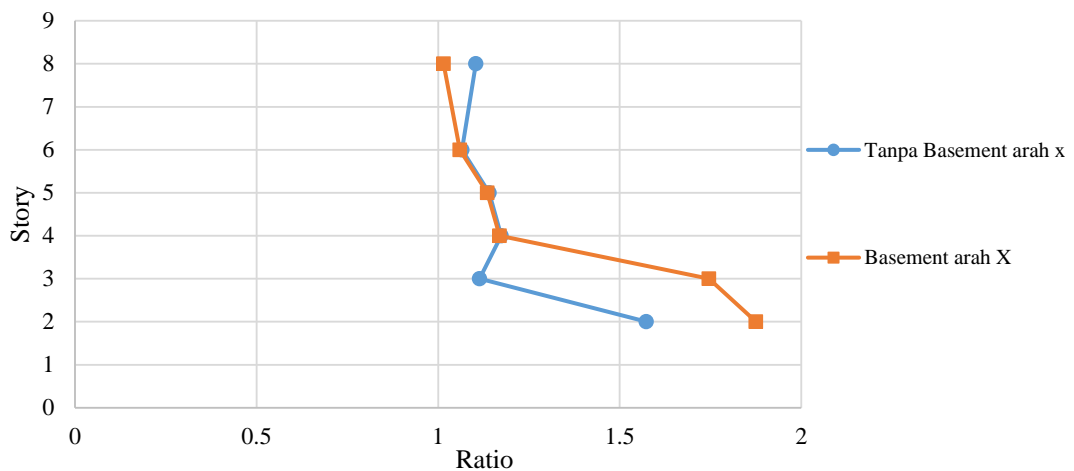
H.1b = Terjadi ketidakberaturan horisontal torsi tipe 1b

Tabel 5.12 Pengecekan Ketidakberaturan Torsi Arah Y

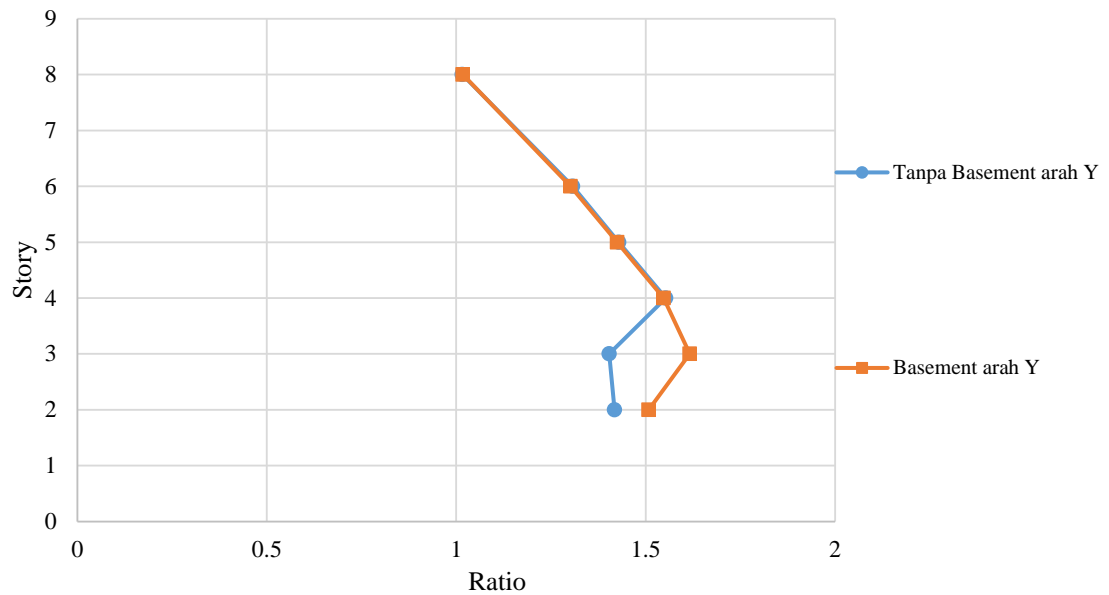
MODEL TANPA BASEMENT								
Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Max Drift	Avg Drift	Ratio	Cek
					mm	mm		
Story8	RSY	LinRespSpec	Max	Y	2,053	2,02	1,016	OK
Story6	RSY	LinRespSpec	Max	Y	5,462	4,178	1,307	H.1a
Story5	RSY	LinRespSpec	Max	Y	8,131	5,69	1,429	H.1b
Story4	RSY	LinRespSpec	Max	Y	9,62	6,196	1,553	H.1b
Story3	RSY	LinRespSpec	Max	Y	0,32	0,228	1,404	H.1b
Story2	RSY	LinRespSpec	Max	Y	0,085	0,06	1,418	H.1b

H.1a = Terjadi ketidakberaturan horisontal torsi tipe 1a

H.1b = Terjadi ketidakberaturan horisontal torsi tipe 1b



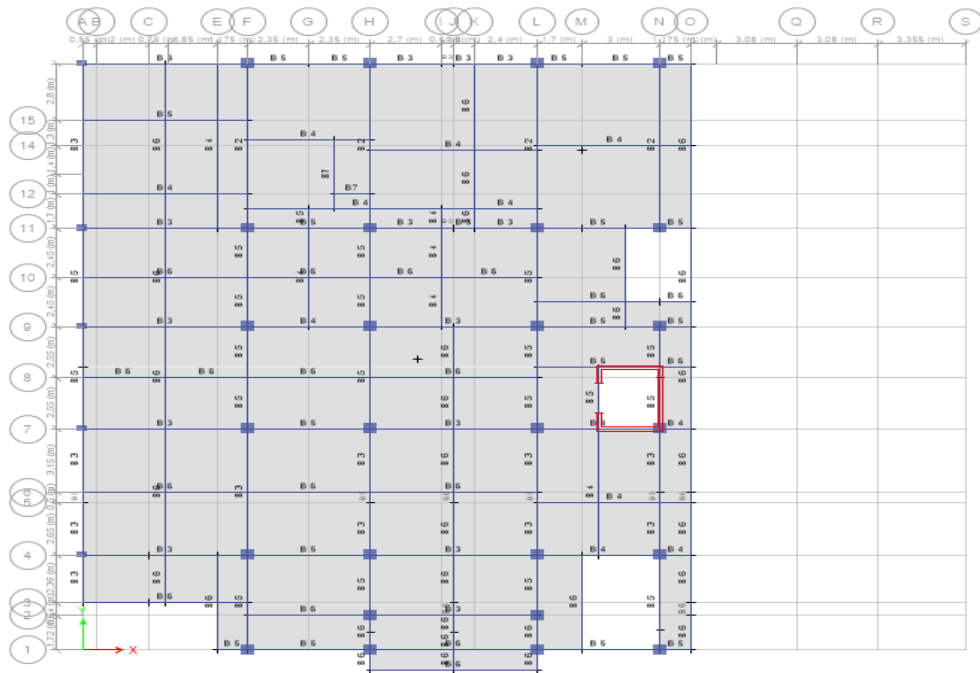
Gambar 5.7 Ketidakberaturan Horisontal Arah X



Gambar 5.8 Ketidakberaturan Horisontal Arah Y

2. Ketidakberaturan Sudut Dalam

Menurut Badan Standarisasi Nasional (2019) pada Tabel 13 ketidakberaturan sudut dalam terjadi apabila dimensi proyek denah pada struktur dari lokasi dalam lebih besar dari 15% dimensi denah struktur dalam arah yang ditinjau. Tidak terjadi ketidakberaturan sudut dalam di karenakan bentuk gedung adalah persegi dilihat pada Gambar 5.9 pada halaman selanjutnya.



Gambar 5.9 Bentuk Gedung

3. Ketidaberaturan Diskontinuitas Diafragma

Ketidakteraturan diskontinuitas diafragma tidak terjadi pada bangunan perkantoran yang ditinjau, dikarenakan daerah yang terpotong atau terbuka pada bangunan perkantoran tersebut tidak lebih besar 50% dari daerah diafragma bruto yang tertutup sesuai yang telah disyaratkan dalam SNI 1726-2019.

4. Ketidakteraturan Sistem Nonparalel

Ketidakteraturan sistem nonparalel tidak terjadi pada bangunan perkantoran yang ditinjau. Hal ini dikarenakan seluruh dinding geser tepat pada sumbu x dan sumbu y.

5. Ketidakteraturan akibat Pergeseran Tegak Lurus Terhadap Bidang

Ketidakteraturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang tidak terjadi pada bangunan perkantoran yang ditinjau dikarenakan semua struktur utama sejajar bertumpu tepat baik arah sumbu x dan sumbu y.

5.6 Simpangan Antar Tingkat

Simpangan antar tingkat sudah diatur dalam SNI 1726-2019 bahwa simpangan antar tingkat tidak boleh melebihi dari simpangan antar tingkat izin (Δa). Simpangan antar lantai didapat dari selisih defleksi antar lantai yang terjadi pada bangunan tersebut dari program Etabs. Dibawah ini merupakan perhitungan simpangan antar tingkat antar lantai 4.

1. Perhitungan Simpangan Antar Tingkat Arah x

a. Diketahui data sebagai berikut.

- | | |
|--------------------------------------|----------|
| 1) Cd (Faktor Pembesaran Defleksi) | = 5,5 |
| 2) Ie (Faktor keutamaan gempa) | = 1 |
| 3) Δa (Simpangan izin) | = 42 |
| 4) hsx (Tinggi tingkat) | = 4200mm |
| 5) ρ (Faktor redudansi) | = 1,3 |
| 6) δx_4 (Defleksi lantai 4) | = 3,146 |
| 7) δx_3 (Defleksi lantai 3) | = 0,235 |

b. Perhitungan simpangan tingkat dibawah ini.

$$\begin{aligned}\Delta 4 &= \frac{(\delta x_4 - \delta x_3) \times Cd}{Ie} \\ &= \frac{(3,146 - 0,235) \times 5,5}{1} \\ &= 16,010 \text{ mm}\end{aligned}$$

c. Perhitungan simpangan antar tingkat izin

$$\begin{aligned}\Delta a &= 0,010 \times hsx \\ &= 0,010 \times 4200 \\ &= 42 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{\Delta a}{\rho} &= \frac{42}{1,3} \\ &= 32,307 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\Delta 4 (16,010 \text{ mm}) < \Delta a (32,307 \text{ mm}) \rightarrow \text{OK}$$

Dari Hasil perhitungan di atas memenuhi syarat, karena simpangan antar tingkat ($\Delta 4$) tidak melebihi simpangan antar lantai izin (Δa). Rekapitulasi simpangan antar lantai arah x dapat dilihat pada Tabel 5.13 dan Tabel 5.14 di halaman selanjutnya.

Tabel 5.13 Simpangan antar Lantai Arah X Model Basement

MODEL BASEMENT										
Story	Load Case/Combo	Direction	Delta Total	Delta xe	Cd	Delta x	Story Drift	Tinggi Tingkat	Delta Izin	Cek
			mm	mm		mm		mm	mm	
6	Ex Max	X	12,646	4,591	5,5	25,2505	0,8305	4200	32,30769	OK
5	Ex Max	X	8,055	4,44	5,5	24,42	5,72	4200	32,30769	OK
4	Ex Max	X	3,615	3,4	5,5	18,7	17,8255	4200	32,30769	OK
3	Ex Max	X	0,215	0,159	5,5	0,8745	0,5665	4200	32,30769	OK
2	Ex Max	X	0,056	0,056	5,5	0,308	0,308	1700	13,07692	OK
1	Ex Max	X	0	0	5,5	0	0	1600	12,30769	OK

Tabel 5.14 Simpangan antar Lantai Arah X Model Tanpa Basement

MODEL TANPA BASEMENT										
Story	Load Case/Combo	Direction	Delta Total	Delta xe	Cd	Delta x	Story Drift	Tinggi Tingkat	Delta Izin	Cek
			mm	mm		mm		mm	mm	
6	Ex Max	X	12,649	4,592	5,5	25,256	0,8305	4200	32,30769	OK
5	Ex Max	X	8,057	4,441	5,5	24,4255	5,7255	4200	32,30769	OK
4	Ex Max	X	3,616	3,4	5,5	18,7	17,8255	4200	32,30769	OK
3	Ex Max	X	0,216	0,159	5,5	0,8745	0,561	4200	32,30769	OK
2	Ex Max	X	0,057	0,057	5,5	0,3135	0,3135	1700	13,07692	OK
1	Ex Max	X	0	0	5,5	0	0	1600	12,30769	OK

2. Perhitungan Simpangan Antar Tingkat Arah y

a. Diketahui data sebagai berikut.

- 1) C_d (Faktor Pembesaran Defleksi) = 5,5
- 2) I_e (Faktor keutamaan gempa) = 1
- 3) Δa (Simpangan izin) = 42
- 4) h_{sx} (Tinggi tingkat) = 4200mm
- 5) ρ (Faktor redudansi) = 1,3
- 6) δ_{x4} (Defleksi lantai 4) = 2,51
- 7) δ_{x3} (Defleksi lantai 3) = 0,169

b. Perhitungan simpangan tingkat dibawah ini.

$$\begin{aligned}\Delta_4 &= \frac{(\delta_{x4} - \delta_{x3}) \times C_d}{I_e} \\ &= \frac{(2,51 - 0,169) \times 5,5}{1} \\ &= 12,876 \text{ mm}\end{aligned}$$

c. Perhitungan simpangan antar tingkat izin

$$\begin{aligned}\Delta_a &= 0,010 \times h_{sx} \\ &= 0,010 \times 4200 \\ &= 42 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{\Delta_a}{\rho} &= \frac{42}{1,3} \\ &= 32,307 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\Delta_4 (12,876 \text{ mm}) < \Delta_a (32,307 \text{ mm}) \rightarrow \text{OK}$$

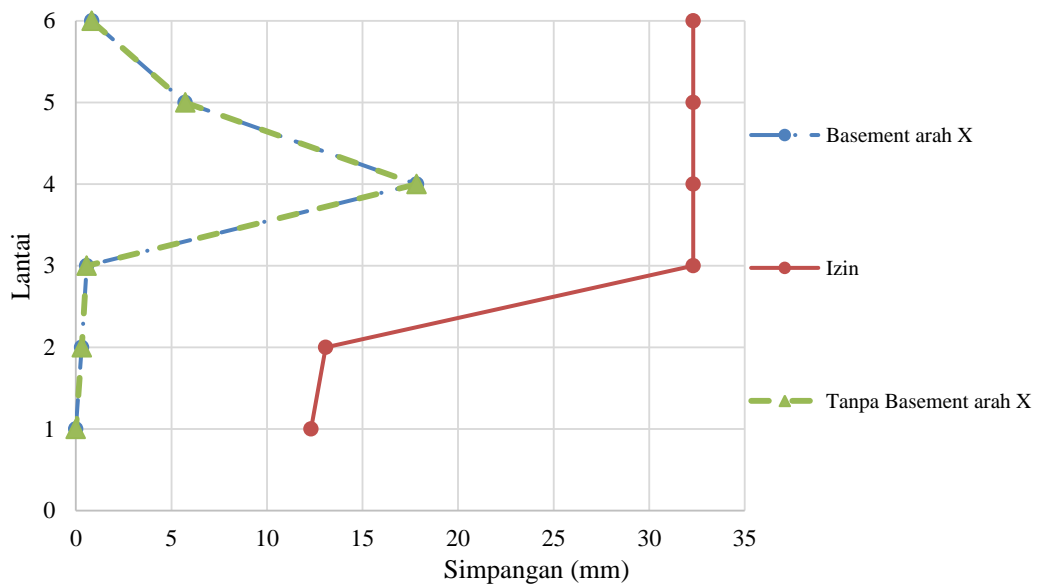
Dari Hasil perhitungan di atas memenuhi syarat, karena simpangan antar tingkat (Δ_4) tidak melebihi simpangan antar lantai izin (Δ_a). Rekapitulasi simpangan antar lantai arah y dapat dilihat pada Tabel 5.15 dan Tabel 5.16 sebagai berikut.

Tabel 5. 15 Simpangan antar Lantai arah Y Model Basement

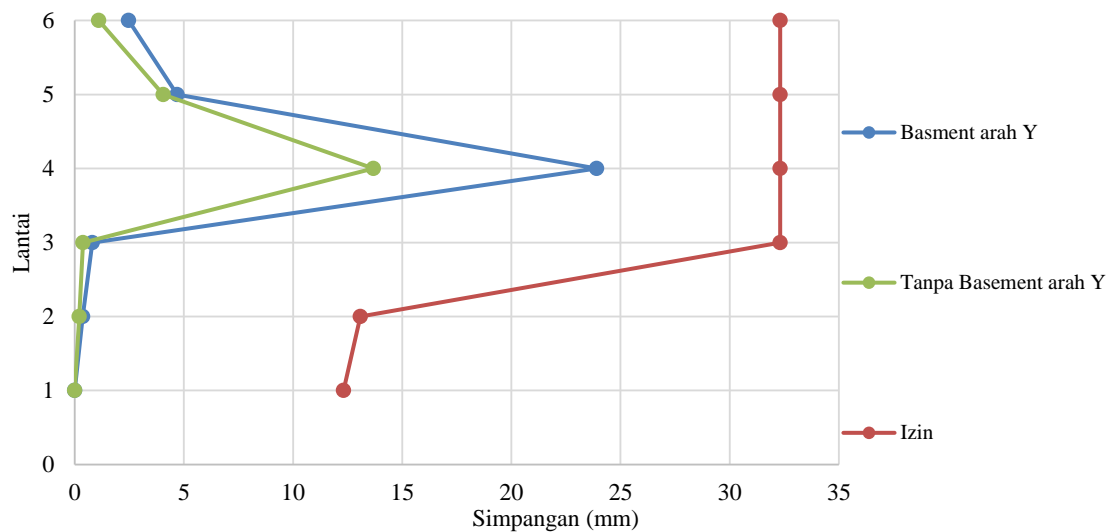
MODEL BASEMENT										
Story	Load Case/Combo	Direction	Delta Total	Delta ye	Cd	Delta y	Story Drift	Tinggi Tingkat	Delta Izin	Cek
			mm	mm		mm		mm	mm	
6	Ey Max	Y	11,799	3,257	5,5	17,9135	2,4695	4200	32,30769	OK
5	Ey Max	Y	8,542	3,706	5,5	20,383	4,686	4200	32,30769	OK
4	Ey Max	Y	4,836	4,558	5,5	25,069	23,903	4200	32,30769	OK
3	Ey Max	Y	0,278	0,212	5,5	1,166	0,803	4200	32,30769	OK
2	Ey Max	Y	0,066	0,066	5,5	0,363	0,363	1700	13,07692	OK
1	Ey Max	Y	0	0	5,5	0	0	1600	12,30769	OK

Tabel 5.16 Simpangan antar Lantai arah Y Model Tanpa Basement

MODEL TANPA BASEMENT										
Story	Load Case/Combo	Direction	Delta Total	Delta ye	Cd	Delta y	Story Drift	Tinggi Tingkat	Delta Izin	Cek
			mm	mm		mm		mm	mm	
6	Ey Max	Y	9,202	3,133	5,5	17,2315	1,0945	4200	32,30769	OK
5	Ey Max	Y	6,069	3,332	5,5	18,326	4,059	4200	32,30769	OK
4	Ey Max	Y	2,737	2,594	5,5	14,267	13,684	4200	32,30769	OK
3	Ey Max	Y	0,143	0,106	5,5	0,583	0,3795	4200	32,30769	OK
2	Ey Max	Y	0,037	0,037	5,5	0,2035	0,2035	1700	13,07692	OK
1	Ey Max	Y	0	0	5,5	0	0	1600	12,30769	OK



Gambar 5.10 Simpangan antar Tingkat Arah X terhadap Simpangan Tingkat Izin



Gambar 5.11 Simpangan antar Tingkat Arah Y terhadap Simpangan Tingkat Izin

5.7 Pengaruh P-Delta

Pengaruh P-Delta berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 7.8.7 menyatakan bahwa koefisien stabilitas (θ) tidak boleh melebihi dari koefisien stabilitas maksimum (θ_{max}). Berikut ini adalah contoh perhitungan koefisien stabilitas pada lantai 4 arah x.

1. Diketahui data sebagai berikut.

$$P \text{ (Beban desain vertikal total)} = 15467,4 \text{ kN}$$

$$\Delta \text{ (Simpangan antar tingkat)} = 18,7 \text{ mm}$$

$$I_e \text{ (Faktor keutamaan gempa)} = 1$$

$$V \text{ (Gaya geser tingkat)} = 1.891,2 \text{ kN}$$

$$h_{sx} \text{ (Tinggi tingkat)} = 4200 \text{ mm}$$

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

$$\beta \text{ (Rasio kebutuhan geser)} = 1$$

2. Perhitungan koefisien stabilitas sebagai berikut.

$$\theta = \frac{P \cdot \Delta \cdot I_e}{V \cdot h_{sx} \cdot C_d}$$

$$= \frac{15467,4 \times 18,7 \times 1}{1891,2 \times 4.200 \times 5,5}$$

$$= 0,0066$$

3. Perhitungan koefisien stabilitas maksimum sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\theta_{\max} &= \frac{0,5}{\beta \cdot C_d} \\ &= \frac{0,5}{1 \cdot 5,5} \\ &= 0,09091\end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan di atas didapatkan nilai koefisien (θ) kurang dari koefisien stabilitas maksimum (θ_{\max}). Sehingga struktur yang ada pada lantai 4 dengan 2 lantai basement adalah struktur yang stabil. Berikut adalah hasil perhitungan pada lantai lainnya yang dapat dilihat pada Tabel 5.17, Tabel 5.18, Tabel 5.19, dan Tabel 5.20 dibawah ini.

Tabel 5.17 Tabel Koefisien Stabilitas Arah X Model Basement

MODEL BASEMENT								
Arah X								
Story	Px	Delta	Ie	Vx	hsx	Cd	Teta	Cek
	kN	mm		kN	mm			
6	2675,6	25,251	1	695,0	4200	5,5	0,0042	Aman
5	8133,4	24,420	1	1399,9	4200	5,5	0,0061	Aman
4	15467,4	18,700	1	1891,2	4200	5,5	0,0066	Aman
3	22470,8	0,875	1	1990,8	4200	5,5	0,0004	Aman
2	25042,3	0,308	1	2027,6	1700	5,5	0,0004	Aman
1	7812,9	0,000	1	496,6	1600	5,5	0,0000	Aman

Tabel 5.18 Tabel Koefisien Stabilitas Arah X Model Tanpa Basement

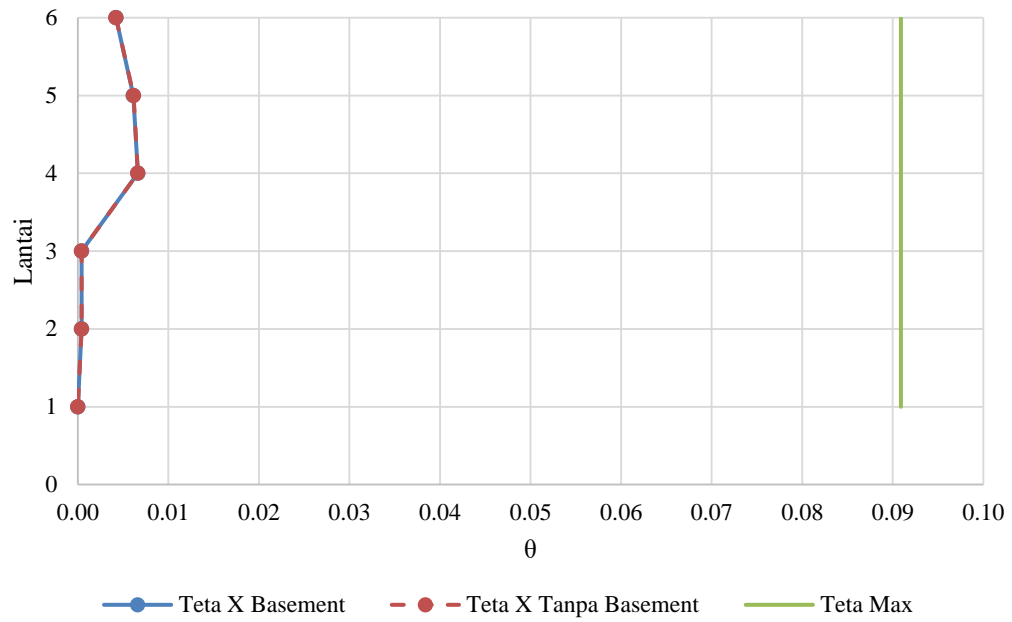
MODEL TANPA BASEMENT								
Arah X								
Story	Px	Delta	Ie	Vx	hsx	Cd	Teta	Cek
	kN	mm		kN	mm			
6	2675,6	25,256	1	695,0	4200	5,5	0,0042	Aman
5	8133,4	24,426	1	1399,9	4200	5,5	0,0061	Aman
4	15467,4	18,700	1	1891,2	4200	5,5	0,0066	Aman
3	22470,8	0,875	1	1990,8	4200	5,5	0,0004	Aman
2	25042,3	0,314	1	2027,6	1700	5,5	0,0004	Aman
1	7812,9	0,000	1	496,6	1600	5,5	0,0000	Aman

Tabel 5.19 Tabel Koefisien Stabilitas Arah Y Model Basement

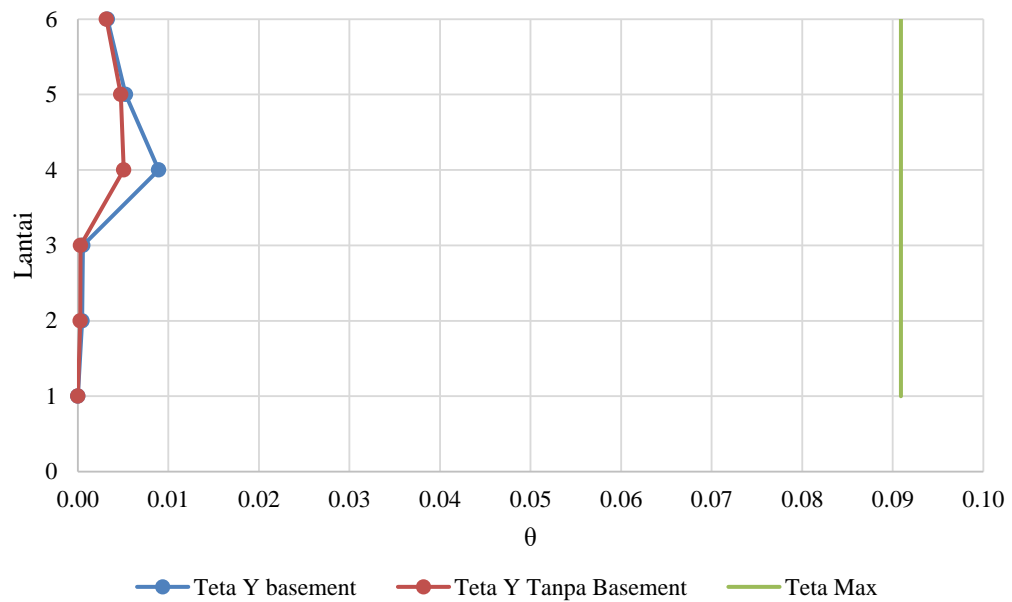
MODEL BASEMENT								
Arah Y								
Story	Px	Delta	Ie	Vy	hsx	Cd	Teta	Cek
	kN	mm		kN	mm			
6	2675,6	17,914	1	632,9	4200	5,5	0,0033	Aman
5	8133,4	20,383	1	1357,6	4200	5,5	0,0053	Aman
4	15467,4	25,069	1	1880,0	4200	5,5	0,0089	Aman
3	22470,8	1,166	1	1984,2	4200	5,5	0,0006	Aman
2	25042,3	0,363	1	2017,8	1700	5,5	0,0005	Aman
1	7812,9	0,000	1	1100,5	1600	5,5	0,0000	Aman

Tabel 5.20 Tabel Koefisien Stabilitas Arah Y Model Tanpa Basement

MODEL TANPA BASEMENT								
Arah Y								
Story	Px	Delta	Ie	Vy	hsx	Cd	Teta	Cek
	kN	mm		kN	mm			
6	2675,6	17,232	1	632,9	4200	5,5	0,0032	Aman
5	8133,4	18,326	1	1357,6	4200	5,5	0,0048	Aman
4	15467,4	14,267	1	1880,0	4200	5,5	0,0051	Aman
3	22470,8	0,583	1	1984,2	4200	5,5	0,0003	Aman
2	25042,3	0,204	1	2017,8	1700	5,5	0,0003	Aman
1	7812,9	0,000	1	1100,5	1600	5,5	0,0000	Aman



Gambar 5.12 Pengecekan P- Delta Arah X



Gambar 5.13 Pengecekan P- Delta Arah Y

5.8 Pembahasan

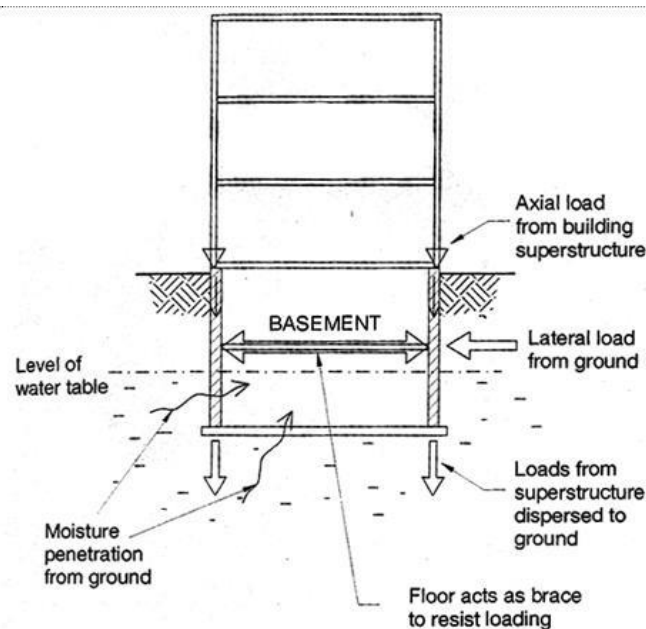
Berdasarkan analisis pemodelan pada gedung perkantoran respon seismik pada ketidakberaturan horisontal model *basement* ditinjau pada arah x *story* 2 dan *story* 3 memiliki nilai *ratio* ketidakberaturan torsi sebesar 1,875 dan 1,746. Model *nonbasement* pada arah x *story* 2 dan *story* 3 memiliki nilai *ratio* ketidakberaturan torsi sebesar 1,573 dan 1,114 mm. Pada model *basement* *ratio* ketidakberaturan torsi lebih besar dari model *nonbasement* pada arah x *story* 2 sebesar 19,199 % dan arah x *story* 3 sebesar 56,732 %.

Model *basement* ditinjau pada arah y *story* 2 dan *story* 3 memiliki nilai *ratio* ketidakberaturan torsi sebesar 1,51 dan 1,62. Model *nonbasement* pada arah y *story* 2 dan *story* 3 memiliki nilai *ratio* ketidakberaturan torsi sebesar 1,418 dan 1,404. Terjadi kenaikan *ratio* ketidakberaturan torsi arah y *story* 2 sebesar 6,488 % dan arah y *story* 3 sebesar 15,384% pada model *basement*. Kenaikan persentase nilai tersebut menunjukkan bahwa bangunan *basement* memiliki respon seismik lebih besar dibandingkan bangunan *nonbasement* pada analisis struktur.

Model *basement* pada arah x *story* 8 memiliki nilai simpangan sebesar 2,110 mm dan model *nonbasement* pada arah x *story* 8 memiliki nilai simpangan sebesar 2,815mm. Model *basement* nilai simpangan puncak struktur lebih kecil 33,412% dibandingkan model *nonbasement*. Hal ini menunjukkan keberadaan lantai *basement* memiliki efek dalam mengurangi pergeseran puncak struktur pada analisis respon seismik.

Model *basement* memiliki nilai *story drift* terbesar pada arah x sebesar 17,825 mm dan arah y sebesar 23,903. Model *nonbasement* memiliki nilai *story drift* terbesar pada arah x sebesar 17,825 mm dan arah y sebesar 13,684 mm. Pada model *basement* *story drift* arah y lebih besar 74,678% dibandingkan model *nonbasement*. Kedua model tersebut masih aman dalam pengecekan simpangan antar lantai izin (Δa). Pada pengecekan P- Δ model *basement* arah y θ terbesar terjadi pada *story* 4 sebesar 0,0089 dan model *nonbasement* arah y θ terbesar pada *story* 4 sebesar 0,0051. Pada model *basement* P- Δ arah y lebih besar 74,51% dibandingkan model *nonbasement*. Kedua model masih dalam batas izin.

Analisis beban lateral akibat gempa dalam pemodelan struktur menghasilkan tekanan yang diterapkan pada setiap lantai bangunan. Besar dari beban gempa yang diterima oleh tiap lantai sebenarnya merupakan hasil dari fungsi pemodelan yang memperhitungkan eksistensi lantai *basement*. Pemodelan struktur dengan *basement* dibandingkan dengan *nonbasement* pada lantai yang sama memiliki elevasi yang lebih besar. Gaya gempa berbanding lurus dengan elevasi lantai. Oleh karena itu, pada pemodelan *basement* akan mempunyai gaya gempa perlantai lebih besar dikarenakan respon seismik pada tanah tidak diabaikan. Uraian pembahasan diatas akan dijelaskan pada gambar dibawah ini.



Gambar 5.14 Gaya Gempa Basement

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis pada bangunan perkantoran yang di tinjau, maka diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Pemodelan pada gedung perkantoran respon seismik pada ketidakberaturan horisontal model *basement* ditinjau pada arah x *story 2* dan *story 3* memiliki nilai *ratio* sebesar 1,875 dan 1,746. Model *nonbasement* pada arah x *story 2* dan *story 3* memiliki nilai *ratio* sebesar 1,573 dan 1,114 mm. Pada model *basement ratio* arah x *story 2* lebih besar 19,199 % dan arah x *story 3* lebih besar 56,732 %. Model *basement* ditinjau pada arah y *story 2* dan *story 3* memiliki nilai *ratio* sebesar 1,51 dan 1,62. Model *nonbasement* pada arah x *story 2* dan *story 3* memiliki nilai *ratio* sebesar 1,418 dan 1,404. Terjadi Model *basement ratio* arah y *story 2* lebih besar 6,488 % dan arah y *story 3* lebih besar 15,384%.
2. Keberadaan *basement* mengakibatkan kenaikan respon seismik pada analisis struktur bangunan dan mengurangi pergeseran puncak struktur pada analisis respon seismik. Keberadaan *basement* menaikkan kinerja struktur arah y lebih besar 74,678% dalam simpangan antar lantai dibandingkan dengan model *nonbasement* dan pada pengecekan P-Delta arah y lebih besar 74,51% dibandingkan model *nonbasement*. Kedua respon struktur tersebut masih dibawah nilai batas izin.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil dan kesimpulan pada penelitian ini, maka dapat diberikan beberapa saran untuk penelitian selanjutnya diantaranya berikut ini.

1. Pada penelitian selanjutnya menggunakan analisis pushover.
2. Perlu adanya pembahasan lebih mendalam reaksi *spring* pada dinding *basement*.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdurrozak, M. R., & Wibowo, N. A. (2016). *Pengaruh Kondisi Ekstrim Terhadap Stabilitas Internal Dinding Penahan Tanah* (Studi Kasus Pada Jalan Nasional III Yogyakarta-wonosari Km 17, Sta 00+ 060). *Teknisia*, 189-200.
- Badan Standarisasi Nasional. (2002). *SNI 1726-2002: Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung SNI*. BSN. Jakarta
- Badan Standarisasi Nasional. (2013). *SNI 1727-2013: Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur lain*. BSN. Jakarta
- Badan Standarisasi Nasional. (2019). *SNI 1726-2019: Tata cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-gedung*. BSN. Jakarta
- Badan Standarisasi Nasional. (2020). *SNI 1727-2020: Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. BSN. Jakarta
- Caglar, N., Sert, S., Imbabi, M. S., & Serdar, A. H. (2015). *The Effect of a Basement Story on the Earthquake Response of RC Buildings Constructed on Soft Surface Soil*. In *3rd International Symposium On Innovative Technologies In Engineering And Science, Valencia, Spain*.
- Hanafi, M. B. and Budi Setiawan. S. T. (2015). *Perencanaan Struktur Apartemen 5 Lantai+ 1 Basement Dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) Di Sukoharjo* [Doctoral dissertation]. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Handayani, L. F. (2019). *PERBANDINGAN RESPONS STRUKTUR BERTINGKAT MENGGUNAKAN ANALISA STATIK EKIVALEN DAN ANALISA DINAMIS SPEKTRUM RESPONS DENGAN PERMODELAN AKIBAT GEMPA BERDASARKAN SNI 1726-2012002E*
- Hary Christady Hardiyatmo (2011). *ANALISIS & PERANCANGAN FONDASI Bagian I*.
- Kim, B., Ji, Y., Kim, M., Lee, Y. J., Kang, H., Yun, N. R., Kim, H., & Lee, J. (2022). Building Damage Caused by the 2017 M5.4 Pohang, South Korea, Earthquake, and Effects of Ground Conditions. *Journal of Earthquake Engineering*, 1–19. <https://doi.org/10.1080/13632469.2020.1785585>

- Munir, M., & Yakin, Y. A. (2018). *Evaluasi Deformasi dan Stabilitas Struktur Tiang Pelat (Pile Slab) di Atas Tanah Gambut (Studi Kasus: Ruas Jalan Tol Pematang Panggang-Kayu Agung, Provinsi Sumatera Selatan)*. *RekaRacana: Jurnal Teknil Sipil*, 4(3), 105.
- Prasetyani, N. H. (2022). *Redesain Struktur Atas Gedung Jogja Apartel Dengan Sistem Rangka Bresing Konsentris Khusus (Redesign Upper Structure Of Jogja Apartel Building With Special Concentrically Braced Frame)* [Skripsi]. Universitas Islam Indonesia.
- Pratama, F. , B. A. S. , & Wibowo, W. (2014). Evaluasi Kinerja Struktur Gedung 10 Lantai dengan Analisis Time History Pada Tinjauan Drift dan Displacement Menggunakan Software Etabs. *Matriks Teknik Sipil*, 2(3).
- Putra M. (2017). *Analisis Gaya Dalam Dan Simpangan Antar Lantai Pada Gedung Ireguler Dengan Menggunakan Variasi Dilatasi (Internal Force and Story Drift Analysis on Irregular Building Using Variations of Building Separation* [Doctoral dissertation]. Universitas Islam Indonesia.
- Rizal, M. D. (2019). *REDESAIN STRUKTUR STADION JATIDIRI SEMARANG* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Sultan Agung).
- Thitimakorn, T., & Channoo, S. (2012). Shear wave velocity of soils and NEHRP site classification map of Chiang Rai City, Northern Thailand. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 17(U), 2891-904.
- Xia, J., Li, Y., Cheng, Y., Li, J., & Tian, S. (2021). Research on compressive sensing of strong earthquake signals for earthquake early warning. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 12(1), 694–715. <https://doi.org/10.1080/19475705.2021.1889689>
- Xu, J., & Lu, Y. (2018). Towards an earthquake-resilient world: from post-disaster reconstruction to pre-disaster prevention. In *Environmental Hazards* (Vol. 17, Issue 4, pp. 269–275). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/17477891.2018.1500878>
- Yuliarto, R. (2004). *Re Desain Struktur Bangunan Gedung Kampus Babarsari UPN" Veteran" Yogyakarta* [Skripsi]. Universitas Islam Indonesia.
- Yuliyanto, E. and Dewandaru. D. I. (2022). *Redesign Struktur Bangunan Gedung Pendidikan Ma'had Institut Agama Islam Negeri Surakarta* [Doctoral dissertation]. Universitas Islam Sultan Agung.

Zhou, H., Che, A., Wang, L., & Wang, L. (2021). *Investigation and mechanism analysis of disasters under Hokkaido Eastern Iburi earthquake*. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 12(1), 1–28.
<https://doi.org/10.1080/19475705.2020.1856201s>.