

**EVALUASI KINERJA SEISMIK STRUKTUR GEDUNG  
APARTEMEN PRINCETON BOUTIQUE LIVING MEDAN  
MENGUNAKAN METODE PUSHOVER**

**SKRIPSI**

**OLEH:**

**BECTIAR NATALIA SITOANG  
198110094**



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MEDAN AREA  
2023**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 29/11/23

Access From (repository.uma.ac.id)29/11/23

**EVALUASI KINERJA SEISMIK STRUKTUR GEDUNG  
APARTEMEN PRINCETON BOUTIQUE LIVING MEDAN  
MENGUNAKAN METODE PUSHOVER**

**SKRIPSI**

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh  
Gelar Sarjana di Fakultas Teknik  
Universitas Medan Area



**Oleh:**

**BECTIAR NATALIA SITOANG  
198110094**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MEDAN AREA  
MEDAN  
2023**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

HALAMAN PENGESAHAN

Judul Skripsi : Evaluasi Kinerja Seismik Struktur Gedung Apartemen  
Princeton Boutique Living Medan Menggunakan Metode  
*Pushover*  
Nama : Bectiar Natalia Sitohang  
NPM : 198110094  
Fakultas : Teknik

Disetujui Oleh:  
Komisi Pembimbing



Samsul A Rahman Sidik Hasibuan, S.T., M.T  
Pembimbing



Dr. Rahmad H. S.Kom., M.Kom



Eka Ernita Wulandari, S.T., M.T  
Ka. Program Studi

Tanggal Lulus : 11 Agustus 2023

### **HALAMAN PERNYATAAN**

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana merupakan hasil karya tulis sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah. Saya bersedia menerima saksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan saksi-sanksi lainnya dengan peraturan yang berlaku, apabila di kemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.



**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---


---

Sebagai sivitas akademik Universitas Medan Area, saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Bectiar Natalia Sitohang  
NPM : 198110094  
Program Studi : Teknik Sipil  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non Exclusive Royalty Free-Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul : Evaluasi Kinerja Seismik Srtuktur Gedung Apartemen Princeton Boutique Living Medan Menggunakan Metode *Pushover*. Dengan hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.  
Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Medan  
Pada tanggal : 11 Agustus 2023  
Yang menyatakan

  
(Bectiar Natalia Sitohang)

## RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Sihorbohorbo pada tanggal 24 Desember 2000 dari Ayah Sarpan Sitohang dan Ibu Tianda Habeahan. Penulis merupakan putri pertama dari 4 bersaudara. Tahun 2019 Penulis lulus dari SMA N 1 SIANJURMULAMULA, Kecamatan Sianjurmulamula, Kabupaten Samosir, Provinsi Sumatera Utara dan pada tahun 2020 terdaftar sebagai Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Medan Area. Pada tahun 2022 Penulis melaksanakan Praktek Kerja Lapangan (PKL) di Proyek Pembangunan Sekolah Tinggi Prsadha Jinadhammo Mmtc Pancing, Medan, Sumatera Utara.

Medan, 11 Agustus 2023

Penulis



Bectiar Natalia Sitohang

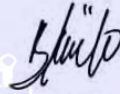


## KATA PENGHANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan yang maha kuasa atas segala karunia-Nya sehingga Skripsi ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam skripsi ini ialah Meninjau Kinerja Struktur Dengan Metode *Pushover* dengan judul Evaluasi Kinerja Seismik Srtuktur Gedung Apartemen *Princeton Boutique Living* Medan Menggunakan Metode *Pushover*.

Terima kasih penulis sampaikan kepada Bapak Samsul A Rahman Sidik Hasibuan, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing dan Ibu Tika Ermita Wulandari, S.T., M.T. selaku Ka. Prodi Teknik Sipil yang telah banyak memberikan saran. Disamping itu penghargaan penulis sampaikan kepada Alexius Hulu, Rinto Sitorus dan Salehman Gulo yang telah banyak membantu penulis selama penyusunan skripsi. Terimakasih juga penulis ucapkan kepada Kim Namjoon, kim Seokjin, Min Yoongi, Jung Hoseok, Park Jimin, Kim Taehyung, Jeon Jungkook (BTS), kepada Park Chanyeol dan Ji Chang Wook karena karya seni yang sudah menemani penulis dalam menempuh pendidikan. Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada Ayah Sarpan Sitohang, Ibu Tianda Habeahan serta seluruh keluarga atas segala doa dan perhatiannya. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu, krtitik dan saran sangat penulis harapkan demi kesempurnaan skripsi ini. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi kalangan akademik maupun masyarakat. Akhir kata penulis ucapkan terima kasih.

Penulis



(Bectiar Natalia Sitohang)

## ABSTRAK

Wilayah kota Medan merupakan salah satu daerah yang beresiko tinggi terjadinya gempa, sehingga sangat berdampak pada bangunan gedung yang berada di wilayah tersebut. Apartemen Princeton Boutique Living merupakan salah satu gedung 28 tingkat yang berada di kota Medan. Dalam penelitian ini telah dilakukan simulasi gedung Apartemen Princeton Boutique Living menggunakan metode analisis statik nonlinier *pushover* dengan bantuan software SAP2000. Metode analisis statik nonlinier *pushover* terbagi menjadi 2 bagian, pertama *displacement* target untuk bangunan didirikan. *Displacement* target merupakan perkiraan perpindahan puncak bangunan saat terkena eksitasi gempa rencana. Kemudian dilakukan analisis *pushover* pada bangunan sampai perpindahan puncak bangunan sama dengan *displacement* target. Kedua, tipe gaya terkontrol dimana jumlah total gaya yang bekerja diestimasi dan diterapkan pada struktur dan analisis dilakukan. Berbagai level kinerja untuk sebuah bangunan dinyatakan dalam bentuk *base shear* yang dipikul versus *displacement* atap. Jika semua *plastic hinge* terbentuk berada dalam batas *Collapse Prevention* (CP) maka struktur dikatakan masih aman. Sebaliknya, jika *plastic hinge* yang terbentuk melebihi batas CP maka dikatakan struktur runtuh. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja dan perilaku nonlinier struktur gedung apartemen Princeton Boutique Living. Selanjutnya, hasil analisis menunjukkan bahwa Apartemen Princeton Boutique Living masih dalam batas CP. Hasil dari penelitian yang dilakukan pada proyek pembangunan gedung apartemen Princeton Boutique Living menunjukkan bahwa nilai dari gaya gempa dasar 8877752 kgf, untuk arah-X dan nilai gaya gempa dasar 73935405 KN, untuk arah-Y yang menyebabkan terjadinya *displacement* untuk arah-X sebesar 119,744 mm dan *displacement* untuk arah-Y sebesar 30,055 mm. dari evaluasi kinerja yang dilakukan gedung berada di level *Immediate Occupancy* (IO) yang artinya gedung aman.

**Kata kunci** : nonlinier *pushover*, perilaku struktur, *displacement*



## ABSTRACT

*The Medan city area is one of the areas with a high risk of earthquakes, so it greatly impacts the buildings in the area. The Princeton Boutique Living Apartment is one of the 28-level buildings in the city of Medan. In this study, a simulation of the Princeton Boutique Living Apartment building was carried out using the non-linear static pushover analysis method with the help of SAP2000 software. Non-linear static pushover analysis method is divided into 2 parts, the first displacement target for the building is established. The displacement target is an estimate of the peak contraction of the building when exposed to the design earthquake excitation. Then a pushover analysis is carried out on the building until the top of the building locks the same as the displacement target. Second, the type of force is recorded where the total amount of acting force is estimated and applied to the structure and analysis is carried out. Various levels of performance for a building are expressed in terms of base shear carried versus roof displacement. If all plastic hinges formed are within the limits of Collapse Prevention (CP) then the structure is said to be safe. Conversely, if the plastic hinge formed exceeds the CP limit then the structure is said to have collapsed. This study aims to determine the performance and nonlinear behavior of the structure of the Princeton Boutique Living apartment building. Furthermore, the results of the analysis show that the Princeton Boutique Living Apartment is still within the CP limit.*

**Keywords :** *non-linear pushover, performance, displacement*

## DAFTAR ISI

COVER.....	i
HALAMNA JUDUL.....	ii

### HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Medan Area, saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Bectiar Natalia Sitohang  
NPM : 198110094  
Program Studi : Teknik Sipil  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area Hak Bebas Royalti Noneklusif (*Non Exclusive Royalty Free-Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul : Evaluasi Kinerja Seismik Srtuktur Gedung Apartemen Princeton Boutique Living Medan Menggunakan Metode *Pushover*. Dengan hak Bebas Royalti Noneklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.  
Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Medan  
Pada tanggal : 11 Agustus 2023  
Yang menyatakan

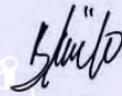
  
(Bectiar Natalia Sitohang)

## KATA PENGHANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan yang maha kuasa atas segala karunia-Nya sehingga Skripsi ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam skripsi ini ialah Meninjau Kinerja Struktur Dengan Metode *Pushover* dengan judul Evaluasi Kinerja Seismik Srtuktur Gedung Apartemen *Princeton Boutique Living* Medan Menggunakan Metode *Pushover*.

Terima kasih penulis sampaikan kepada Bapak Samsul A Rahman Sidik Hasibuan, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing dan Ibu Tika Ermita Wulandari, S.T., M.T. selaku Ka. Prodi Teknik Sipil yang telah banyak memberikan saran. Disamping itu penghargaan penulis sampaikan kepada Alexius Hulu, Rinto Sitorus dan Salehman Gulo yang telah banyak membantu penulis selama penyusunan skripsi. Terimakasih juga penulis ucapkan kepada Kim Namjoon, kim Seokjin, Min Yoongi, Jung Hoseok, Park Jimin, Kim Taehyung, Jeon Jungkook (BTS), kepada Park Chanyeol dan Ji Chang Wook karena karya seni yang sudah menemani penulis dalam menempuh pendidikan. Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada Ayah Sarpan Sitohang, Ibu Tianda Habeahan serta seluruh keluarga atas segala doa dan perhatiannya. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu, krtitik dan saran sangat penulis harapkan demi kesempurnaan skripsi ini. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi kalangan akademik maupun masyarakat. Akhir kata penulis ucapkan terima kasih.

Penulis



(Bectiar Natalia Sitohang)

vii

ABSTRAK ..... viii

*ABSTRACT* ..... ix

DAFTAR ISI ..... X

<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xv
Halaman .....	xv
<b>BAB I</b> .....	1
<b>PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	3
1.5. Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat Penelitian .....	4
<b>BAB II</b> .....	5
<b>TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
2.1. Defenisi Gempa Bumi.....	5
2.2. Peneliti Terdahulu.....	6
2.3. Perbedaan Dengan Peneliti Terdahulu .....	10
2.4. Konsep Bangunan Tahan Gempa.....	11
<b>2.4.1. Daktilitas</b> .....	<b>11</b>
<b>2.4.2. Stabilitas</b> .....	<b>12</b>
<b>2.4.3. Integritas</b> .....	<b>15</b>
<b>1.4.4. Kolom Kuat Balok Lemah (<i>Strong Column Weak Beam</i>)..</b>	<b>16</b>
1.5. Peta Wilayah Gempa.....	17
1.7. Struktur Penahan Gaya Seismik.....	21
1.8. Kekakuan Struktur .....	21
1.9. Respons Spektrum Desain .....	22
1.10. Analisis Gaya Lateral Ekuivalen.....	29
<b>2.10.1. Periode Alami Struktur</b> .....	<b>29</b>

2.10.2.	<b>Distribusi Vertikal Gaya Gempa .....</b>	<b>30</b>
2.10.3.	<b>Distribusi Horizontal Gaya Gempa .....</b>	<b>31</b>
2.10.4.	<b>Analisis Ragam Spektrum Respons.....</b>	<b>32</b>
2.10.5.	<b>Pembebanan dan Kombinasi Pembebanan .....</b>	<b>32</b>
2.11	<i>Pushover Analisis</i> .....	34
3.11.1.	<b>Metode spektrum kapasitas, yang mengacu pada ATC-</b>	
<b>40.</b>	<b>34</b>	
2.11.2.	<b>Metode Koefisien Perpindahan yang mengacu pada</b>	
<b>FEMA 35635</b>		
BAB III .....		36
METODOLOGI PENELITIAN.....		36
3.1.	Deskripsi Penelitian .....	36
3.2.	Lokasi Penelitian.....	36
3.3.	Tahapan Penelitian.....	37
3.4.	Data Struktur Gedung .....	38
3.4.1.	<b>Data Gedung Penelitian .....</b>	<b>38</b>
3.4.2.	<b>Data Material.....</b>	<b>38</b>
3.4.3.	<b>Dimensi Struktur.....</b>	<b>39</b>
BAB IV .....		55
HASIL DAN PEMBAHASAN.....		55
4.1	<b>Kurva Kapasitas arah-X (kurva <i>Pushover</i>) .....</b>	<b>58</b>
4.2	<b>Kurva Kapasitas arah-Y (kurva <i>Pushover</i>) .....</b>	<b>61</b>
4.3	Analisis ATC-40 .....	63
4.3.1	<b>Analisis Pada Arah-X .....</b>	<b>63</b>

4.3.2 Analisis Pada Arah-Y.....	64
BAB V.....	66
KESIMPULAN DAN SARAN.....	66
5.1. Kesimpulan .....	66
5.2. Saran.....	67



## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1 Parameter gerak tanah $S_1$ , gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget ( $MCER$ ) wilayah Indonesia untuk spektrum respons 1-detik (redaman kritis 5%).....	18
Gambar 2 Parameter gerak tanah $S_s$ , gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget wilayah ( $MCER$ ) Indonesia untuk spektrum respons 0,2-detik (redaman kritis 5 %).....	19
Gambar 3 Ketidakberaturan horizontal.....	20
Gambar 4 Ketidakberaturan vertikal.....	21
Gambar 5 Spekturm desain.....	27
Gambar 6 Titik Performa.....	35
Gambar 7 Lokasi Penelitian.....	36
Gambar 8 Diagram Alir Penelitian.....	37
Gambar 9 Penggambaran <i>Grid</i> .....	48
Gambar 10 Pendefinisian material.....	48
Gambar 11 Pendefinisian dimensi balok.....	49
Gambar 12 Pendefinisian dimensi kolom.....	49
Gambar 13 Penginputan nilai beban mati tambahan dan beban hidup pada balok.....	50
Gambar 14 Penginputan nilai beban lateral arah-X dan arah-Y.....	50
Gambar 15 Input Diafragma pada <i>joint</i> .....	51
Gambar 16 Input <i>nonlinier pushover case</i> arah-X.....	51
Gambar 17 Input <i>nonlinier pushover case</i> arah-Y.....	52
Gambar 18 Input <i>hinges</i> pada balok.....	52
Gambar 19 Input <i>hinges</i> pada balok.....	53
Gambar 20 Input nilai <i>Hinges</i> pada kolom dan balok.....	54
Gambar 21 Pemodelan Gedung Apartemen Princeton Boutique Living.....	56
Gambar 22 Periode getar alami struktur mode 1.....	57
Gambar 23 Periode getar alami struktur mode 2.....	57
Gambar 24 Kurva kapasitas arah-X.....	59
Gambar 25 Push arah-X step ke-7.....	60
Gambar 26. Push arah-Y step ke-12.....	61
Gambar 27. Kurva kapasitas arah-Y.....	62

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1 Perbedaan dengan peneliti terdahulu .....	10
Tabel 2 Faktor $R$ , $Cd$ , dan $\Omega_0$ untuk sistem pemikul gaya seismik .....	22
Tabel 3. Klasifikasi Situs .....	23
Tabel 4. Ukuran dimensi kolom yang digunakan. ....	39
Tabel 5. ukuran tebal pelat yang digunakan. ....	41
Tabel 6. beban mati pelat lt dasar – lt 2 .....	42
Tabel 7. Beban mati pelat lt 2,3,4,5,6,(mezzanine).....	43
Tabel 8. Beban mati pelat lt ,3,4,5,6,7 dan 7 mezzanine.....	43
Tabel 9. beban mati pelat lt 8 – lt 20.....	43
Tabel 10. Beban mati pelat roof.....	44
Tabel 11. Beban Mati Tambahan dinding pada balok 2,75 m .....	44
Tabel 12. Beban Mati Tambahan dinding pada balok 3,30 m .....	44
Tabel 13. Beban Mati Tambahan dinding pada balok 3,5 m .....	45
Tabel 14. Beban Mati Tambahan dinding pada balok 4 m .....	45
Tabel 15. Beban Mati Tambahan dinding pada balok 5,5 m. ....	45
Tabel 16. Beban Mati Tambahan dinding pada balok 7 m .....	45
Tabel 17. Beban Mati Tambahan dinding pada balok 7,5 m. ....	46
Tabel 18. Berat Bangunan Per Lantai .....	48
Tabel 19. <i>Step by step</i> analisis <i>pushover</i> arah X .....	60
Tabel 20. <i>Step by step</i> analisis <i>pushover</i> arah Y .....	63



## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1 Denah Bangunan.....	70
Lampiran 2 Dimensi Kolom.....	71
Lampiran 3 Gambar Potongan .....	74
Lampiran 4 Gambar 3D.....	75
Lampiran 5 Tabel Ketidakberaturan horizontal pada struktur SNI 1726;2019....	76
Lampiran 6 Ketidak Beraturan Vertikal Pada Struktur SNI 1726;2019. ....	77
Lampiran 7 Tabel Kategori risiko bangunan gedung dan nongedung untuk beban gempa.....	78
Lampiran 8 Tabel Faktor keutamaan gempa berdasarkan SNI 1726;2019.....	80
Lampiran 9 Tabel Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek.....	80
Lampiran 10 Tabel Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik berdasarkan SNI 1726;2019. ....	80
Lampiran 11 Tabel Prosedur analisis yang boleh digunakan berdasarkan SNI 1726;2019.....	80
Lampiran 12 Tabel Faktor $R$ , $C_d$ , dan $\Omega_0$ untuk sistem pemikul gaya seismik	81
Lampiran 13 Tabel Klasifikasi Situs.....	81
Lampiran 14 Tabel Koefisien situs, $F_a$ .....	82
Lampiran 15 Tabel Koefisien situs, $F_v$ .....	82
Lampiran 16 Tabel Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung .....	83
Lampiran 17 Tabel Parameter pendekatan $C_t$ dan $x$ .....	83

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan daerah rawan gempa, baik gempa skala kecil maupun skala besar karena Indonesia terletak pada jalur gempa Pasifik yaitu *Circum Pasific Earthquake Belt* dan jalur gempa Asia yaitu *Trans Asiatic Earthquake Belt*. Selain itu, Indonesia juga merupakan daerah pertemuan 3 (tiga) lempeng tektonik besar, yaitu lempeng Pasifik, lempeng Eurasia, dan lempeng Indo-Australia. Hal ini menimbulkan banyak korban jiwa dan kerugian akibat kerusakan bangunan. Oleh karena itu, Indonesia harus lebih waspada terhadap gempa bumi karena dapat terjadi kapan saja (Gunawan,2018).

Wilayah kota Medan merupakan salah satu daerah yang beresiko tinggi terjadinya gempa sehingga sangat berdampak pada bangunan yang berada di wilayah tersebut. Melihat dari efek yang ditimbulkan oleh gempa maka perlu perencanaan suatu bangunan konstruksi yang tidak hanya mementingkan aspek keindahan, tetapi juga ketahanan gedung tersebut. Madu tujuh (2010) menyatakan bukan gempa yang membunuh, ataupun gedungnya, tetapi gedung yang didesain dengan buruk. Karena itu, maka diperlukan bangunan tahan gempa yang didesain secara detail sesuai peraturan dan tata cara perencanaan yang ditetapkan.

Salah satu aturan perencanaan untuk mendirikan bangunan adalah bangunan tersebut harus mampu menahan beban gempa yang ada, tidak terjadi kerusakan berat pada struktur jika terkena beban gempa, karena prinsip bangunan tahan gempa adalah boleh terjadi kerusakan pada bangunan tersebut, tetapi tidak pada elemen struktur. Karena adanya pengaruh gaya lateral yang diakibatkan oleh

gempa maka terjadi penurunan kinerja pada struktur. Evaluasi kinerja seismik sangat penting dalam memastikan bahwa gedung-gedung tinggi, seperti apartemen, dapat bertahan dan berperilaku dengan baik saat terjadi gempa bumi. Mengingat bahwa Medan adalah kota yang terletak di daerah dengan potensi risiko gempa, penulis tertarik untuk memastikan bahwa bangunan-bangunan ini dapat melindungi penghuninya dan masyarakat secara keseluruhan dimana jumlah lantai dari bangunan ini adalah 28 lantai.

Penelitian tentang evaluasi kinerja seismik menggunakan metode *pushover* merupakan kontribusi terhadap pengembangan ilmu pengetahuan di bidang teknik struktur. Penulis tertarik dalam mendalami dan memahami yang lebih mendalam tentang metode ini serta bagaimana hasil dapat diterapkan dalam kasus konkret. Metode *pushover* merupakan salah satu teknik yang lebih canggih dalam menganalisis respons struktur terhadap gempa bumi. Dilihat dari segi kemajuan teknologi penulis juga tertarik untuk menggali bagaimana teknologi ini dapat diterapkan dalam lingkungan lokal seperti apartemen di Medan.

Memahami lebih lanjut dalam evaluasi kinerja seismik dan metode *pushover* dapat meningkatkan profil profesional penulis dan membuka peluang karir di bidang rekayasa struktur, penelitian, atau konsultasi teknik terkait. Tujuan utama dalam menentukan simpangan antar-tingkat adalah meminimalkan risiko terjadinya pelelehan (*yielding*) pada elemen baja dan peretakan (*cracking*) pada elemen beton. Selain itu, mengontrol simpangan antar-tingkat juga penting untuk mencegah kerusakan nonstruktural seperti retak pada dinding, langit-langit, dan lapisan pelapis, serta untuk menjaga kenyamanan penghuni gedung selama gempa. Analisis statik nonlinier *pushover* adalah teknik analisis yang digunakan

dalam rekayasa struktur untuk menggambarkan perilaku inelastis suatu struktur terhadap beban lateral yang berulang atau dinamis, seperti beban gempa.

Metode ini biasanya digunakan untuk mengidentifikasi pola keruntuhan yang mungkin terjadi pada struktur dan untuk menentukan kapasitas struktur sebelum terjadi kerusakan yang signifikan. Analisis *Pushover* adalah analisis statik non-linier dimana pengaruh gempa rencana terhadap struktur bangunan gedung dianggap sebagai beban-beban statik yang diterima pada pusat massa tiap lantai. Kemudian bebannya ditingkatkan secara bertahap sampai satu target perpindahan lateral dari suatu titik acuan tercapai (Suwandi, 2019). Tujuan analisis *pushover* adalah untuk memperkirakan gaya maksimum dan deformasi yang terjadi serta memperoleh informasi bagian mana saja yang kritis. Selanjutnya dapat diidentifikasi bagian-bagian yang memerlukan perhatian khusus untuk pendetailan atau stabilitasnya. Proses *pushover* akan menghasilkan kurva kapasitas yang akan menggambarkan kondisi linear sebelum mencapai titik leleh (Hasibuan,2023).

## 1.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang didapat dari penelitian ini antara lain:

1. Bagaimana perilaku struktur Gedung Apartemen *Princeton Boutique Living*, Medan saat terjadi gempa?
- 1.3. Bagaimana kinerja dari struktur Gedung Apartemen *Princeton Boutique Living*, Medan saat terkena gempa?

## 1.4. Maksud dan Tujuan Penelitian

Adapun maksud dan tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana perilaku non-linier dan kinerja struktur gedung Apartemen *Princeton*

*Boutique Living*, Medan akibat gempa dengan memperoleh grafik pushover arah X dan arah Y yang diakibatkan oleh gaya lateral serta mengetahui besar nilai *displacement* yang dihasilkan.

### 1.5. Batasan Masalah

Batasan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis struktur gedung setelah menerima beban gempa menggunakan SAP2000v14 berdasarkan peraturan pembebanan gempa SNI 1726 – 2019.
2. Pembebanan gedung meliputi :
  - a. Beban mati (berupa berat sendiri struktur)
  - b. Beban hidup (sesuai dengan PBI 1983).
  - c. Beban lateral (berupa beban gempa).
  - d. Dalam analisis ini beban angin tidak di perhitungkan.
  - e. Struktur gedung mengikuti aturan perencanaan SNI 2847-2019.
3. Peta sumber dan bahaya gempa yang digunakan adalah peta sumber gempa tahun 2017.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang penulis dapatkan dalam penelitian ini adalah:

1. Memahami perilaku serta kinerja struktur setelah menerima beban gempa.
2. Menambah pemahaman penulis tentang program Sap 2000.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Defenisi Gempa Bumi**

Gempa dapat menyebabkan masalah yang menghambat pada aktivitas makhluk hidup. Gempa bumi terjadi karena pelepasan energi akibat dari tekanan lempeng yang mengalami pergerakan (Tampubolon,2022). Gempa bumi biasanya terjadi pada perbatasan lempeng yang sangat beresiko terjadi pada perbatasan lempengan kompresional serta translasional. Secara umum gempa bumi dibagi menjadi tiga jenis yaitu:

##### **1. Tektonisme**

Getaran yang diakibatkan oleh tektonisme berasal dari dalam bumi yang mengakibatkan patahan pada kulit bumi. Tenaga tektonik dibedakan menjadi 2 macam yaitu gerak oroganesa dan gerak epiroganesa. Gerak oroganesa adalah getaran endogen yang relatif cepat dan meliputi daerah yang cukup sempit, getaran ini menyebabkan terbentuknya pegunungan. Sedangkan getaran epiroganesa dibagi menjadi 2 bagian yaitu getaran epiroganesa positif dan getaran negative. Getaran epiroganesa positif terjadi ketika permukaan bumi turun sehingga seolah-olah laut terlihat naik dan getaran epiroganesa negatif terjadi ketika permukaan bumi bergerak naik sehingga seolah-olah laut terlihat turun.

##### **2. Vulkanisme**

Vulkanisme merupakan gejala alam yang terjadi akibat adanya aktivitas magma. Vulkanisme terjadi akibat adanya tektonisme yang mengakibatkan aliran lava dalam litosfer ke lapisan atasnya.

### 3. Seisme

Salah satu penyebab terjadinya gempa bumi karena adanya pelepasan energi dari dalam secara tiba-tiba yang menciptakan gelombang seismik. Energi yang dihasilkan menyebar ke segala arah sehingga efeknya sampai kepermukaan bumi. Maka dapat disimpulkan bahwa penyebab utama terjadinya gempa bumi berawal dari adanya gaya pergerakan didalam interior bumi (gaya konveksi material) yang menekan kerak bumi (*outer layer*) yang bersifat rapuh, sehingga ketika kerak bumi tidak lagi kuat dalam merespon gaya gerak dari dalam bumi tersebut maka akan membuat sesar dan menghasilkan gempa bumi. Akibat gaya gerak dari dalam bumi ini maka kerak bumi telah terbagi-bagi menjadi beberapa fragmen yang disebut lempeng (*plate*).

#### 2.2. Peneliti Terdahulu

Berikut ini adalah hasil dari beberapa peneliti terdahulu:

1. Firdha, 2021 dengan judul penelitian Analisis Kinerja Struktur Gedung Bertingkat Terhadap Beban Gempa Dengan Metode *Pushover Analysis* (Studi Kasus: Gedung Rawat Inap Non – Bedah Rumah Sakit Umum Daerah Dr. H. Abdul Moeloek). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis struktur dalam memenuhi persyaratan keamanan berdasarkan SNI 1726:2019 dengan tinjauan simpangan antar tingkat dan ATC-40 yang ditinjau berdasarkan *maximum total drift* serta melihat mekanisme keruntuhan yang terjadi. Analisis struktur yang dilakukan menggunakan metode *pushover analysis* dengan bantuan program analisis struktur. Dari hasil, didapatkan nilai metode *pushover analysis* dengan bantuan program

analisis struktur. Dari hasil, didapatkan nilai *displacement* dengan metode ATC-40 sebesar 63,939 mm arah-x dan 85,299 mm arah-y. Level kinerja yang dihasilkan adalah *immediate occupancy* dimana elemen struktural dan non-struktural mengalami kerusakan minimum sehingga bangunan tetap aman digunakan kembali. Mekanisme keruntuhan struktur menunjukkan konsep mekanisme *strong column – weak beam*. Simpangan antar tingkat yang terjadi masih dalam kategori aman karena tidak melebihi simpangan antar tingkat izin yaitu 42 mm. Hasibuan, 2023 Analisis non-linear yang sederhana namun akurat diperlukan untuk menentukan kinerja struktur di bawah beban gempa. Metode spektrum kapasitas (*pushover analysis*) didokumentasikan dalam ATC 40 adalah bentuk linearisasi setara berdasarkan dua dasar asumsi: periode garis potong dan redaman ekuivalen. Titik kinerja memperkirakan di mana kapasitas struktur dapat menahan beban yang diberikan; Dalam hal kinerja, tingkat kerusakan kategori struktur berdasarkan perpindahan lateral dapat dilihat. Diasimulasikan gempa akan mengguncang gedung DPRD Klaten dengan magnitudo 7,0 dan 20 km dari pusat gempa. Jumlah PGA(g) akan dihitung berdasarkan persamaan Cornell dkk. Pemodelan struktur bangunan dilakukan dengan bantuan ETABS v9.7.4.

2. Hasibuan, 2023 Analisis non-linear yang sederhana namun akurat diperlukan untuk menentukan kinerja struktur di bawah beban gempa. Metode spektrum kapasitas (*pushover analysis*) didokumentasikan dalam ATC 40 adalah bentuk linearisasi setara berdasarkan dua dasar asumsi: periode garis potong dan redaman ekuivalen. Titik kinerja memperkirakan



di mana kapasitas struktur dapat menahan beban yang diberikan; Dalam hal kinerja, tingkat kerusakan kategori struktur berdasarkan perpindahan lateral dapat dilihat. Diasimulasikan gempa akan mengguncang gedung DPRD Klaten dengan magnitudo 7,0 dan 20 km dari pusat gempa. Jumlah PGA(g) akan dihitung berdasarkan persamaan Cornell dkk. Pemodelan struktur bangunan dilakukan dengan bantuan ETABS v9.7.4.

3. Turuallo, 2022 dengan judul penelitian Kinerja Portal Struktur Gedung Tahan Gempa dengan Sistem Ganda Menggunakan Metode *Pushover Analysis*. Struktur yang direncanakan dalam tulisan ini berupa perkantoran berlantai 7 (tujuh), dengan denah yang didesain simetris. Sistem penahan gaya gempa yang digunakan adalah sistem ganda dengan rangka beton bertulang pemikul momen khusus (SRPMK) dan dinding geser beton bertulang khusus. Material struktur yang digunakan dalam perencanaan adalah beton dengan mutu  $f'c = 30$  MPa, baja tulangan BjTP Grade 24 ( $f_y = 235$  MPa), dan baja tulangan BjTD Grade 40 ( $f_y = 390$  MPa). Dari proses perencanaan, dihasilkan elemen struktur yaitu balok induk  $40 \times 60$  cm<sup>2</sup> dengan tulangan bervariasi dari 4D22 sampai 12D22 untuk daerah tumpuan dan 3D22 sampai 5D22 untuk daerah lapangan; balok anak  $25 \times 40$  cm<sup>2</sup> dengan tulangan 2D22 untuk daerah tumpuan maupun daerah lapangan; kolom  $95 \times 95$  cm<sup>2</sup> dengan tulangan bervariasi dari 20D25 sampai 28D25; dinding geser dengan ketebalan 30 cm yang dipasang tulangan 2D22-175 untuk dinding arah-X, sedangkan dinding arah-Y dipasang tulangan 2D22-125; dan pelat dengan ketebalan 12 cm yang dipasang tulangan  $\emptyset 12$ -200. Untuk struktur bawah digunakan balok pengikat dengan dimensi  $40 \times 55$

cm<sup>2</sup> dengan tulangan bervariasi dari 2D22 sampai 4D22 untuk daerah tumpuan dan 3D22 sampai 5D22 untuk daerah lapangan. Hasil dari analisis *pushover* menunjukkan maximum total *drift* sebesar 0,00425 yang berarti kinerja struktur berada pada level *Immediate Occupancy*.

4. Istiono, 2020 dengan judul penelitian Analisis Pengaruh *P-Delta Effect* Terhadap Perbedaan Ketinggian Struktur Gedung Tahan Gempa (Studi Kasus: *Non-Highrise Building*). Untuk konservatif alasan analisis *P-Delta Effect* perlu diperhatikan karena rasio pembangunan gedung akan selalu meningkat setiap waktu. menurut SNI 1726-2019 efek *P-Delta* hanya diperlukan untuk desain gedung-gedung tinggi. Dalam hal ini, efek *P-Delta* akan diperhitungkan dalam pemodelan bangunan non-tinggi dan dapatkan hasil bahwa *P-Delta Effect* meningkatkan kekuatan cerita: momen bangunan di bawah 10%.
5. Nabhilla, 2020 dengan judul penelitian Analisis Perilaku Struktur Perkantoran Tahan Gempa Menggunakan Metode *Pushover Analysis*. Penelitian ini mengenai analisis struktur gedung perkantoran delapan lantai terhadap beban gempa dan mengetahui tingkat kinerja struktur dengan mengacu pada ATC-40. Konsep yang digunakan untuk rekayasa gempa yaitu *Performance Based Seismic Evaluation (PBSE)* dengan salah satu metode yang digunakan untuk melakukan evaluasi struktur adalah metode *Pushover Analysis*. Metode ini berupa pemberian beban lateral statik pada struktur yang ditingkatkan secara bertahap sampai terjadi keruntuhan pada elemen struktur dan menghasilkan suatu target perpindahan struktur. Acuan yang digunakan dalam menentukan target perpindahan adalah ATC 40,

FEMA 356, dan FEMA 440. Hasil dari analisis berupa target perpindahan sebesar 0,015 m pada arah X dan arah Y serta didapatkan nilai maksimum total *drift* sebesar 0,0066 m pada arah X dan 0,00273 m pada arah Y. Berdasarkan deformasi struktur dan kriteria pada ATC 40 kondisi struktur berada pada tingkat kinerja *Immediately Occupancy* (IO).

### 2.3. Perbedaan Dengan Peneliti Terdahulu

Perbedaan hasil dari peneliti terdahulu dengan penelitian ini ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Perbedaan dengan peneliti terdahulu

No.	Pencipta Jurnal	Judul Artikel	Perbedaan
1.	Firdha, 2021	Analisis Kinerja Struktur Gedung Bertingkat Terhadap Beban Gempa Dengan Metode <i>Pushover Analysis</i> (Studi Kasus: Gedung Rawat Inap Non – Bedah Rumah Sakit Umum Daerah Dr. H. Abdul Moeloek)	Objek yang diteliti adalah gedung rawat inap dengan ketinggian 4 lantai sedangkan penulis meneliti gedung apartemen dengan ketinggian 28 lantai
2.	Turuallo, 2022	Kinerja Portal Struktur Gedung Tahan Gempa dengan Sistem Ganda Menggunakan Metode <i>Pushover Analysis</i>	Objek yang diteliti adalah gedung perkantoran dengan ketinggian 7 lantai sedangkan penulis meneliti gedung apartemen dengan ketinggian 28 lantai
3.	Istiono, 2020	Analisis Pengaruh <i>P-Delta Effect</i> Terhadap Perbedaan Ketinggian Struktur Gedung Tahan Gempa (Studi Kasus: <i>Non-Highrise Building</i> )	Jumlah objek yang diteliti adalah dengan 3 gedung sedangkan penulis hanya meneliti gedung apartemen dengan ketinggian 28 lantai
4.	Nabhilla, 2020	Analisis Perilaku Struktur Perkantoran Tahan Gempa Menggunakan Metode <i>Pushover Analysis</i>	Objek yang diteliti adalah gedung perkantoran dengan ketinggian 8 lantai sedangkan penulis meneliti gedung apartemen dengan ketinggian 28 lantai
5.	Hasibuan, 2023	Evaluasi Kinerja Struktur Gedung DPRD Klaten Saat Terkena Gempa Magnitudo 7,0	Objek yang diteliti adalah gedung DPRD Klaten dengan ketinggian 4 lantai sedangkan penulis meneliti gedung apartemen dengan ketinggian 28 lantai

## 2.4. Konsep Bangunan Tahan Gempa

Perencanaan struktur tahan gempa merupakan suatu proses yang tidak sederhana dibutuhkan pemahaman dan konsistensi mengenai konsep desain menyeluruh. Konsep perencanaan konstruksi didasarkan pada analisa kekuatan batas (*ultimate strength*) yang mempunyai daktilitas cukup untuk menyerap energi gempa sesuai peraturan yang berlaku.

### 2.4.1. Daktilitas

Daktilitas adalah kemampuan sebuah struktur atau komponen untuk menahan respon inelastik, termasuk lendutan terbesar dan menyerap energi. Parameter yang digunakan untuk menentukan daktilitas suatu bahan/struktur disebut Faktor Daktilitas ( $\mu$ ). Menurut Paulay dan Priestly (1992), pada dasarnya daktilitas dibagi atas beberapa jenis adalah:

a. Daktilitas Regangan (*Strain Ductility*)

Daktilitas yang berpengaruh pada struktur dapat tercapai pada panjang tertentu pada salah satu bagian dari struktur tersebut. Jika tegangan inelastik dibatasi dengan panjang yang sangat pendek, maka akan terjadi penambahan yang besar pada daktilitas tegangan.

b. Daktilitas Kelengkungan

Daktilitas kelengkungan adalah perbandingan antara sudut kelengkungan (putaran sudut per unit panjang) maksimum dengan sudut kelengkungan leleh dari suatu elemen struktur akibat momen lentur.

c. Daktilitas perpindahan

Daktilitas Perpindahan adalah perbandingan antara perpindahan struktur maksimum terhadap perpindahan struktur pada saat leleh. Tingkat kinerja

struktur berhubungan dengan target peralihan yang diharapkan pada tahap pra-desain [ATC, 1996; 2000; 2004], sehingga dalam hal ini peralihan atap pada kondisi target peralihan ( $dt$ ) diasumsikan sebagai peralihan ultimit ( $d$ ) dalam menentukan parameter daktilitas peralihan.

d. Daktilitas rotasi

Daktilitas Rotasi adalah perbandingan antara putaran sudut maksimum terhadap putaran sudut saat leleh. Daktilitas inilah yang menjadi dasar perencanaan bangunan tahan gempa. Lebih tepatnya adalah sambungan balok ke kolom inilah yang direncanakan sebagai elemen struktur yang mengalami leleh (kondisi plastis) ketika struktur balok menyerap beban gempa. Semakin daktil suatu struktur, maka kuat ultimate dari struktur tersebut semakin tinggi dan kemampuan berdeformasinya semakin besar.

#### 2.4.2. Stabilitas

Stabilitas gedung ditentukan dengan tujuan untuk memberikan batasan terhadap keamanan struktur agar tidak melebihi batasan tersebut. Untuk menghitung stabilitas gedung terhadap momen torsi yang bertujuan untuk mengurangi kemungkinan terjadinya puntir pada gedung, faktor penting yang sangat berpengaruh pada saat terjadinya puntir adalah adanya eksentrisitas antara pusat massa dan pusat kekuatan pada bangunan. Sedangkan jika terjadi momen tak terduga maka momen torsi yang telah ada sebelumnya akan ditambah dengan 5% dimensi struktur. Berdasarkan SNI 1726-2019 adapun syarat-syarat sebagai berikut:

a. *Drift ratio*

Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 8.8.5 nilai simpangan antar tingkat diperlukan untuk penggunaan dalam tata cara material, menentukan pemisahan struktur antara bangunan, desain penutup permukaan bangunan (*cladding*) atau persyaratan desain lainnya, simpangan antar tingkat harus diambil sebesar 1% ketinggian bangunan. Semua bagian struktur harus di desain untuk menahan gaya seismik kecuali jika dipisahkan secara struktur oleh jarak yang cukup untuk menghindari kontak yang merusak akibat defleksi total.

b. Simpangan Antar Lantai (*drift inter-storey*)

Dalam mengontrol simpangan antar lantai (*drift inter-storey*) terdapat ketentuan yang diatur pada peraturan tersebut. Pada parameter respons yang ditinjau harus di kombinasikan dengan metode akar jumlah kuadrat (SRSS) atau metode kombinasi kuadrat lengkap (CQC) yang harus dihitung sesuai persamaan berikut:

$$\delta_y = \frac{C_d \cdot \delta_{xe}}{I_e} \dots \dots \dots (2.5)$$

Dimana:

$C_d$  = faktor pembesaran defleksi

$\delta_{xe}$  = defleksi pada lokasi lantai yang ditinjau diakibatkan gaya gempa lateral

$I_e$  = faktor keutamaan struktur

Skala simpangan antar lantai, jika respons terkombinasi untuk geser dasar ragam ( $V_t$ ) < 85% dari  $C_s W$ , maka simpangan antar lantai harus dikalikan dengan  $0,85 \frac{C_s W}{V_t}$ .

c. Rotasi Akibat P-Delta

P-Delta merupakan salah satu efek kedua yang terjadi pada struktur atau biasa dikenal dengan “*geometric nonlinierity effect*”. Hal ini karena berhubungan dengan jumlah lantai ketinggian pada suatu struktur, semakin tinggi struktur maka semakin terpengaruh dengan P-Delta. P-Delta sendiri adalah efek nonlinier yang terjadi pada setiap struktur yang dimana elemennya terjadi gaya aksial. Pengaruh P-Delta pada geser, momen dan simpangan antar lantai yang timbul pada bangunan tinggi harus diperhitungkan apabila koefisien stabilitas ( $\theta$ ) lebih dari 0,1.

$$\theta = \frac{Px \cdot \Delta \cdot le}{Vx \cdot h_{sx} \cdot Cd} \quad (2.6)$$

Dimana:

$\theta$  = koefisien stabilitas

$Px$  = beban desain vertikal total pada dan diatas tingkat x

$\Delta$  = simpangan antar lantai tingkat desain terjadi secara serentak dengan

$le$  = faktor keutamaan hunian

$Vx$  = gaya geser seismik yang bekerja antara tingkat x dan x-1

$h_{sx}$  = tinggi tingkat di bawah tingkat x

$Cd$  = faktor pembesaran defleksi

Namun nilai koefisien stabilitas tidak boleh melebihi  $\theta$  yang ditentukan pada persamaan.

$$\theta_{max} = \frac{0,5}{\beta Cd} \leq 0,25 \quad (2.7)$$

Dimana:

$\theta_{max}$  = koefisien stabilitas maksimum

$\beta$  = rasio kebutuhan geser terhadap kapasitas geser untuk tingkat antara tingkat x dan x-1

$C_d$  = faktor pembesaran defleksi

### 2.4.3. Integritas

Menurut SNI 2847:2019, dalam pendetailan tulangan dan sambungan, komponen struktur harus diikat secara efektif untuk meningkatkan integritas struktur secara menyeluruh. Persyaratan minimum untuk konstruksi cor di tempat ditentukan sebagai berikut:

- a. Balok sepanjang perimeter struktur harus memiliki tulangan menerus melebihi panjang bentang yang melalui daerah yang dibatasi oleh tulangan longitudinal pada kolom yang terdiri dari:
  - 1) Paling sedikit 1/6 tulangan tarik yang diperlukan untuk momen negatif di tumpuan, tetapi tidak kurang dari dua batang tulangan.
  - 2) Paling sedikit 1/4 tulangan tarik yang diperlukan untuk momen positif yang diperlukan di tengah bentang, tetapi tidak kurang dari dua batang tulangan.
- b. Tulangan transversal harus diangkur seperti yang ditetapkan pada tulangan torsi. tulangan transversal tidak perlu diteruskan melalui kolom.
- c. Pada ujung tulangan yang harus disambung atau dekat dengan tengah bentang dan dibawah tulangan harus disambung dekat tumpuannya.
- d. Tulangan transversal paling sedikit 1/4 dari tulangan momen positif diperlukan di tengah bentang, tetapi tidak kurang dari dua batang tulangan, harus melalui daerah yang dibatasi oleh tulangan longitudinal kolom dan harus menerus.



- e. Untuk plat dua arah non-prategang, semua batang tulangan atau kawat bawah dalam lajur kolom, dalam setiap arah harus menerus. Paling sedikit dua batang tulangan atau kawat bawah lajur kolom dalam masing-masing arah harus melewati dalam daerah yang dibatasi oleh tulangan memanjang kolom dan harus diangkur pada tumpuan eksterior.

#### 1.4.4. Kolom Kuat Balok Lemah (*Strong Column Weak Beam*)

Perencanaan struktur terhadap gempa sering memakai konsep desain kapasitas di mana pengendalian pola keruntuhan struktur dilakukan melalui pemanfaatan sifat daktail struktur secara maksimal. Konsep desain kapasitas juga dapat diartikan dengan *Strength Based Design* yaitu di mana setiap struktur harus mampu menahan beban geser dasar akibat gempa dalam suatu perencanaan. Menurut Wardhono (2010), Kolom kuat balok lemah atau *Strong Column Weak Beam* biasanya disebut sebagai desain kapasitas yang artinya ketika struktur gedung memikul pengaruh gempa rencana, sendi-sendi plastis di dalam struktur gedung tersebut hanya boleh terjadi pada ujung-ujung balok dan pada kaki kolom saja. Dua macam batasan struktur dalam konsep ini adalah sebagai berikut:

- a. *Serviceability Limit State*

Titik berat dari kinerja ini adalah pengontrolan dan pembatasan *displacement* yang terjadi selama gempa berlangsung. Kekuatan tambahan harus bisa dipastikan tersedia pada semua komponen struktur dan tetap berperilaku elastis untuk menahan gempa.

- b. *Survival Limit State*

Ketika suatu struktur mengalami perpindahan lateral yang besar, kehilangan kekuatan untuk menahan gaya lateral harus sekecil mungkin

dan kemampuan struktur untuk menahan beban gravitasi masih harus bisa tetap dipertahankan. Mekanisme *strong colum weak beam* pada saat struktur mendapat gaya lateral gempa, distribusi kerusakan sepanjang ketinggian bangunan bergantung pada distribusi lateral *story drift* (simpangan antar lantai). Jika struktur memiliki kolom yang lemah, simpangan antar lantai akan cenderung terpusat pada satu lantai (*soft story effect*). Sebaliknya jika kolom lebih kuat daripada balok (*strong column weak beam*), maka *drift* akan tersebar merata dan keruntuhan lokal di satu lantai dapat diminimalkan. Dengan konsep ini maka diharapkan bahwa kolom tidak akan mengalami kegagalan terlebih dahulu sebelum balok.

Rasio tulangan harus dipilih sehingga terpenuhi syarat:  $0,01 = \rho = 0,06$ .

### 1.5. Peta Wilayah Gempa

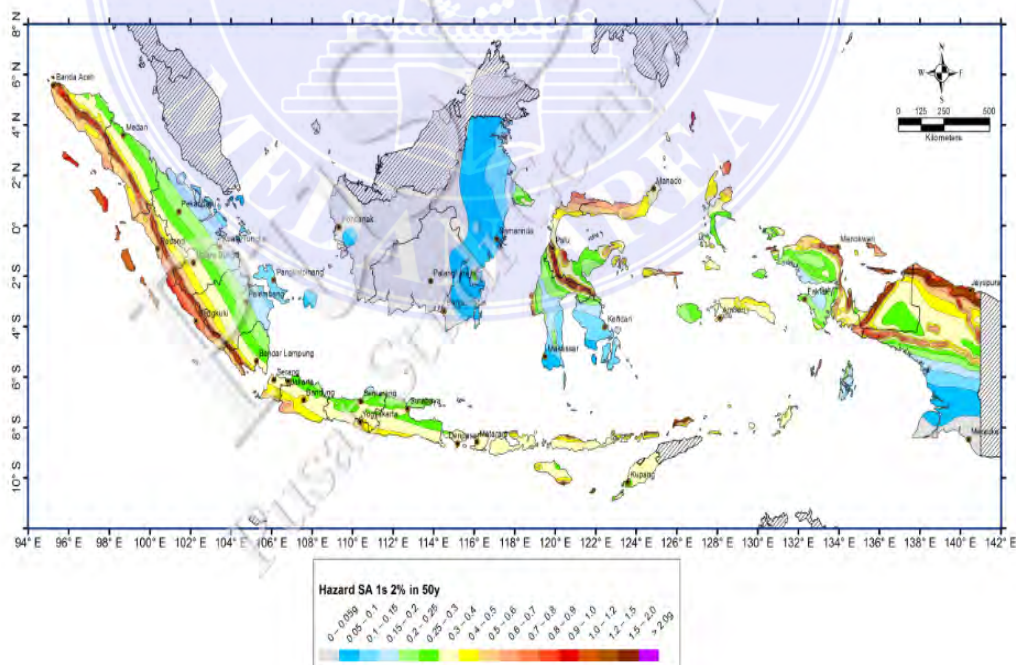
Berdasarkan SNI 1726;2019 pasal 14, ditetapkan berdasarkan parameter  $S_s$  (Percepatan batuan dasar pada periode pendek 0,2 detik) dan  $S_1$  (Percepatan batuan dasar pada periode 1 detik) yang dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2.

### 1.6. Prosedur Analisis Struktur

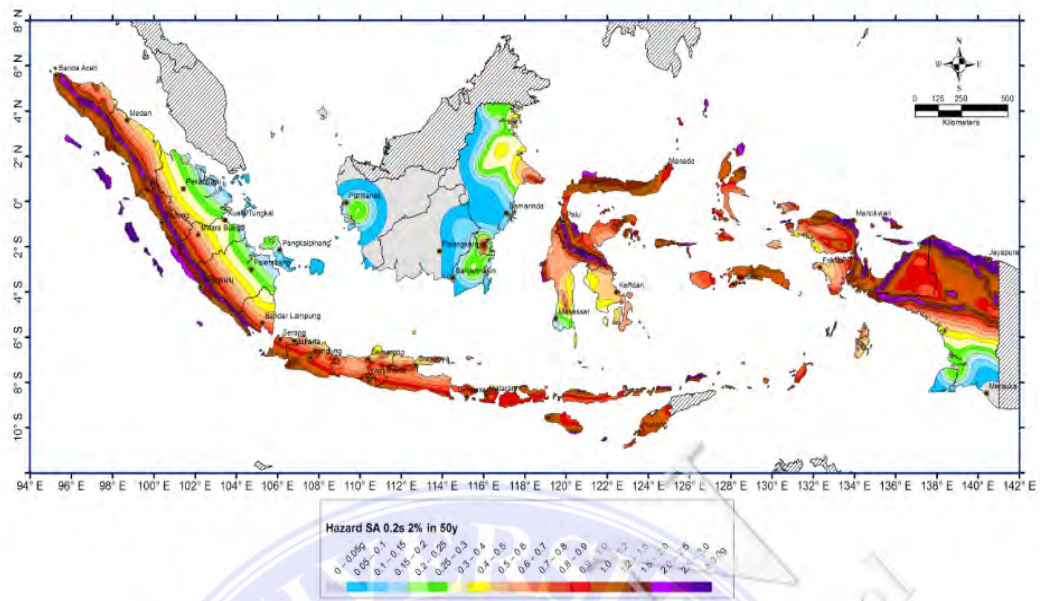
Berdasarkan SNI 1726;2012 pasal 7.3.2.1 dan pasal 7.3.2.2 ketidakberaturan struktur bangunan dapat dibedakan menjadi ketidakbertaturan horizontal dan vertikal yang dapat dilihat pada Tabel lampiran 2. Berdasarkan SNI 1726;2019 pasal 7.6, prosedur analisis yang dapat digunakan seperti pada Tabel 2.4. Prosedur analisis yang digunakan terkait erat dengan berbagai parameter struktur bangunan tersebut, yaitu:

1. Parameter keutamaan bangunan berdasarkan pasal 4.1.2 SNI 1726;2019 dan dapat dilihat pada Tabel 2.4.
2. Parameter faktor keutamaan gempa berdasarkan SNI 1726;2012 dapat dilihat Tabel 2.5
3. Kategori desain seismik berdasarkan parameter percepatan respons spektra pada periode 1 detik ( $S$ ) dan parameter percepatan respons spektra pada periode pendek ( $S_s$ ) berdasarkan SNI 1726;2019 pasal 6.5 dapat dilihat pada Tabel 2.6 dan 2.7.

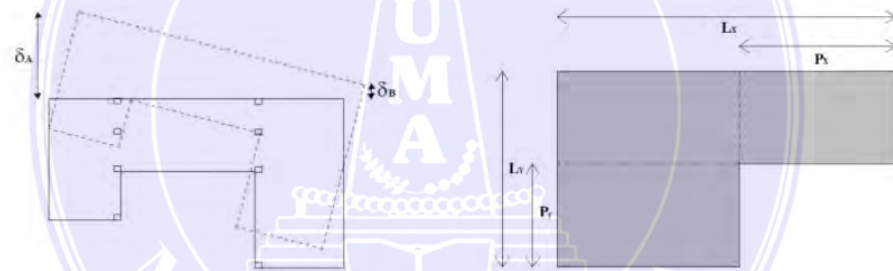
Oleh karena itu, prosedur analisis struktur harus terdiri dari salah satu tipe struktur yang diizinkan yaitu berdasarkan kategori desain seismik struktur, sistem struktur, properti dinamis dan keteraturan. Dari berbagai parameter yang dimiliki oleh struktur gedung tersebut, dapat ditetapkan prosedur analisis yang dapat digunakan seperti yang dijabarkan pada Tabel 2.4.(Madra, 2003)



Gambar 1. Parameter gerak tanah  $S_1$ , gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget ( $MCE_R$ ) wilayah Indonesia untuk spektrum respons 1- detik (redaman kritis 5%) (Peta Sumber Dan Bahaya Gempa 2017)



Gambar 2. Parameter gerak tanah  $S_s$ , gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget wilayah ( $MCE_R$ ) Indonesia untuk spektrum respons 0,2-detik (redaman kritis 5 %) (Peta Sumber Dan Bahaya Gempa 2017)

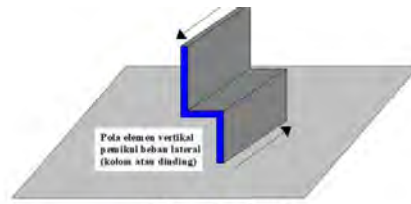


a. Ketidakberaturan 1a dan 1b

b. Ketidakberaturan 2



c. Ketidakberaturan 3

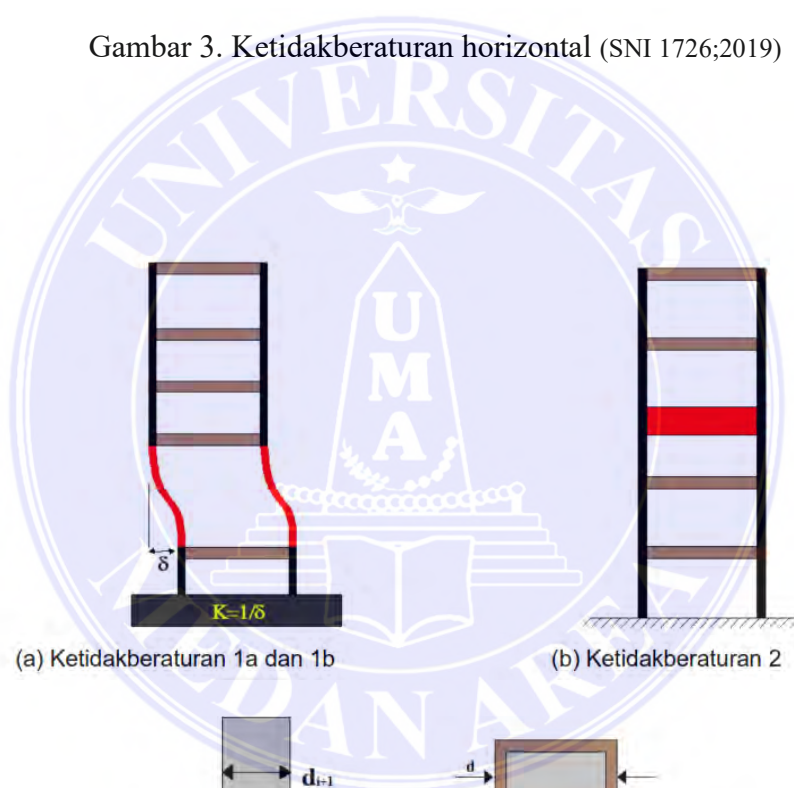


(d) Ketidakberaturan 4

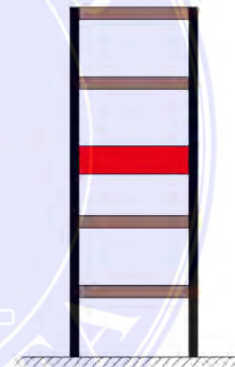


(e) Ketidakberaturan 5

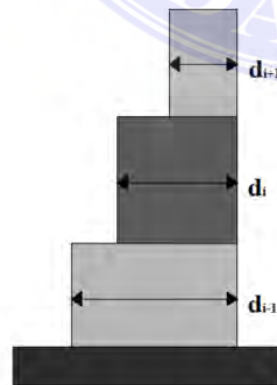
Gambar 3. Ketidakberaturan horizontal (SNI 1726;2019)



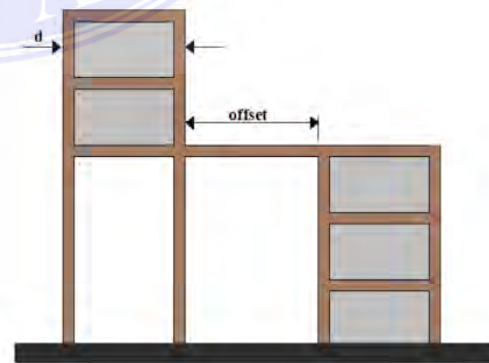
(a) Ketidakberaturan 1a dan 1b



(b) Ketidakberaturan 2



(c) Ketidakberaturan 3



(d) Ketidakberaturan 4



(e) Ketidakberaturan 5a dan 5b

Gambar 4. Ketidakberaturan vertical (SNI 1726;2019)

### 1.7. Struktur Penahan Gaya Seismik

Setiap tipe dibagi berdasarkan tipe elemen vertikal yang digunakan untuk menahan gaya seismik lateral. Setiap sistem penahan gaya seismik yang dipilih harus dirancang sesuai dengan persyaratan khusus bagi sistem yang telah ditetapkan.

Di dalam SNI 1726;2019 pasal 7.2, sistem struktur penahan gaya seismik ditentukan oleh parameter berikut ini:

1. Faktor koefisien modifikasi respons (R)
2. Faktor kuat lebih sistem (C)
3. Faktor pembesaran defleksi ( $\Omega_d$ )
4. Faktor batasan tinggi sistem struktur

### 1.8. Kekakuan Struktur

Kekakuan struktur adalah gaya yang diperlukan struktur bila mengalami deformasi sebesar satu satuan. Nilai kekakuan struktur tergantung dari material yang digunakan, dimensi elemen struktur, penulangan, modulus elastisitas,

modulus elastisitas geser dan momen inersia polar. Selain itu, kekakuan struktur juga terkait dengan nilai dari periode struktur tersebut.

Tabel 2. Faktor  $R$ ,  $C_d$ , dan  $\Omega_0$  untuk sistem pemikul gaya seismic (SNI 1726:2019)

Sistem pemikul gaya seismic	Koefisien modifikasi respons, $R^a$	Faktor kuat lebih sistem, $\Omega_{0b}$	Faktor pembesaran defleksi, $C_{dc}$	Batasan sistem struktur dan Batasan tinggi struktur, $h_n m^d$				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D <sup>e</sup>	E <sup>e</sup>	F <sup>f</sup>
Dinding geser beton bertulang khusus	5	$2\frac{1}{2}$	5	TB	TB	48	48	30

### 1.9. Respons Spektrum Desain

Definisi respons spektra adalah respon maksimum dari suatu sistem struktur *Single Degree of Freedom* (SDOF) baik percepatan (a), kecepatan (v) dan perpindahan (d) dengan struktur tersebut dibebani oleh gaya luar tertentu. Absis dari respons spektra adalah periode alami sistem struktur dan ordinat dari respons spektra adalah respons maksimum. Kurva respons spektra akan memperlihatkan simpangan relatif maksimum ( $S_d$ ), kecepatan relatif maksimum ( $S_v$ ) dan percepatan relatif maksimum ( $S_a$ ).

Berdasarkan SNI 1726;2019 pasal 6.1, respons spektra desain harus ditentukan dan dimuat terlebih dahulu berdasarkan data-data yang ada. Data-data yang dibutuhkan dan prosedur untuk pembuatan respons spektra berdasarkan SNI 1726;2019 pasal 6.1 adalah:

- a. Parameter Percepatan Terpetakan

Parameter  $S_s$  (percepatan batuan dasar pada periode pendek) dan  $S_1$  (percepatan batuan dasar pada periode 1 detik) harus ditetapkan masing-masing dari respons spektral percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismik pada Pasal 15 dengan kemungkinan 2 % terlampaui dalam 50 tahun (MCER 2 % dalam 50 tahun), dan dinyatakan dalam bilangan desimal terhadap percepatan gravitasi. Bila  $S_1 \leq 0,04$  g dan  $S_s \leq 0,15$  g maka struktur bangunan boleh dimasukkan ke dalam kategori desain seismik A.

b. Kelas situs

Berdasarkan sifat-sifat tanah pada situs, maka situs harus diklasifikasi sebagai kelas situs SA, SB, SC, SD, SE, atau SF yang mengikuti 5.3. Bila sifat-sifat tanah tidak teridentifikasi secara jelas sehingga tidak bisa ditentukan kelas situs-nya, maka kelas situs SE dapat digunakan kecuali jika pemerintah/dinas yang berwenang memiliki data geoteknik yang dapat menentukan kelas situs lainnya.

Jika penyelidikan tanah yang dilakukan sesuai dengan Pasal 5 menunjukkan adanya kondisi batuan yang konsisten dengan kelas situs *SB*, tetapi tidak dilakukan pengukuran kecepatan gelombang geser situs-spesifik, maka koefisien situs  $F_a$ ,  $F_v$ , dan  $F_{FGA}$  harus diambil sebesar 1,0.

Tabel 3. Klasifikasi Situs (SNI 1726:2019 tabel 5)

Kelas situs	$V_s$ (m/det)	$\tilde{N}$ atau $\tilde{N}ch$	$\tilde{S}_u$ (kPa)
<i>SA</i> (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
<i>SB</i> (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
<i>SC</i> (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	$\geq 100$
<i>SD</i> (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
<i>SE</i> (tanah lunak)	< 175	<15	< 50



Kelas situs	$V_s$ (m/det)	$\tilde{N}$ atau $\tilde{N}ch$	$\tilde{S}u$ (kPa)
<i>SF</i> (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 6.10.1)			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 niralirs $PI > 20$ , $\tilde{S}u < 25$ kPa 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 $H > 3$ - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan indeks plasitisitas $PI > 75$ ) Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ dengan $\tilde{S}u < 50$ kPa

- c. Koefisien-koefisien situs dan paramater-parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget  $MCE_R$

Untuk penentuan respons spektral percepatan gempa  $MCE_R$  di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik dan periode 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek ( $F_a$ ) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik ( $F_v$ ). Parameter respons spektral percepatan pada periode pendek ( $S_{MS}$ ) dan periode 1 detik ( $S_{M1}$ ) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan perumusan berikut ini:

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s \quad (2.10)$$

$$S_{M1} = F_v \cdot S_1 \quad (2.11)$$

Keterangan:

$S_S$  = parameter respons spektral percepatan gempa  $MCE_R$  terpetakan untuk periode pendek;

$S_1$  = parameter respons spektral percepatan gempa  $MCE_R$  terpetakan untuk periode 1,0 detik.

d. Parameter percepatan spektral desain

Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek, ( $S_{DS}$ ) dan pada periode 1 detik, ( $S_{D1}$ ) harus ditentukan melalui perumusan berikut ini:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (2.12)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (2.13)$$

Dimana:

$S_{DS}$  = Respon spektra percepatan desain untuk perioda pendek

$S_{D1}$  = Respon spektra percepatan desain untuk perioda 1,0 detik

e. Prosedur pembuatan respons spektra desain berdasarkan SNI 1726;2019

Selanjutnya, untuk mendapatkan kurva spektrum desain harus dikembangkan dengan mengacu pada Gambar 2.18 dan mengikuti ketentuan di bawah ini:

1. Untuk periode yang lebih kecil dari  $T_0$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$ , harus diambil dari persamaan;

$$S_a = S_{DS} \left( 0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (2.14)$$

2. Untuk periode lebih besar dari atau sama dengan  $T_0$ , dan lebih kecil dari atau sama dengan  $T_S$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$ , sama dengan  $S_{DS}$ :

3. Untuk periode lebih besar dari  $T_s$  tetapi lebih kecil dari atau sama dengan  $T_L$ , respons spektral percepatan desain,  $S_a$ , diambil berdasarkan persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (2.15)$$

4. Untuk periode lebih besar dari  $T_L$ , respons spektral percepatan desain, diambil  $S_a$  berdasarkan persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1}T_L}{T^2} \quad (2.16)$$

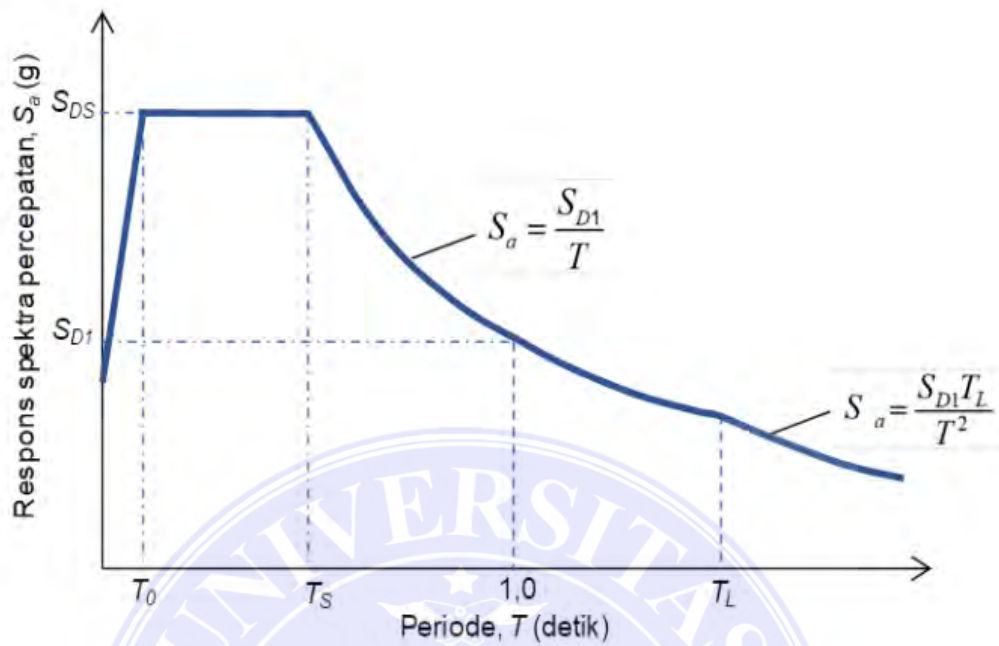
Keterangan:

$T$  = periode getar fundamental struktur.

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.17)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.18)$$

$T_L$  = Peta transisi periode panjang yang ditunjukkan pada gambar dibawah



Gambar 5. spektrum desain (SNI 1726;2019)

Setiap bangunan pasti memiliki faktor prioritas yang tergantung pada penting atau tidaknya suatu bangunan. Bangunan yang sangat penting diharapkan lebih awet dan memiliki umur yang lebih lama dari bangunan biasa. Banyak hal yang berkaitan dengan hal tersebut, antara lain dapat dikelompokkan sesuai dengan kekuatan gempa atau berkaitan dengan periode ulang dan rendahnya tingkat bangunan serta fungsi bangunan dalam rangka melindungi manusia. Pengelompokan ini berada dalam filosofi desain (*earthquake design philosophy*) suatu bangunan akibat beban gempa. Filosofi desain yang dimaksud adalah sebagai berikut:

1. Pada gempa kecil (*light*, atau *minor earthquake*), maka struktur utama bangunan tidak boleh rusak dan berfungsi dengan baik. Kerusakan kecil yang dapat ditoleransi pada elemen non-struktur masih dibolehkan.

2. Pada gempa menengah (*moderate earthquake*) yang relatif jarang terjadi, maka struktur utama bangunan boleh rusak/ retak ringan tetapi masih dapat diperbaiki. Elemen non-struktur boleh rusak tetapi masih dapat diganti dengan yang baru.
3. Pada gempa kuat (*strong earthquake*) yang jarang terjadi, maka struktur bangunan boleh rusak tetapi tidak boleh runtuh total (*totally collapse*). Kondisi seperti ini juga diharapkan pada gempa besar (*great earthquake*), yang tujuannya adalah melindungi penghuni bangunan secara maksimum.

Perilaku bahan, elemen struktur maupun struktur juga yang mendukung pengembangan konsep bangunan tahan gempa. Perilaku bahan akibat beban dapat berupa linier dan non-linier, sedangkan intensitas beban dapat mengakibatkan respons elastik maupun inelastik. Dengan demikian, akan terdapat 4 kombinasi yaitu antara lain sebagai berikut :

1. Linier elastik

Adalah suatu respons bahan/ elemen struktur yang mana hubungan antara beban-simpangan bersifat lurus, proporsional/ linier dan apabila beban dihilangkan maka deformasi bahan akan sama dengan nol (kembali ke posisi semula). Bahan metal khususnya baja mempunyai sifat/ respons linier apabila intensitas bebannya masih kecil.

2. Non-linier elastik

Adalah apabila hubungan antara beban-simpangan dari awal sudah tidak lurus/linier tetapi non-linier walaupun intensitas bebannya masih relatif kecil. Apabila beban ditiadakan maka deformasi bahan akan sama dengan nol (kembali ke posisi semula, tidak ada deformasi permanen). Tanah dan

beton pada umumnya mempunyai sifat non-linier sejak intensitas beban masih kecil.

### 3. Linier inelastik

Adalah suatu kondisi yang mana intensitas beban sudah besar, tegangan yang terjadi sudah tidak lagi tegangan elastik tetapi sudah inelastik. Apabila beban ditiadakan maka benda tidak dapat lagi kembali ke posisi semula tetapi Kembali secara linier/ lurus ditempat yang lain (ada deformasi permanen). Walaupun beban sudah besar tetapi perilaku bahan dimodel secara linier. Struktur beton yang dibebani dengan beban siklik dengan intensitas yang besar pada hakekatnya akan berperilaku non-linier inelastik, tetapi pada umumnya dimodel sebagai linierinelastik.

### 4. Non-linier inelastik

Adalah suatu kondisi pembebanan siklik yang intensitasnya besar yang diterapkan pada struktur tanah maupun beton. Hubungan antara beban dan deformasi tidak lagi bersifat lurus/ linier dan apabila beban siklik ditiadakan maka akan terdapat deformasi permanen.

## 1.10. Analisis Gaya Lateral Ekuivalen

### 2.10.1. Periode Alami Struktur

Periode fundamental struktur  $T$ , dalam arah yang ditinjau harus diperoleh menggunakan sifat struktur dan karakteristik deformasi elemen pemikul dalam analisis yang teruji. Juga tidak boleh melebihi hasil perkalian koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung ( $C_u$ ) dan periode fundamental pendekatan  $T_a$ , yang ditentukan.

Tabel 4. Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung (SNI 1726:2019 tabel 17)

No.	Parameter percepatan respons spektral desain Pada 1 detik $S_{D1}$	Koefisien $C_u$
1.	$\geq 0,4$	1,4
2.	0,3	1,4
3.	0,2	1,5
4.	0,15	1,6
5.	$\leq 0,1$	1,7

Sebagai alternatif dalam melakukan analisis untuk menentukan periode fundamental struktur,  $T$  diizinkan secara langsung menggunakan periode bangunan pendekatan,  $T_a$ , yang dihitung sesuai dengan rumus dibawah ini:

$$T_a = C_t h_n^x \quad (2.19)$$

Dimana:

$h_n$  = ketinggian struktur (m)

### 2.10.2. Distribusi Vertikal Gaya Gempa

Berdasarkan SNI 1726;2012 pasal 7.8.3, gaya gempa Lateral ( $F_i$ ) yang timbul di semua tingkat harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$F_i = C_{vx} \cdot V \quad (2.20)$$

$$C_{vx} = \frac{w_i h_i^k}{\sum_{n=1}^i w_i h_i^k} \quad (2.21)$$

Dimana :

$C_{vx}$  = factor distribusi vertical

$V$  = Gaya geser atau laeral desain total

$W_i$  = Bagian berat seismik efektif total struktur ( $W$ ) yang dikenakan atau ditempatkan pada tingkat- $i$

$K$  = eksponen yang terkait dengan periode struktur dengan nilai untuk struktur dengan  $T \leq 0,5$  detik,  $= 1$  ; untuk struktur dengan  $T \geq 2,5$  detik,  $= 2$  ; untuk struktur dengan  $0,5 < T < 2,5$  detik,  $k = 2$  atau ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2.

### 2.10.3. Distribusi Horizontal Gaya Gempa

Gaya horizontal adalah gaya yang terjadi pada arah horizontal struktur. Gaya bekerja horizontal dalam arah tegak lurus terhadap bidang vertikal. Beban horizontal dapat berupa beban angin dan beban gempa. Dengan gaya horizontal ini dapat menyebabkan bangunan membengkok ke arah gaya lateral sehingga menyebabkan simpangan. Jika penyimpangan yang terjadi melebihi batas beban, struktur akan rusak dan tidak akan dapat memenuhi umur layanannya. Gaya horizontal yang merupakan beban seismik pada dasarnya bukanlah beban yang secara fisik bekerja pada bangunan, tetapi menciptakan beban inersia dengan massanya sendiri dikalikan dengan gaya seismik. Karena percepatan gempa adalah dinamis dan bolak-balik, sehingga kekuatan portal dapat mengatasi situasi tersebut.

Berdasarkan SNI 1726;2019 pasal 7.8.4, geser tingkat di semua ( $V_x$ ) harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$V_x = \sum_{i=x}^n F_i \quad (2.22)$$

$F_i$  = bagian dari geser dasar seismik ( $V$ ) pada tingkat ke- $i$  ( $K_n$ )



#### 2.10.4. Analisis Ragam Spektrum Respons

Metode analisis ragam respon spektrum adalah penyimpangan struktur yang terjadi merupakan penjumlahan dari penyimpangan masing-masing ragam getaran. Menurut parameter respons gabungan, respons masing-masing ragam adalah ditentukan melalui spektrum respon gempa rencana maksimum. Secara umum respon setiap ragam mencapai suatu nilai maksimum pada waktu yang berbeda sehingga respon maksimum ragam-ragam tersebut tidak bisa ditambahkan. Berdasarkan SNI 1726; 2019 pasal 7.9.1.1, nilai akhir respon dinamik struktur bangunan terhadap beban gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana arah tertentu, tidak boleh diambil kurang dari 90 % dari nilai respon ragam pertama.

#### 2.10.5. Pembebanan dan Kombinasi Pembebanan

Beban yang bekerja pada struktur berupa beban mati, beban hidup dan beban gempa selain itu ada pula beban dari lift dan tangga.

a. Beban Hidup

Beban hidup berasal dari beban penghuni dan fasilitas lainnyayang dapat di dipindahkan. Beban hidup pada atap juga merupakan beban yang berasal dari beban pada saat pemeliharaan, beban yang ditimbulkan oleh taman yang di buat di atap.

b. Beban Mati

Beban mati merupakan beban yang berasal dari struktur tersebut yang meliputi balok,kolom,lantaidan struktur pendukung lainnya yang posisiya tidak dapat diubah atau di pindahkan.Beban mati dipengaruhi oleh:

1. Berat bahan konstruksi

2. Berat peralatan layan tetap
3. Beban Gempa

Beban mati pada balok akibat berat dinding yang di pikul dapat dicari dengan rumus berikut:

$$DL = h \times \text{berat jenis material} \quad (2.23)$$

Berat jenis dari material dapat dilihat pada tabel 5 dibawah ini yang bisa digunakan dalam desain pembebanan.

Tabel 5. berat jenis material (SNI 1726:2019)

Material	kN/m <sup>2</sup>
Plafon + penggantung plafon	0,18
MEP yang digantung di langit-langit	0,25
Spesi lantai	0,21
Keramik lantai	0,24
Kaca	0,0257
Sheet baja	0,20
ACP	0,07
Beton precast (10 cm)	2,40
Dinding pasangan bata	2,50
Dinding pasangan hebel (bata ringan)	1,50

Beban gempa terjadi akibat pergerakan lapisan bumi sehingga dapat mempengaruhi ketahanan struktur. Pembebanan struktur beban gempa berdasarkan SNI 1726:2019. Analisis beban gempa terdapat 3 cara analisis, yaitu analisis gaya lateral ekuivalen, analisis spektrum respons ragam dan prosedur riwayat respons seismik. Berdasarkan SNI 2847;2019 pasal 5.3.1, faktor-faktor dan kombinasi beban adalah:

1. 1,4 DL
2. 1,2D + 1,6L + 0,5(Lr atau R)
3. 1,2D + 1,6(Lr atau R) + (1,0L atau 0,5W)

4.  $1,2D + 1,0W + 1,0L + 0,5(Lr \text{ atau } R)$
5.  $1,2D + 1,0E + 1,0L$
6.  $0,9D + 1,0W$
7.  $0,9D + 1,0E$

### 2.11 Pushover Analysis

Analisis beban dorong statis atau statis analisis *pushover* adalah cara digunakan untuk menganalisis perilaku runtuhnya bangunan akibat gempa. Kurva *pushover* dipengaruhi oleh pola distribusi gaya lateral yang digunakan sebagai beban dorong. Kurva kapasitas akan menunjukkan kondisi linier sebelum mencapai keadaan leleh dan kemudian berperilaku nonlinier. Hasil dari kurva tersebut kemudian diolah dengan metode *Displacement Coefficient Method (DCM)* [FEMA 356]. Dalam mengevaluasi kinerja terdapat 2 metode yang beracuan pada ATC-40 dan FEMA 356, yaitu:

#### 3.11.1. Metode spektrum kapasitas, yang mengacu pada ATC-40.

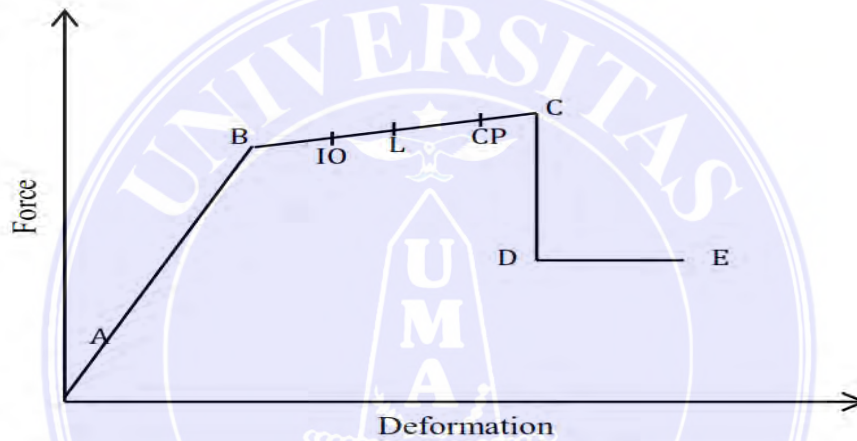
Metode Spektrum Kapasitas atau *Capacity Spectrum Method (CSM)* adalah salah satunya cara mengetahui kinerja suatu struktur. Konsep dasar analisis statis *pushover* nonlinier adalah untuk memberikan pola pemuatan statis tertentu dalam arah lateral yang ditingkatkan secara bertahap. Kinerja bangunan berdasarkan metode spektrum kapasitas, ATC-40 mengatur dengan melihat batas deformasi. Nilai *drift* digunakan sebagai indikator kinerja struktur, dengan menggunakan persamaan:

$$\text{maximum total } Drift = \frac{Dt}{h} \quad (2.23)$$

### 2.11.2. Metode Koefisien Perpindahan yang mengacu pada FEMA 356

Metode Koefisien Perpindahan atau *Displacement Coefficient Method* (DCM) adalah metode yang terdapat dalam FEMA 273/356 untuk prosedur statis nonlinier. Penyelesaian dilakukan dengan memodifikasi respons elastis linier dari sistem SDOF yang setara dengan faktor koefisien  $C_0, C_1, C_2$  dan  $C_3$  sehingga bisa dihitung target perpindahan

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 C_3 \left(\frac{T_e}{2\pi}\right)^2 g \quad (2.2)$$



Gambar 6. Titik Performa ( ATC 40 )

## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1. Deskripsi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Proyek Pembangunan Gedung Apartemen Princeton Boutiq Living, Medan, yang tidak terlepas dari kemajuan teknologi. Karena itu dalam menganalisis struktur bangunan digunakan *Software* SAP2000 untuk mempermudah pengolahan data dengan menggunakan metode analisis statik non-linear yang akan menghasilkan kurva kapasitas dimana kurva ini menyatakan hubungan antara gaya geser dasar terhadap peralihan atap struktur bangunan gedung.

#### 3.2. Lokasi Penelitian

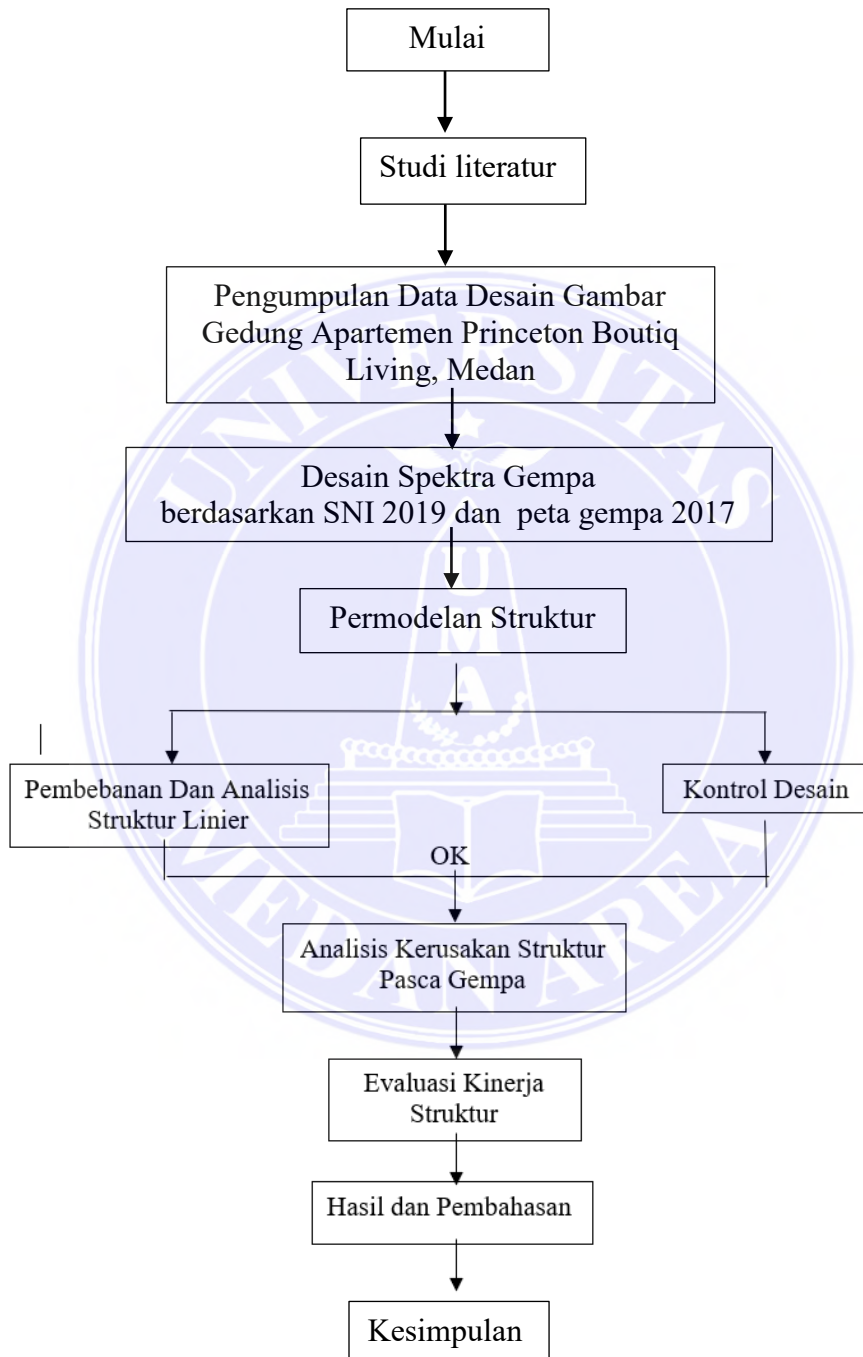
Proyek Pembangunan Gedung Apartemen Princeton Boutiq Living Medan berlokasi Jl. Gatot Subroto No.217, Sei Sikambang B, Kec. Medan Sunggal, Kota Medan, Sumatera Utara.



Gambar 7. Lokasi Penelitian (Google Maps, 2023)

### 3.3. Tahapan Penelitian

Berikut adalah beberapa tahapan pemodelan struktur dan analisis struktur dengan SAP2000 yang dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 8. Diagram Alir Penelitian (Analisis Peneliti, 2023)

### 3.4. Data Struktur Gedung

Pada penelitian ini dilakukan di salah satu gedung Apartemen yang berada di kota Medan dengan struktur gedung beton bertulang dan ketinggian 28 lantai. Lokasi gedung berada pada daerah dengan kategori risiko gempa II (SNI 1726-2019) yang berdiri pada kondisi tanah sedang (SD).

#### 3.4.1. Data Gedung Penelitian

Data – data yang diperoleh adalah sebagai berikut :

1. Nama Bangunan : Gedung Apartemen Princeton Boutiq Living
2. Fungsi Bangunan : Apartemen
3. Jumlah Tingkat : 28 lantai
4. Material Struktur : Struktur Beton Bertulang
5. Kontraktor Pelaksana : PT.Newland Overseas Development

#### 3.4.2. Data Material

Adapun data – data material yang digunakan yaitu :

- a. Mutu Baja
  1. Pile Cap : 52 MPa
  2. Precast Pile : 35 MPa
  3. Kolom, Basement : 40 MPa
  4. Balok beton, Tangga : 35 MPa
- b. Mutu Baja
  1. BJTS 420 B 420 MPa Untuk D10, D32 : tulangan utama
  2. BJTS 520 520 MPa Untuk M8 - M10 : tulangan plat
  3. BJTP 280 280 MPa  $\emptyset$  8,  $\emptyset$  16 : untuk non-Struktur

### 3.4.3. Dimensi Struktur

#### a. Kolom

Kolom termasuk struktur utama yang memikul beban bangunan dan beban lainnya seperti beban hidup (orang dan barang) dan beban angin. Kolom memiliki peran yang sangat penting dalam mencegah bangunan agar tidak mudah runtuh. Beban atap mentransfer beban yang diterima oleh atap ke kolom. Setiap beban yang diterima oleh kolom didistribusikan ke permukaan tanah di bawahnya. Untuk jenis dimensi dari kolom yang digunakan di proyek pembangunan Apartemen Princeton Boutique Living dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4. Ukuran dimensi kolom yang digunakan (Data Lapangan)

Lt.emibasemen -lt.2	K1,K1-A,K2,K3	: 700X1200, 38D25, D13-100, 40 MPa
	K4	: 700X700, 24D25, D13-100, 40 MPa
	K5	: 400X800, 24D25, D13-100,40 MPa
	K6	: 300X700, 16D19, D13-100, 40 MPa
	K-L	: 250X400, 8D19, D13-100, 40 MPa
Lt.2 – lt.3	K1,K1-A,K2,K3	: 700X1200, 38D25, D13-100, 40 MPa
	K4	: 700X700, 24D25, D13-100, 40 MPa
Lt.3 – lt.4	K1, K1-A,K3	: 600x1200, 36D25, D13-100,40 MPa
	K2	: 700X1200, 38D25, D13-100, 40 MPa
	K4	: 700X700, 24D25, D13-100, 40 MPa
L4.4 – lt. 5	K1,K1-A,K2,K3	: 600x1200, 36D25, D13-100,40 MPa
	K4	: 700X700, 24D25, D13-100, 40 MPa
LT.5 – LT.6	K1,K1-A,K2,K3	: 600x1200, 36D25, D13-100,40 MPa
	K4	: 700X700, 24D25, D13-100, 40 MPa



## Lanjutan tabel 4

Lt.6 – lt.8	K1, K1-A	: 600x1000, 30D25, D13-100, 40 MPa
	K2, K3	: 600x1200, 36D25, D13-100,40 MPa
	K4	: 700X700, 24D25, D13-100, 40 MPa
Lt.8 – lt.. 12	,K1-A,K2,K3	: 500x1000, 26D25, D13-100, 40 MPa
Lt.12 – lt.14	,K1-A,K2,K3	: 500x900, 22D25, D13-100, 40 MPa
Lt.14 – lt.Roof	K1, K1-A	: 500x800, 18D25, D13-100, 40 MPa
	K2, K3	: 500x1000, 28D25, D13-100, 40 MPa
Lt.Roof –	K1- A	: 350X700, 20D25, D13-100, 40 MPa
lt.Top Roof	K2, K3	: 350X800, 20D25, D13-100,40 MPa

## b. Balok

Balok merupakan elemen struktur yang fungsinya untuk mendistribusikan beban pada kolom. Balok adalah bagian dari struktur pusat bangunan, sama dengan kolom dan pondasi. Oleh karena itu, pencetakan harus dilakukan dengan benar. Berikut adalah beberapa ukuran dimensi dari balok yang digunakan pada proyek tersebut.

- |    |                |     |               |
|----|----------------|-----|---------------|
| 1. | Balok 500x1000 | 14. | Balok 200x400 |
| 2. | Balok 400x800  | 15. | Balok 350x650 |
| 3. | Balok 500x800  | 16. | Balok 250x500 |
| 4. | Balok 300x600  | 17. | Balok 300x500 |
| 5. | Balok 400x600  | 18. | Balok 150x500 |
| 6. | Balok 300x700  | 19. | Balok 350x700 |
| 7. | Balok 250x600  | 20. | Balok 300x650 |
| 8. | Balok 400x700  | 21. | Balok 200x500 |

9.	Balok 500x850	22.	Balok 500x900
10.	Balok 250x600	23.	Balok 200x300
11.	Balok 500x700	24.	Balok 250x800
12.	Balok 250x400	25.	Balok 350x600
13.	Balok 250x650		

### c. Pelat

Pada tugas akhir ini, pelat lantai yang digunakan dalam pemodelan struktur menggunakan pelat rusuk (*deck*). Konstruksi pelat rusuk terdiri dari kombinasi monolit sejumlah rusuk dengan jarak beraturan dan pelat atas yang membentang dalam satu arah atau dua arah. Spesifikasi pelat yang digunakan adalah sebagai berikut. Beton menggunakan mutu  $f_c' = 30$  Mpa. Adapun beberapa plat lantai yang di pakai, yaitu :

Tabel 5. ukuran tebal pelat yang digunakan (Data Lapangan, 2023)

No.	Nama Pelat	Tebal Pelat (mm)
1.	S.1	130
2.	S.2	150
3.	S.3	200
4.	S.4	250
5.	ST.1	120
6.	<i>Shearwall</i> 3 dan 4	500
7.	<i>Shearwall</i> 1 dan 2	400

## 3.5. Metode Analisis Data

### 3.5.1. Penetapan beban Hidup (*Live Load*)

Beban hidup sesuai dengan SNI 1727:2020 pasal 4.7.2. dapat direduksi tergantung dari fungsi lantai tersebut. Berat beban hidup pada struktur proyek

Gedung Apartemen Princeton Boutique Living, Medan ini adalah  $4,79 \text{ KN/m}^2$  dimana fungsinya adalah sebagai apartemen dan  $0,96 \text{ KN/m}^2$  untuk beban hidup di lantai *roof*.

### 3.5.2. Perhitungan Beban Mati Tambahan (*Super Dead Load*)

Pembebanan yang diperhitungkan dalam struktur ini adalah beban gravitasi dan beban lateral. Adapun berat beban mati yang diperoleh sesuai dengan aturan SNI 1727:2020 dan SNI 1726:2019 untuk beban gempa dapat dilihat dibawah ini:

### 3.5.3. Beban Mati pada lantai

- a. Beban Mati (QDL) pelat lt dasar – lt 2

Perhitungan berat beban mati pelat lantai

Beban Mati (QDL) pelat lt dasar – lt 2 ditampilkan pada Tabel 8.

Tabel 6. beban mati pelat lt dasar – lt 2 (Data Lapangan)

Beban	Tebal (m)	Berat Jenis ( $\text{kN/m}^3$ )	Total ( $\text{kN/m}^2$ )
Pelat lantai	0,15	24	3,6
Spesi	0,02	21	0,42
Pasir	0,03	16	0,48
Keramik	0,01	22	0,22
Plafon dan penggantung		0,2	0,2
Me		0,25	0,25
QDL			5,17

- b. Beban Mati (QDL) pelat lt 2,3,4,5,6,(*mezzanine*)

Beban Mati (QDL) pelat lt 2,3,4,5,6,(*mezzanine*) ditampilkan pada

Tabel 9.

Tabel 7. Beban mati pelat lt 2,3,4,5,6,(*mezzanine*) (Data Lapangan)

Beban	Tebal (m)	Berat Jenis (kN/m <sup>3</sup> )	Total (kN/m <sup>2</sup> )
Pelat lantai	0,13	24	3,12
Spesi	0,02	21	0,42
Pasir	0,03	16	0,48
Keramik	0,01	22	0,22
Plafon dan penggantung		0,2	0,2
Me		0,25	0,25
QDL			4,69

c. Beban Mati (QDL) pelat lt ,3,4,5,6,7 dan 7 *mezzanine*

Beban Mati (QDL) pelat lt ,3,4,5,6,7 dan 7 *mezzanine* ditampilkan pada

Tabel 10.

Tabel 8. Beban mati pelat lt ,3,4,5,6,7 dan 7 *mezzanine* (Data Lapangan)

Beban	Tebal (m)	Berat Jenis (kN/m <sup>3</sup> )	Total (kN/m <sup>2</sup> )
Pelat lantai	0,15	24	3,6
Spesi	0,02	21	0,42
Pasir	0,03	16	0,48
Keramik	0,01	22	0,22
Plafon dan penggantung		0,2	0,2
Me		0,25	0,25
QDL			5,17

## d. Beban Mati (QDL) pelat lt 8 – lt 20

Beban Mati (QDL) pelat lt 8 – lt 20 ditampilkan pada Tabel 20.

Tabel 9. beban mati pelat lt 8 – lt 20 (Data Lapangan)

Beban	Tebal (m)	Berat Jenis (kN/m <sup>3</sup> )	Total (kN/m <sup>2</sup> )
Pelat lantai	0,12	24	2,88
Spesi	0,02	21	0,42
Pasir	0,03	16	0,48
Keramik	0,01	22	0,22
Plafon dan penggantung		0,2	0,2
Me		0,25	0,25
QDL			4,45

e. Beban Mati (QDL) pelat *roof*

Beban Mati (QDL) pelat *roof* ditampilkan pada Tabel 21.

Tabel 10. Beban mati pelat *roof* (Data Lapangan)

Beban	Tebal (m)	Berat Jenis (kN/m <sup>3</sup> )	Total (kN/m <sup>2</sup> )
Plat atap dak	0,13	24	3,12
Plafon dan penggantung		0,2	0,2
Me		0,25	0,25
Lapis kedap air	0,002	19	0,04
QDL			3,61

### 3.5.4. Beban Mati Tambahan Dinding pada Balok

Beban tembok disesuaikan dengan denah gedung, tergantung letak dinding yang menumpu di balok. Berat Jenis dinding/balok sesuai dari SNI 1727: 2020 adalah 2 KN/m<sup>2</sup> dan tinggi dinding perantai 2,75 m, 3,30 m, 3,50, 5,50 m, 7,00 m dan 7,5 m. Berikut adalah tabel yang menampilkan beban mati tambahan pada balok berdasarkan tinggi dinding yang di gunakan.

Tabel 11. Beban Mati Tambahan dinding pada balok 2,75 m (Data Lapangan)

Jenis Balok	Tinggi Balok (m)	Tinggi Dinding (m)	Total (kN/m)
Pada Balok h = 600	0,6	2,15	4,30
Pada Balok h = 700	0,7	2,05	4,10
Pada Balok h = 400	0,4	2,35	4,70
Pada Balok h = 500	0,5	2,25	4,50
Pada Balok h = 800	0,8	1,95	3,9

Tabel 12. Beban Mati Tambahan dinding pada balok 3,30 m (Data Lapangan)

Beban	Tinggi Balok (m)	Tinggi Dinding (m)	Total (kN/m)
Pada Balok h = 600	0,6	2,7	5,4
Pada Balok h = 700	0,7	2,6	5,2
Pada Balok h = 500	0,5	2,8	5,6
Pada Balok h = 800	0,8	2,5	5

Tabel 13. Beban Mati Tambahan dinding pada balok 3,5 m (Data Lapangan)

Beban	Tinggi Balok (m)	Tinggi Dinding (m)	Total (kN/m)
Pada Balok h = 600	0,6	2,9	5,8
Pada Balok h = 700	0,7	2,8	5,6
Pada Balok h = 400	0,4	3,1	6,2
Pada Balok h = 800	0,8	2,7	5,4
Pada Balok 500	0,8	2,7	5,4

Tabel 14. Beban Mati Tambahan dinding pada balok 4 m (Data Lapangan)

Beban	Tinggi Balok (m)	Tinggi Dinding (m)	Total (kN/m)
Pada Balok 300x600	0,6	3,4	6,8
Pada Balok 400x600	0,6	3,4	6,8
Pada Balok 400x700	0,7	3,3	6,6
Pada Balok 500x800	0,8	3,2	6,4
Pada Balok 350X650	0,65	3,35	6,7

Tabel 15. Beban Mati Tambahan dinding pada balok 5,5 m (Data Lapangan)

Beban	Tinggi Balok (m)	Tinggi Dinding (m)	Total (kN/m)
Pada Balok h = 600	0,6	4,9	9,8
Pada Balok h = 700	0,7	4,8	9,6
Pada Balok h = 400	0,4	5,1	10,2
Pada Balok h = 500	0,5	5	10
Pada Balok 400x800	0,8	4,7	9,4
Pada Balok h = 900	0,9	4,6	9,2
Pada Balok h = 1000	0,1	5,4	10,8

Tabel 16. Beban Mati Tambahan dinding pada balok 7 m (Data Lapangan)

Beban	Tinggi Balok (m)	Tinggi Dinding (m)	Total (kN/m)
Pada Balok h = 600	0,6	6,4	12,8
Pada Balok h = 700	0,7	6,3	12,6
Pada Balok h = 500	0,5	6,5	13
Pada Balok h = 800	0,8	6,2	12,4
Pada balok h = 900	0,9	6,1	12,2

Tabel 17. Beban Mati Tambahan dinding pada balok 7,5 m (Data Lapangan)

Beban	Tinggi Balok (m)	Tinggi Dinding (m)	Total (kN/m)
Pada Balok 300x600	0,6	6,9	13,8
Pada Balok 400x600	0,6	6,9	13,8
Pada Balok 400x700	0,7	6,8	13,6
Pada Balok 500x800	0,8	6,7	13,4
Pada Balok 350X650	0,65	6,85	13,7

### 3.6. Koefisien Respon Seismik

Koefisien untuk batas atas pada perioda yang dihitung dapat dilihat pada lampiran tabel 13 dan periode fundamental struktur dapat dilihat pada lampiran tabel 14. Periode struktur tidak boleh melebihi hasil perkalian koefisien untuk batas atas pada perioda yang di hitung dengan perioda fundamental pendekatan. Perhitungan nilai periode fundamental dapat dilihat pada penyelesaian dibawah ini:

Untuk arah X.

$$T_a = C_t \times h_{nx} \quad C_u T_a = 1,4 \times 1,42$$

$$T_a = 0,0488 \times 89^{0,75} \quad C_u T_a = 1,9863$$

$$T_a = 1,4188 \text{ sec}$$

Untuk arah Y.

$$T_a = C_t \times h_{ny} \quad C_u T_a = 1,4 \times 1,42$$

$$T_a = 0,0488 \times 89^{0,75} \quad C_u T_a = 1,9863$$

$$T_a = 1,4188 \text{ sec}$$

Tpakai untuk arah X dan arah Y adalah 1,9863

Koefisien respons seismic  $C_s$  ditentukan dengan penyelesaian berikut:

Untuk arah X

$$C_s = SDS/(R/I_e) \quad C_s \text{ max} = SDi/(T_x(R/I_e)) \quad C_s \text{ min} = 0,044 S_d s I_e \geq 0,01$$

$$C_s = 0,685/(7/1) \quad C_s \text{ max} = 0,572/(1,99 \times (7/1)) \quad C_s \text{ min} = 0,044 \times 0,685 \times 1$$

$$C_s = 0,0978 \quad C_s \text{ max} = 0,0411 \quad C_s \text{ min} = 0,0301$$

Untuk arah Y

$$C_s = SDS/(R/I_e) \quad C_s \text{ max} = SDi/(T_x(R/I_e)) \quad C_s \text{ min} = 0,044 S_d s I_e \geq 0,01$$

$$C_s = 0,685/(7/1) \quad C_s \text{ max} = 0,572/(1,99 \times (7/1)) \quad C_s \text{ min} = 0,044 \times 0,685 \times 1$$

$$C_s = 0,0978 \quad C_s \text{ max} = 0,0411 \quad C_s \text{ min} = 0,0301$$

$C_s$  yang dipakai untuk arah X dan arah Y adalah 0,0411

### 3.7. Gaya Geser Dasar Seismik ( gaya Lateral )

Besaran gaya geser dasar seismik ( $V$ ) ditentukan dalam SNI 1726:2019 pasal 7.8.1 sebagai hasil perkalian koefisien respon seismik efektif. Apabila respon ragam (MRSA) digunakan dalam desain gaya geser dasar perlu di skalakan sampai 100% gaya geser dasar statik. Gaya geser lantai merupakan distribusi dari gaya geser dasar yang dibagi pada setiap lantai untuk masing-masing arah gempa. Nilai gaya geser setiap lantai didapat dari hasil pemodelan struktur dengan menggunakan program analisis struktur. Dalam penelitian ini nilai gaya geser yang diperoleh dari lapangan adalah berikut:

$$V = 9867,0382 \text{ KN}$$

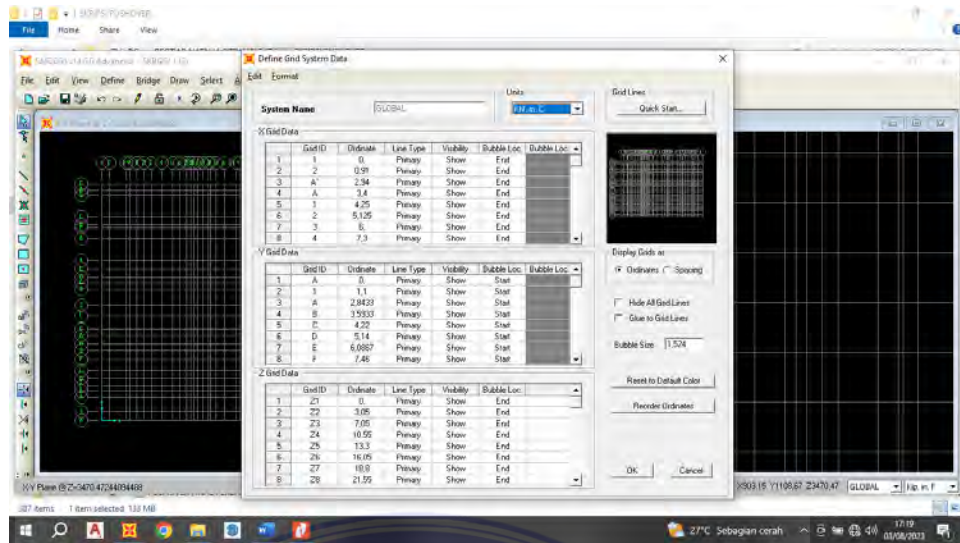
### 3.8. Langkah-langkah Pemodelan Struktur

Adapun Langkah-langkah pemodelan struktur adalah sebagai berikut:

- a. Membuat Grid pada SAP2000

Dengan membuat grid pada SAP2000 ini sehingga mempermudah dalam penggambaran struktur seperti pada gambar dibawah ini.

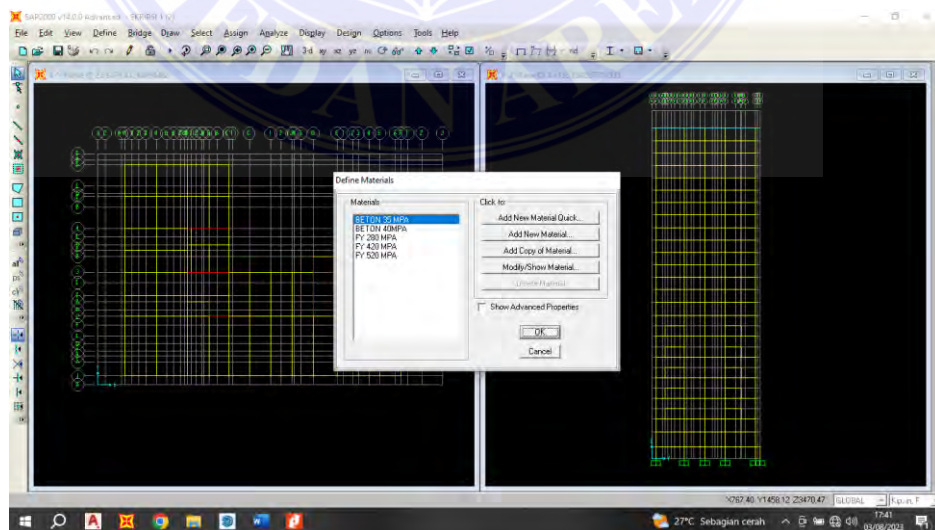




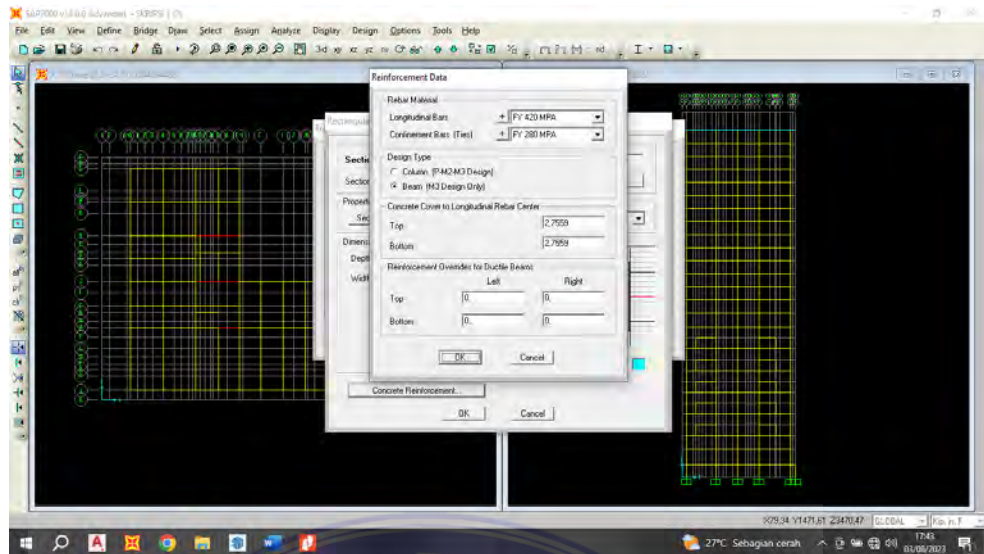
Gambar 9. Penggambaran Grid (SAP 2000 V 14)

- b. Penginputan jenis material yang digunakan serta penggambaran frame dan pelat.

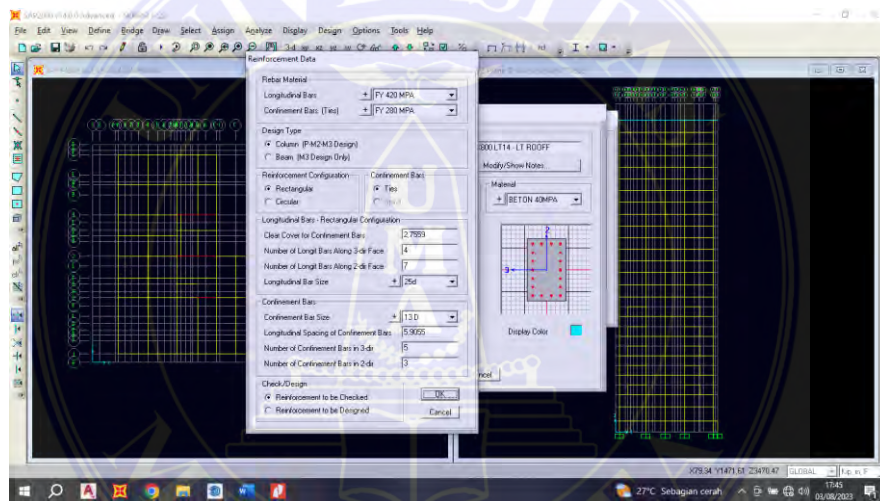
Setelah selesai membuat grid kemudian di definisikan jenis material, ukuran dimensi struktur dan penginputan jumlah tulangan pada balok dan kolom yang telah di tentukan dari proyek. Dibawah ini adalah gambar pendefensian material dan ukuran dimensi balok, kolom dan pelat (pelat atap, pelat lantai dan dinding geser).



Gambar 10. Pendefensian material (SAP 2000 V 14)

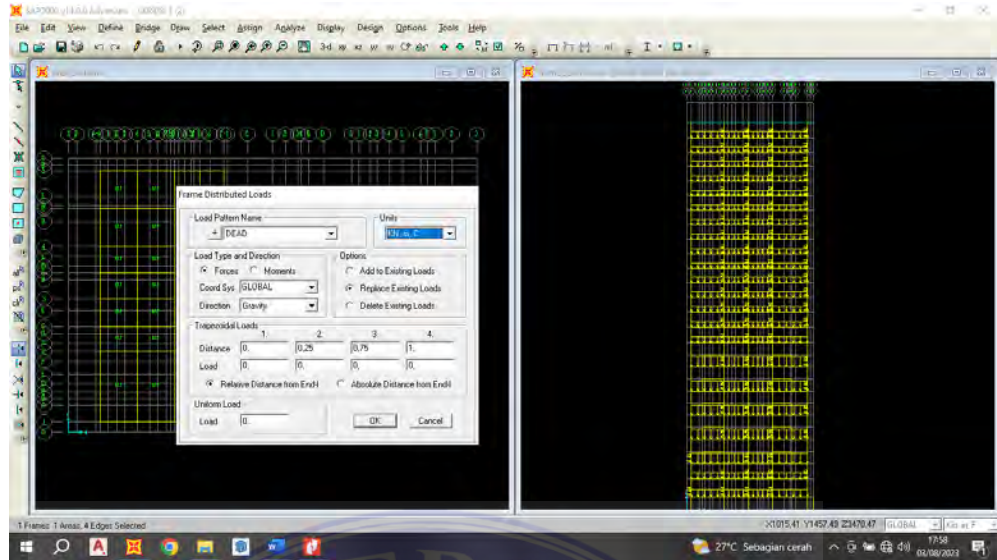


Gambar 11. Pendefinisian dimensi balok (SAP 2000 V 14)



Gambar 12. Pendefinisian dimensi kolom (SAP 2000 V 14)

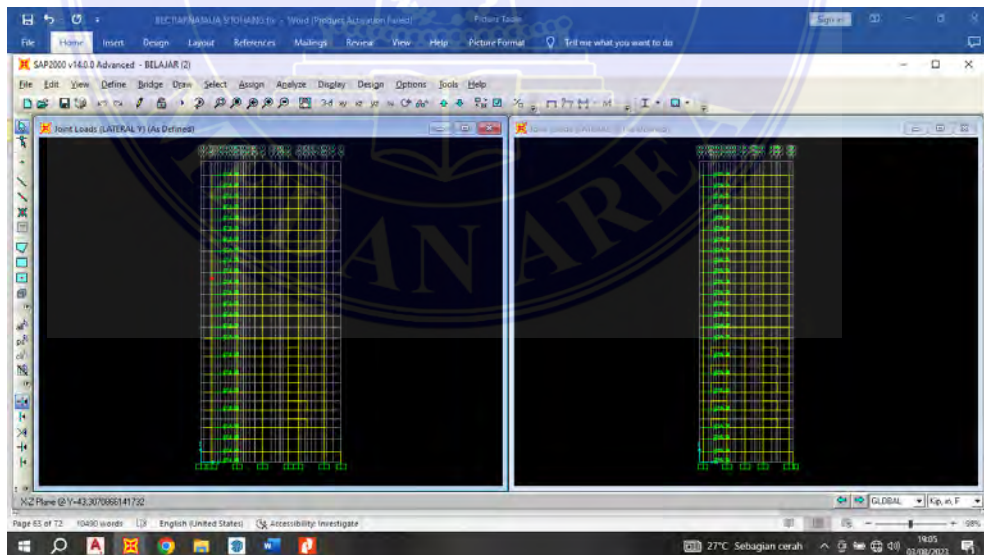
- c. Penginputan beban mati tambahan dan beban hidup pada balok dan pelat.
- Langkah ini dilakukan dengan memasukkan nilai beban mati tambahan yang telah di hitung sebelumnya sesuai dengan SNI pembebanan yang berlaku. Dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 13. Penginputan nilai beban mati tambahan dan beban hidup pada balok (SAP 2000 V 14)

d. Penginputan beban lateral arah-X dan arah-Y pada *joint*.

Penginputan nilai beban lateral ini dilakukan dari dua arah yaitu arah-X dan arah-Y yang dimana nilainya diperoleh dari proyek. Diwabah ini adalah gambar penginputan nilai beban lateral arah-X dan arah-Y.

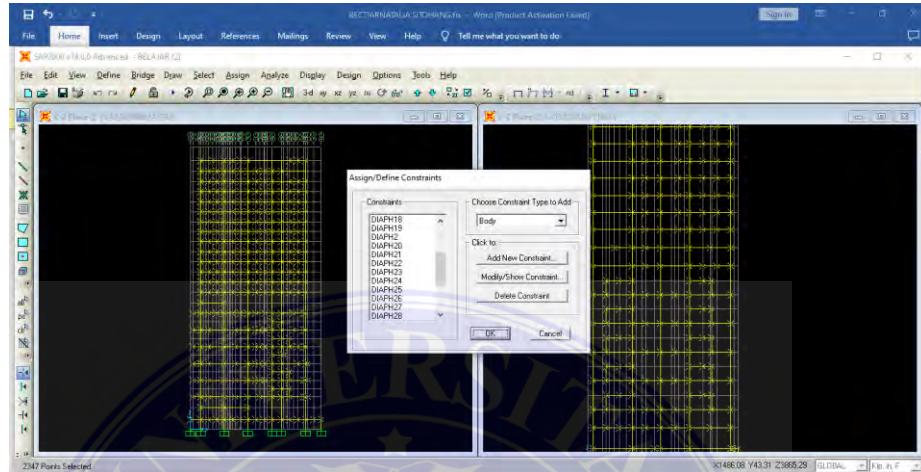


Gambar 14. Penginputan nilai beban lateral arah-X dan arah-Y (SAP 2000 V 14)

e. Membuat diafragma struktur

Terdapat 28 diafragma pada struktur Gedung ini yang dimana sesuai dengan jumlah lantainya yaitu 28 lantai. Dengan mengklik setiap joint

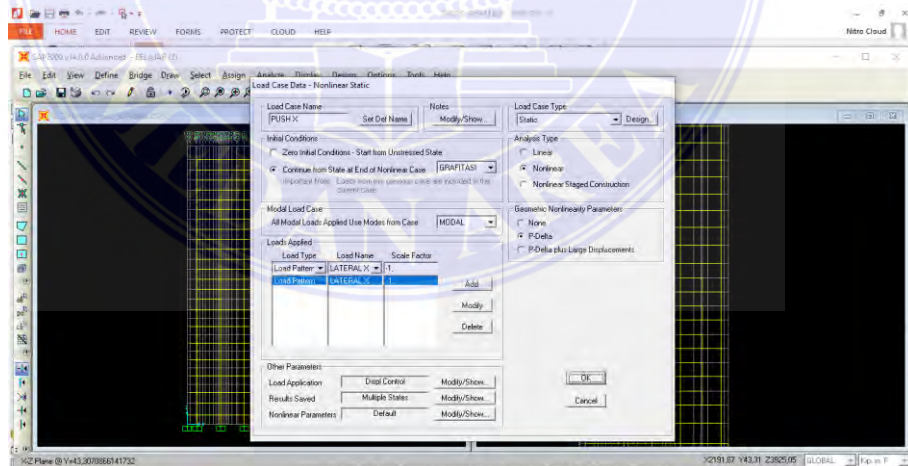
yang menghubungkan antara balok-kolom-pelat pada setiap lantai, sehingga akan membentuk diafragma dengan *assign-joint-constraints*. Maka hasil dari pendefinisian diafragma dapat ditampilkan pada gambar dibawah ini.



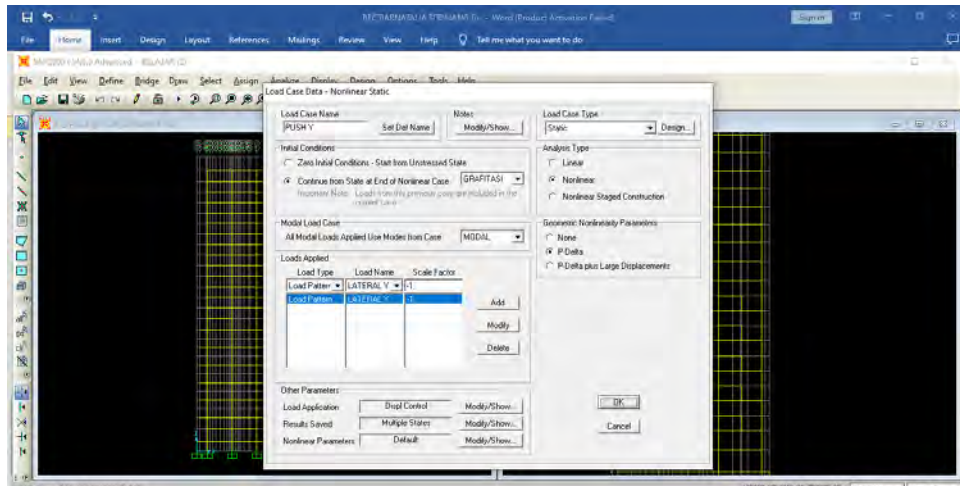
Gambar 15. Input Diafragma pada *joint* (SAP 2000 V 14)

f. Menentukan *nonlinier pushover case* arah-X

Nilai yang akan di input kedalam program analisis struktur dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



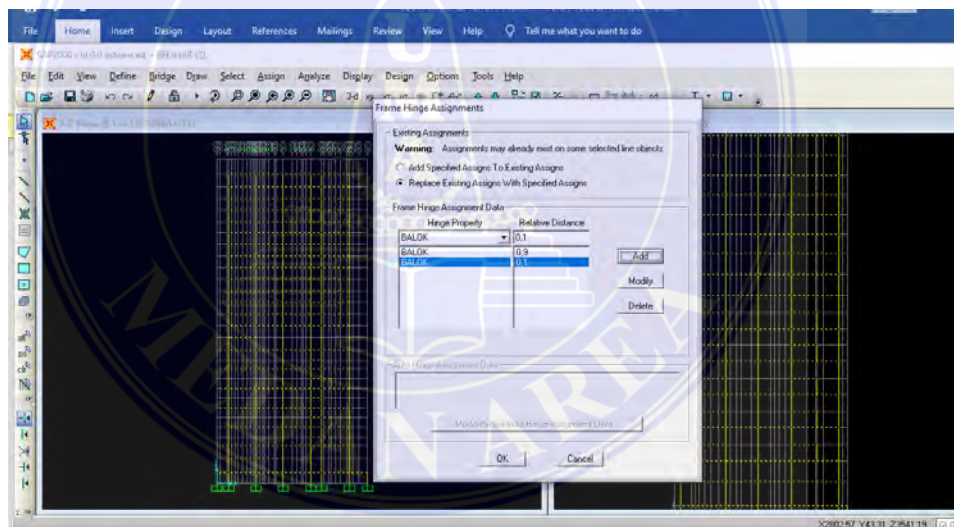
Gambar 16. Input *nonlinier pushover case* arah-X (SAP 2000 V 14)



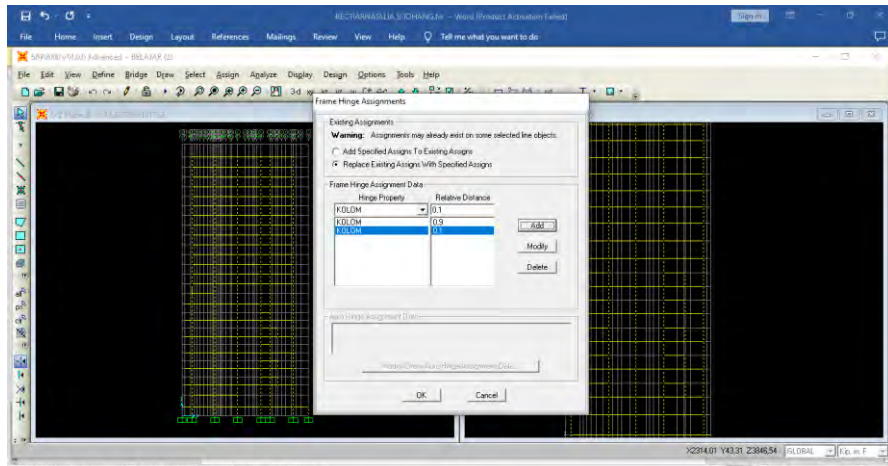
Gambar 17. Input *nonlinier pushover case* arah-Y (SAP 2000 V 14)

g. *Input hinges* pada balok dan kolom (sendi plastis)

Pilih semua balok yang ada pada setiap lantai kemudian satu persatu masukkan nilai hinges nya, seperti terlihat pada gamba dibawah ini:



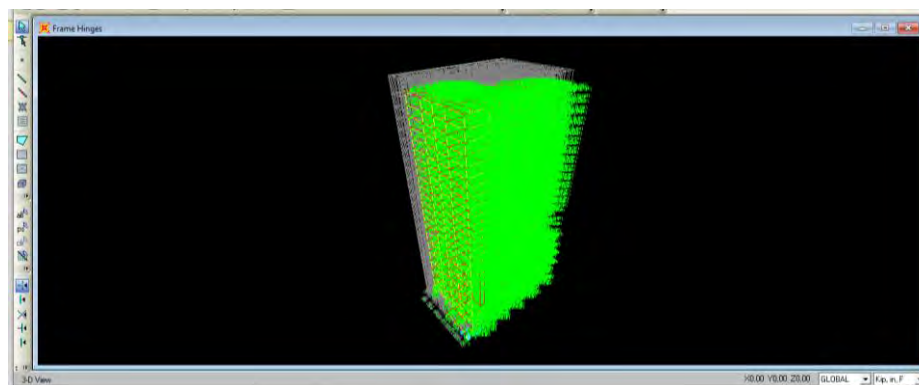
Gambar 18. Input *hinges* pada balok (SAP 2000 V 14)

Gambar 19. Input *hinges* pada balok (SAP 2000 V 14)h. *Running* program

Program akan menjalankan proses analisisnya, proses ini akan memakan waktu  $\pm 2$  jam hingga proses *running* nya selesai.

### 3.9. Pemodelan Sendi Palstis

Di dalam analisis *Pushover*, hal lain yang perlu diperhatikan adalah model atau definisi sambungan plastis pada bagian struktur yang akan dibuat. Definisi sendi plastis didasarkan pada perilaku struktur yang dirancang. Perilaku organisasi sangat mempengaruhi jenis struktur yang dimodelkan. Dalam hal ini, struktur akan berperilaku seperti *beam sawy mechanism*, dimana artinya adalah ketika struktur dikenai beban lateral, balok akan mengalami leleh pada ujung-ujungnya terlebih dahulu. Balok tersebut kemudian diikuti dengan kelelahan pada bagian atas kolom serta pada dinding geser di bagian atas.. Penginputan nilai *Hinges* pada kolom dan balok dapat dilihat pada gambar 4.4. dan gambar 4.5 di bawah ini.



Gambar 20. Input nilai *Hinges* pada kolom dan balok (SAP 2000 V 14)



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

Dari hasil analisis, dapat disimpulkan bahwa perilaku struktur gedung bersifat non-linier, artinya respons struktur tidak bersifat proporsional terhadap beban yang diberikan. Hal ini umumnya terjadi dalam kondisi beban yang lebih tinggi atau deformasi yang signifikan. Analisis *pushover* adalah metode yang digunakan untuk mengevaluasi performa struktur terhadap beban lateral secara bertahap. Metode ini membantu dalam memahami bagaimana struktur merespon beban yang semakin meningkat, khususnya dalam kondisi non-linier. Dalam arah X, nilai displacement maksimum sebesar 164 mm dicapai dengan *base shear* sebesar 9129,294 kN. Sementara dalam arah Y, displacement yang didapat adalah sebesar 25,5 mm dengan *base shear* sebesar 9667,421 kN. Ini menggambarkan bagaimana struktur bereaksi terhadap beban lateral dalam kedua arah. Berdasarkan klasifikasi kinerja struktur sesuai ATC-40, baik dalam arah X maupun arah Y, struktur gedung masuk dalam kategori "*Immediate Occupancy*". Artinya, struktur tersebut mampu mempertahankan fungsinya tanpa mengalami kerusakan yang signifikan pada level beban yang diberikan. Tingkat kinerja ini masih jauh di bawah batas "*Collapse Prevention (CP)*", yang berarti bahwa struktur dianggap aman dalam kondisi tersebut.

Sesuai dengan hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan dari model tersebut sehingga dapat diambil kesimpulan yaitu perilaku non-linier struktur gedung dengan metode analisis *pushover* untuk arah X dan arah Y telah diperoleh. Dimana nilai *displacement* maksimum arah X sebesar 164 mm dengan



*base shear* sebesar 9129,294 kN dan Nilai *displacement* arah Y yang didapat yaitu sebesar 25,5 mm dengan *base shear* sebesar 9667,421 kN. Kinerja struktur gedung sesuai ATC-40, pada arah X maupun arah Y menunjukkan bahwa struktur gedung yang dianalisis termasuk dalam kategori level *Immediate Occupancy*. Dimana level kinerja tersebut masih dalam batas *Collapse Prevention* (CP), sehingga struktur dikatakan aman.

## 5.2 Saran

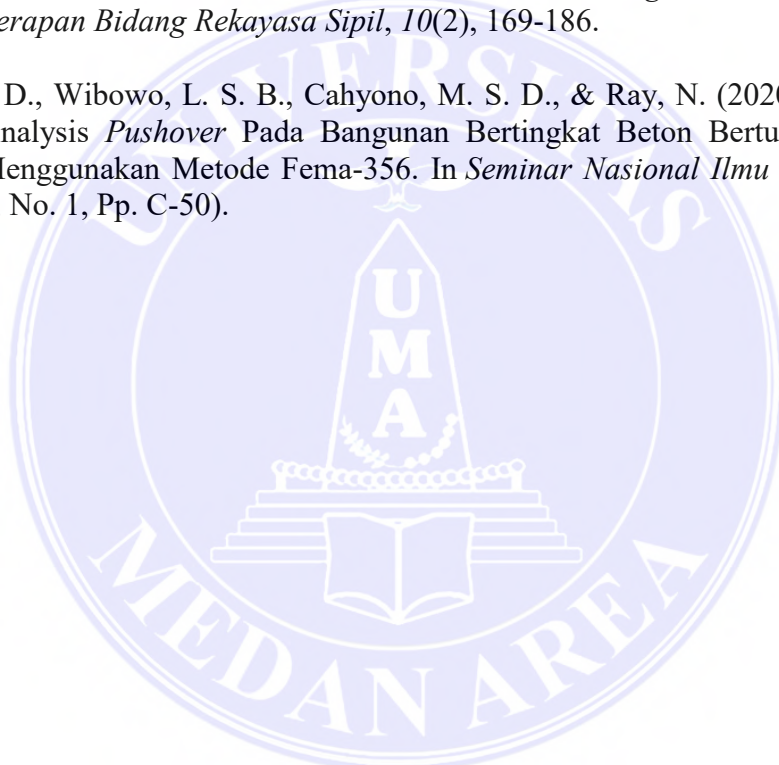
Adapun saran dalam penelitian ini diantaranya sebagai berikut :

1. Untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat, maka evaluasi dapat dilanjutkan dengan analisa *time history*.
2. Memperhatikan parameter-parameter yang akan digunakan dalam proses analisis *pushover* dengan bantuan program *software*, agar hasil analisis akurat dan sesuai dengan kondisi yang terjadi akibat gempa.

## DAFTAR PUSTAKA

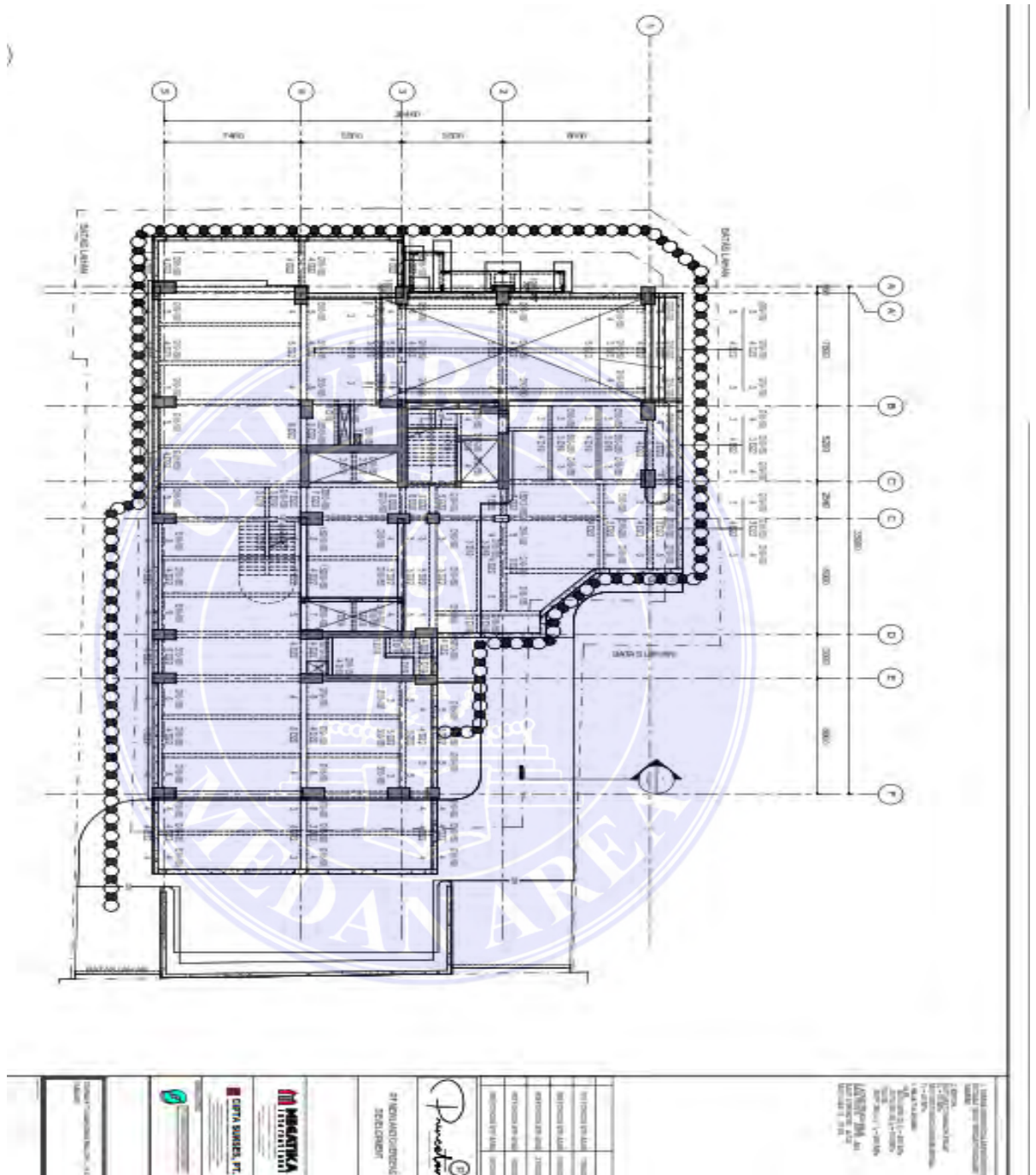
- Faimun. (2013). Beton Tahan Gempa. In *Jurnal Teknik ITS* (Vol. 12, Issue 1, pp. 15–20). ITS Press.
- Firdha, R. A., Isneini, M., Husni, H. R., & Widyawati, R. (2021). Analisis Kinerja Struktur Gedung Bertingkat Terhadap Beban Gempa Dengan Metode *Pushover Analysis* (Studi Kasus: Gedung Rawat Inap Non-Bedah Rumah Sakit Umum Daerah Dr. H. Abdul Moeloek). *Jurnal Rekayasa Sipil Dan Desain*, 9(4), 829-840.
- Gunawan, L. Y., & Idris, Y. (2018). Evaluasi Kinerja Seismik Gedung Hotel Harper Palembang Dengan *Pushover Analysis* Menggunakan Program Sap2000 (Doctoral Dissertation, Sriwijaya University).
- Habibi, I. (2019). *Analisa Pushover Pada Bangunan Gedung Telkomsel Di Kota Pematang Siantar (Studi Kasus)* (Doctoral Dissertation).
- Hasibuan, S. A., Karisma, D. A., & Zhafira, T. (2023). *Performance Evaluation Of The Structure Of The Klaten Dprd Building When Affected By A 7.0 Magnitude Earthquake. Aij*, 03(01), 50-57.
- Istiono, H., & Ramadhan, A. Y. (2020). Analisis Pengaruh *P-Delta Effect* Terhadap Perbedaan Ketinggian Struktur Gedung Tahan Gempa (Studi Kasus: *Non-Highrise Building*). *Rekayasa Sipil*, 14(3), 218-226.
- Nurjaman, H. N. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Nongedung. Bsn.
- Nurjaman, H. N. Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung Dan Penjelasan. Bsn.
- Potalangi, J. G., Manalip, H., & Wallah, S. E. (2020). Analisis Keruntuhan Gedung Bertingkat Akibat Beban Gempa Dan Beban Angin Dengan Metode *Pushover*. *Jurnal Ilmiah Media Engineering*, 10(1).
- Pramudhita, G., & Buwono, H. K. (2019). Analisis Nonlinier Static *Pushover* Struktur Gedung Bertingkat Soft Story Dengan Menggunakan Material Beton Bertulang Dan Beton Prategang Pada Balok Bentang Panjang. *Konstruksia*, 10(2), 95-106.
- Septian, N., Turuallo, G., & Sulendra, I. K. (2022). Kinerja Portal Struktur Gedung Tahan Gempa Dengan Sistem Ganda Menggunakan Metode *Pushover Analysis*. *Rekonstruksi Tadulako: Civil Engineering Journal On Research And Development*, 35-42.

- Siswanto, A. B. (2018). Kriteria dasar perencanaan struktur bangunan tahan gempa. *Jurnal Teknik Sipil*, 11, 59-72.
- Sriwahyuningsih, Y. Analisis Kinerja Struktur Gedung Beton Bertulang Terhadap Beban Gempa Dengan Metode Beban Dorong (Pushover)(Studi Kasus: Hotel Santika Banyuwangi).
- Sodik, A. S. N., & Andayani, R. (2021). Pengaruh Penerapan Sni 1726: 2019 Terhadap Desain Struktur Rangka Momen Beton Bertulang Di Indonesia. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 17(1), 1-12.
- Tampubolon, S. P., Sarasantika, I. P. E., & Suarjana, I. W. G. (2022). Analisis Kerusakan Struktur Bangunan Dan Manajemen Bencana Akibat Gempa Bumi, Tsunami, Dan Likuifaksi Di Palu. *Bentang: Jurnal Teoritis Dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*, 10(2), 169-186.
- Zebua, D., Wibowo, L. S. B., Cahyono, M. S. D., & Ray, N. (2020, November). Analisis *Pushover* Pada Bangunan Bertingkat Beton Bertulang 7 Lantai Menggunakan Metode Fema-356. In *Seminar Nasional Ilmu Terapan* (Vol. 4, No. 1, Pp. C-50).



## LAMPIRAN

### Lampiran 1 Denah Bangunan




Lampiran 2 Dimensi Kolom

Lantai	Material Beton Tulangan	Dimensi	K-1	K-1A
LT 8	DAMIRI TULANGSIAN SINANGSI PENANGKAT	600 x 600 30 D20 025-081/15 025-081/15 025-081/15	600 x 1200 30 D20 025-081/15 025-081/15 025-081/15	600 x 1200 30 D20 025-081/15 025-081/15 025-081/15
LT 7	DAMIRI TULANGSIAN SINANGSI PENANGKAT	750 x 750 30 D20 025-081/15 025-081/15 025-081/15	750 x 1200 30 D20 025-081/15 025-081/15 025-081/15	750 x 1200 30 D20 025-081/15 025-081/15 025-081/15
LT 6	DAMIRI TULANGSIAN SINANGSI PENANGKAT	600 x 600 30 D20 025-081/15 025-081/15 025-081/15	600 x 1200 30 D20 025-081/15 025-081/15 025-081/15	600 x 1200 30 D20 025-081/15 025-081/15 025-081/15
LT 5	DAMIRI TULANGSIAN SINANGSI PENANGKAT	600 x 600 30 D20 025-081/15 025-081/15 025-081/15	600 x 1200 30 D20 025-081/15 025-081/15 025-081/15	600 x 1200 30 D20 025-081/15 025-081/15 025-081/15
LT 4	DAMIRI TULANGSIAN SINANGSI PENANGKAT	600 x 600 30 D20 025-081/15 025-081/15 025-081/15	600 x 1200 30 D20 025-081/15 025-081/15 025-081/15	600 x 1200 30 D20 025-081/15 025-081/15 025-081/15
LT 3	DAMIRI TULANGSIAN SINANGSI PENANGKAT	600 x 600 30 D20 025-081/15 025-081/15 025-081/15	600 x 1200 30 D20 025-081/15 025-081/15 025-081/15	600 x 1200 30 D20 025-081/15 025-081/15 025-081/15
LT 2	DAMIRI TULANGSIAN SINANGSI PENANGKAT	750 x 750 30 D20 025-081/15 025-081/15 025-081/15	750 x 1200 30 D20 025-081/15 025-081/15 025-081/15	750 x 1200 30 D20 025-081/15 025-081/15 025-081/15
LT 1	DAMIRI TULANGSIAN SINANGSI PENANGKAT	750 x 750 30 D20 025-081/15 025-081/15 025-081/15	750 x 1200 30 D20 025-081/15 025-081/15 025-081/15	750 x 1200 30 D20 025-081/15 025-081/15 025-081/15

Lantai	Material Beton Tulangan	Dimensi	K-1	K-1A
LT 8	DAMIRI TULANGSIAN SINANGSI PENANGKAT	600 x 600 30 D20 025-081/15 025-081/15 025-081/15	600 x 1200 30 D20 025-081/15 025-081/15 025-081/15	600 x 1200 30 D20 025-081/15 025-081/15 025-081/15
LT 7	DAMIRI TULANGSIAN SINANGSI PENANGKAT	750 x 750 30 D20 025-081/15 025-081/15 025-081/15	750 x 1200 30 D20 025-081/15 025-081/15 025-081/15	750 x 1200 30 D20 025-081/15 025-081/15 025-081/15
LT 6	DAMIRI TULANGSIAN SINANGSI PENANGKAT	600 x 600 30 D20 025-081/15 025-081/15 025-081/15	600 x 1200 30 D20 025-081/15 025-081/15 025-081/15	600 x 1200 30 D20 025-081/15 025-081/15 025-081/15
LT 5	DAMIRI TULANGSIAN SINANGSI PENANGKAT	600 x 600 30 D20 025-081/15 025-081/15 025-081/15	600 x 1200 30 D20 025-081/15 025-081/15 025-081/15	600 x 1200 30 D20 025-081/15 025-081/15 025-081/15
LT 4	DAMIRI TULANGSIAN SINANGSI PENANGKAT	600 x 600 30 D20 025-081/15 025-081/15 025-081/15	600 x 1200 30 D20 025-081/15 025-081/15 025-081/15	600 x 1200 30 D20 025-081/15 025-081/15 025-081/15
LT 3	DAMIRI TULANGSIAN SINANGSI PENANGKAT	600 x 600 30 D20 025-081/15 025-081/15 025-081/15	600 x 1200 30 D20 025-081/15 025-081/15 025-081/15	600 x 1200 30 D20 025-081/15 025-081/15 025-081/15
LT 2	DAMIRI TULANGSIAN SINANGSI PENANGKAT	750 x 750 30 D20 025-081/15 025-081/15 025-081/15	750 x 1200 30 D20 025-081/15 025-081/15 025-081/15	750 x 1200 30 D20 025-081/15 025-081/15 025-081/15
LT 1	DAMIRI TULANGSIAN SINANGSI PENANGKAT	750 x 750 30 D20 025-081/15 025-081/15 025-081/15	750 x 1200 30 D20 025-081/15 025-081/15 025-081/15	750 x 1200 30 D20 025-081/15 025-081/15 025-081/15

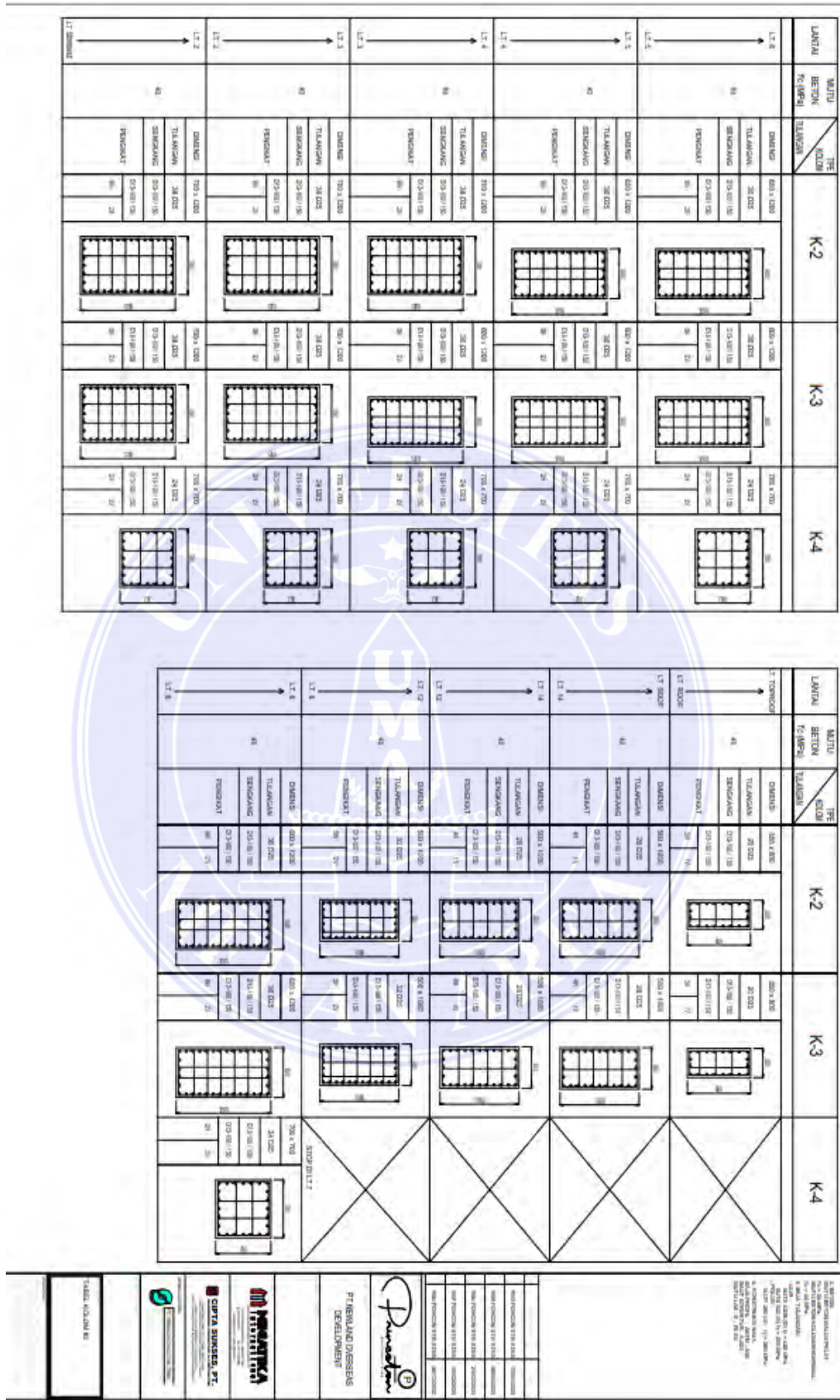
\*SANKU STRUKTUR TULANGSIAN UNIVERSITAS MEDAN 120cm x 18 cm

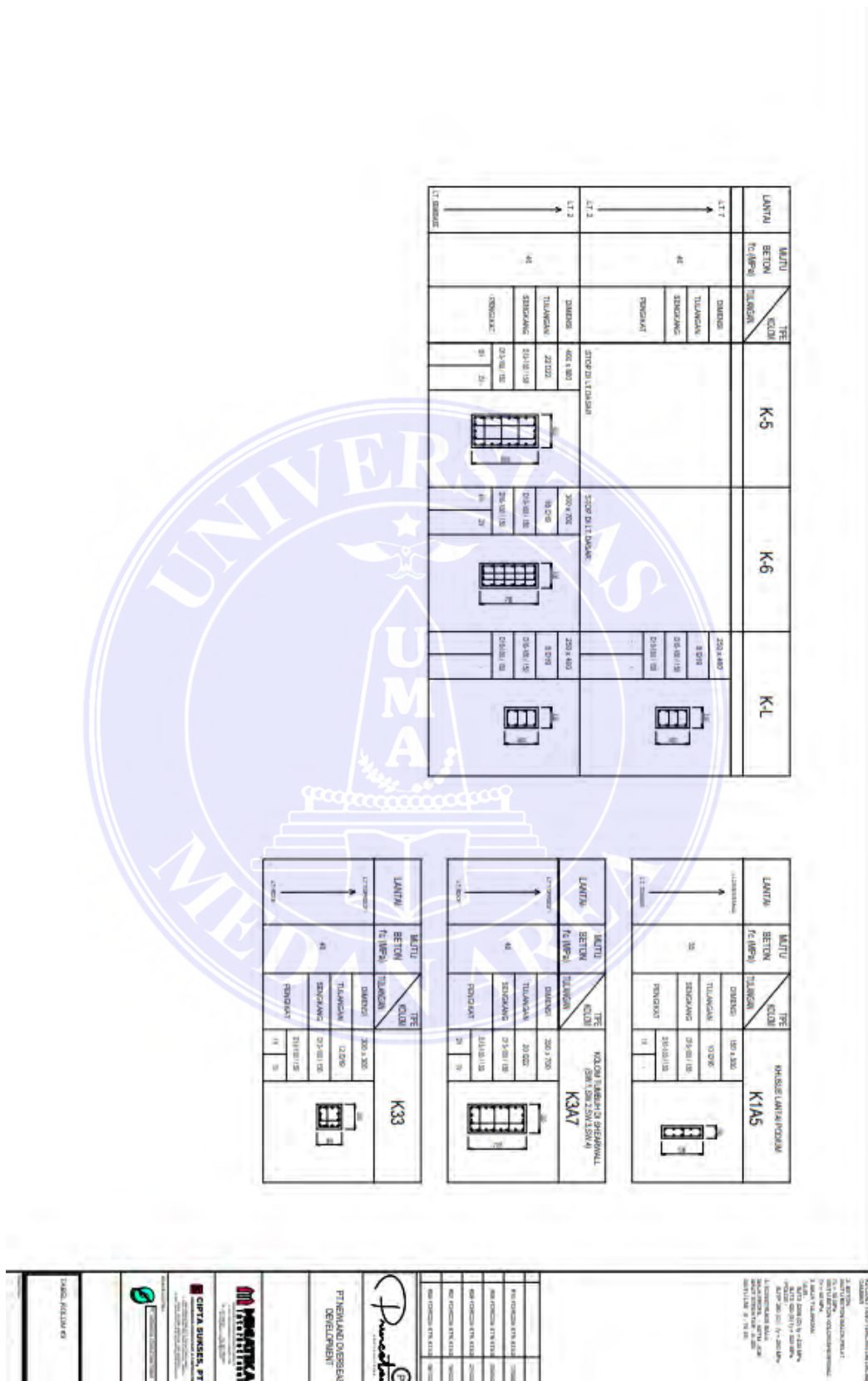
PT. PERSADA  
PT. PERSADA  
PT. PERSADA



PT. PERSADA  
PT. PERSADA  
PT. PERSADA

PT. PERSADA  
PT. PERSADA  
PT. PERSADA











Lampiran 5 Tabel Ketidakberaturan horizontal pada struktur SNI 1726;2019.

No.	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal referens	Penerapan Kategori Desain Seismik
1a	Ketidakberaturan torsi didefinisikan ada jika simpangan antar tingkat maksimum, yang dihitung termasuk torsi tak terduga dengan $Ax = 1,0$ , di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,2 kali simpangan antar tingkat rata-rata dikedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku.	7.3.3.4 7.7.3 7.8.4.3 7.12.1 Tabel 16 11.3.4	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 tingkat maksimum yang dihitung termasuk akibat torsi tak terduga dengan $Ax = 1,0$ , di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,4 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi berlebihan dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku.	7.3.3.1 7.3.3.4 7.3.4.2 7.7.3 7.8.4.3 7.12.1 Tabel 16 11.3.4	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 kedua dimensi proyeksi denah struktur dari lokasi sudut dalam lebih besar dari 15 % dimensi denah struktur dalam arah yang ditinjau.	7.3.3.4 Tabel 16	D, E, dan F D, E, dan F
3.	Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma didefinisikan ada jika terdapat suatu diafragma yang memiliki diskontinuitas atau variasi kekakuan mendadak, termasuk yang mempunyai daerah terpotong atau terbuka lebih besar dari 50 % daerah diafragma bruto yang tertutup, atau perubahan kekakuan diafragma efektif lebih dari 50 % dari suatu tingkat ke tingkat selanjutnya.	7.3.3.4 Tabel 16	D, E, dan F D, E, dan F
4.	Ketidakberaturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang didefinisikan ada jika terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, seperti pergeseran tegak lurus terhadap bidang	7.3.3.3 7.3.3.4 7.7.3 Tabel 16 11.3.4	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

	pada setidaknya satu elemen vertikal pemikul gaya lateral.		
5.	Ketidakteraturan sistem nonparalel didefinisikan ada jika elemen vertikal pemikul gaya lateral tidak paralel terhadap sumbu-sumbu orthogonal utama system pemikul gaya seismik.	7.5.3 7.7.3 Tabel 16 11.3.4	C, D, E, dan F B, C, D, E, dan FD, E, dan F B, C, D, E, dan F

## Lampiran 6 Ketidak Beraturan Vertikal Pada Struktur SNI 1726;2019.

	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal Referensi	Penerapan kategori desain seismic
1a.	Ketidakteraturan Kekakuan Tingkat Lunak didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 70% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80 % kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.	Tabel 16	D, E, dan F
1b.	Ketidakteraturan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 60 % kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 70 % kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.	7.3.3.1 Tabel 16	E dan F D, E, dan F
2.	Ketidakteraturan Berat (Massa) didefinisikan ada jika massa efektif di sebarang tingkat lebih dari 150 % massa efektif tingkat didekatnya. Atap yang lebih ringan dari lantai di bawahnya tidak perlu ditinjau.	Tabel 16	D, E, dan F
3.	Ketidakteraturan Geometri Vertikal didefinisikan jika ada dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik di sebarang tingkat lebih dari 130 % dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismic tingkat didekatnya.	Tabel 16	D, E, dan F
4.	Ketidakteraturan Akibat Diskontinuitas Bidang pada Elemen Vertikal Pemikul Gaya Lateral didefinisikan ada jika pergeseran arah bidang elemen pemikul gaya lateral lebih besar dari Panjang elemen itu atau terdapat reduksi	7.3.3.3 7.3.3.4 Tabel 16	B, C, D, E, dan F D, E, dan F D, E, dan F

	kekakuan elemen pemikul di tingkat di bawahnya.		
5a.	Ketidakteraturan Tingkat Lemah Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat didefinisikan ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 80 % kekuatan lateral tingkat di atasnya. Kekuatan lateral tingkat adalah kekuatan total semua elemen pemikul seismik yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditinjau.	7.3.3.1 Tabel 16	E dan F D, E, dan F
5b.	Ketidakteraturan Tingkat Lemah Berlebihan Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat didefinisikan ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 65 % kekuatan lateral tingkat di atasnya. Kekuatan lateral tingkat adalah kekuatan total semua elemen pemikul seismik yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditinjau.	7.3.3.1 7.3.3.2 Tabel 16	D, E, dan F B dan C D, E, dan F

Lampiran 7 Tabel Kategori risiko bangunan gedung dan nongedung untuk beban gempa.

Jenis pemanfaatan	Kategori Risiko
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: - Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, 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

<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"> <li>- Bioskop</li> <li>- Gedung pertemuan</li> <li>- Stadion</li> <li>- Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat</li> <li>- Fasilitas penitipan anak</li> <li>- Penjara</li> <li>- Bangunan untuk orang jompo</li> </ul> <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"> <li>- Pusat pembangkit listrik biasa</li> <li>- Fasilitas penanganan air</li> <li>- Fasilitas penanganan limbah</li> <li>- Pusat telekomunikasi</li> </ul> <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 Iberwenang 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"> <li>- Bangunan-bangunan monumental</li> <li>- Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan</li> <li>- Rumah ibadah</li> <li>- Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat</li> <li>- Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat</li> <li>- Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya</li> <li>- Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat</li> <li>- Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat</li> <li>- 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</li> </ul>	IV

disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV	
---	--

Lampiran 8 Tabel Faktor keutamaan gempa berdasarkan SNI 1726;2019.

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, $I_e$
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

Lampiran 9 Tabel Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek

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

Lampiran 10 Tabel Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik berdasarkan SNI 1726;2019.

Nilai $S_{DS}$	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{DS} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{DS} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{DS}$	D	D

Lampiran 11 Tabel Prosedur analisis yang boleh digunakan berdasarkan SNI 1726;2019.

Kategori Desain Seismik	Karakteristik struktur	Analisis gaya Lateral ekuivalen Pasal 7.8	Analisis spektrum respons ragam Pasal 7.9	Prosedur respons riwayat waktu seismik Pasal 11
B, C	Semua struktur	I	I	I
D, E, F	Bangunan dengan kategori risiko I atau II yang tidak melebihi 2 tingkat diatas dasar	I	I	I
	Struktur tanpa ketidakberaturan struktural dan ketinggiannya tidak melebihi 48,8 m	I	I	I
	Struktur tanpa ketidakberaturan struktural dengan ketinggian melebihi 48,8 m dan $T < 3.5 T_s$	I	I	I
	Struktur dengan ketinggian tidak melebihi 48,8 m dan hanya memiliki ketidakberaturan horizontal tipe 2,3,4 atau 5 atau ketidakberaturan vertikal tipe 4, 5a atau 5b	TI	I	I
	Semua struktur lainnya	I	I	I

Lampiran 12 Tabel Faktor  $R$ ,  $C_d$ , dan  $\Omega_0$  untuk sistem pemikul gaya seismik

Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, $R^a$	Faktor kuat lebih sistem, $\Omega_{0b}$	Faktor pembesaran defleksi, $C_d^c$	Batasan sistem struktur dan Batasan tinggi struktur, $h_n m^d$				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D <sup>e</sup>	E <sup>e</sup>	F <sup>f</sup>
Dinding geser beton bertulang khusus	5	$2 \frac{1}{2}$	5	TB	TB	48	48	30

Lampiran 13 Tabel Klasifikasi Situs

Kelas situs	$V_s$ (m/det)	$\tilde{N}$ atau $\tilde{N}ch$	$\tilde{S}_u$ (kPa)
-------------	---------------	--------------------------------	---------------------

<i>SA</i> (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
<i>SB</i> (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
<i>SC</i> (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	$\geq 100$
<i>SD</i> (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
<i>SE</i> (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 niralirs $PI > 20, \tilde{S}u < 25$ kPa		
<i>SF</i> (tanah khusus,yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 6.10.1)	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 $H > 3$ - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan indeks plasitisitas $PI > 75$ ) Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ dengan $\tilde{S}u < 50$ kPa		

Lampiran 14 Tabel 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, $S_s$					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 0,25$
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	$SS^{(a)}$					

Lampiran 15 Tabel Koefisien situs,  $F_v$



Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget $MCE_R$ Terpetakan pada periode 1 detik, $S_1$					
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 = 0,5$	$S_1 \geq 0,6$
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	$SS^{(a)}$					

Lampiran 16 Tabel Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung

No.	Parameter percepatan respons spektral desain Pada 1 detik $S_{D1}$	Koefisien Cu
1.	$\geq 0,4$	1,4
2.	0,3	1,4
3.	0,2	1,5
4.	0,15	1,6
5.	$\leq 0,1$	1,7

Lampiran 17 Tabel Parameter pendekatan  $C_t$  dan  $x$ 

Tipe struktur	$C_t$	$X$
Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75