

**ANALISIS KINERJA STRUKTUR PADA GEDUNG RUMAH  
SAKIT REGINA MARIS MEDAN DENGAN METODE  
RIWAYAT WAKTU MENGGUNAKAN *SOFTWARE* ETABS**

**SKRIPSI**

**OLEH:**

**YOSEPHA ANGELA MANULLANG  
198110129**



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

**ANALISIS KINERJA STRUKTUR PADA GEDUNG RUMAH  
SAKIT REGINA MARIS MEDAN DENGAN METODE  
RIWAYAT WAKTU MENGGUNAKAN *SOFTWARE* ETABS**

**SKRIPSI**

Diajukan Guna Melengkapi Persyaratan untuk Memenuhi  
Gelar Sarjana di Fakultas Teknik  
Universitas Medan Area



**Oleh:**

**YOSEPHA ANGELA MANULLANG  
198110129**

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

## HALAMAN PENGESAHAN

Judul Skripsi : Analisis Kinerja Struktur Pada Gedung Rumah Sakit  
Regina Maris Medan Dengan Metode Riwayat Waktu  
Menggunakan *Software* Etabs  
Nama : Yosepha Angela Manullang  
NPM : 198110129  
Fakultas : Teknik

Disetujui Oleh :  
Komisi Pembimbing



Hermansyah, ST. MT  
Pembimbing



Dr. Rahmad Syah, S.Kom., M.Kom  
Dekan

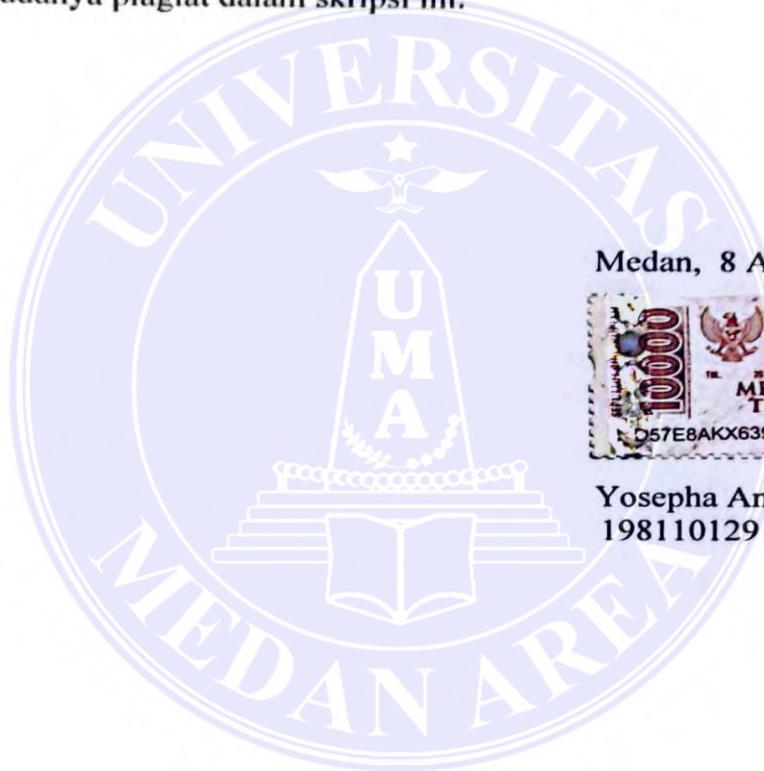


Eka Dinda Wulandari, S.T., M.T  
Kaprogram Studi

Tanggal Lulus : 8 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.



Medan, 8 Agustus 2023



Yosepha Angela Manullang  
198110129

## HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Yosepha Angela Manullang  
NPM : 198110129  
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 : Analisis Kinerja Struktur Pada Gedung Rumah Sakit Regina Maris Medan Dengan Metode Riwayat Waktu Menggunakan Software Etabs. Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalih media/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 : 8 Agustus 2023  
Yang menyatakan



(Yosepha Angela Manullang)

## RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Tanjung Morawa Pada tanggal 23 Maret 2001 dari Ayah Arifin Manullang dan Ibu Elsina Malau Penulis merupakan putri ke 1 dari 4 bersudara. Tahun 2019 Penulis lulus dari SMA Negeri 2 Medan dan pada tahun 2019 terdaftar sebagai Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Medan Area. Penulis melaksanakan Praktek Kerja Lapangan (PKL) di Proyek Pembangunan Rumah Sakit Columbia Asia Medan.



## KATA PENGANTAR

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 struktur dengan judul Analisis Kinerja Struktur Pada Gedung Rumah Sakit Regina Maris Medan Dengan Metode Riwayat Waktu Menggunakan Software Etabs. Terima kasih penulis sampaikan kepada Bapak Hermansyah, 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 Teman Seperjuangan yang telah banyak membantu penulis selama penyusunan skripsi. Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada Ayah, Ibu serta seluruh keluarga atas segala doa dan perhatiannya. Dan ungkapan terima kasih juga untuk seseorang dengan NPM 188110045 yang selalu mendukung penulis dalam menyelesaikan skripsi ini. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu, kritik 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



(Yosepha Angela Manullang)

## ABSTRAK

Bangunan bertingkat merupakan bangunan yang rentan apabila terjadi gempa bumi dan berpotensi menimbulkan korban jiwa. Pergerakan tanah akibat terjadinya gempa bumi dapat menimbulkan getaran dan deformasi yang dapat merusak struktur bangunan. Analisis serta evaluasi perlu dilakukan untuk meminimalisir kejadian yang tidak diinginkan. 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. Analisis struktur yang dilakukan menggunakan metode riwayat waktu dengan bantuan software ETABS V.18. Model gedung dianalisis dengan menggunakan 1 akselerogram gempa masukan. Percepatan akselerogram yang digunakan sebagai gempa masukan perlu diskalakan terlebih dahulu terhadap taraf gempa rencana sesuai objek penelitian. Dari hasil penelitian ini, didapatkan bahwa Menurut ATC-40 jika gedung diberikan gempa Chichi (1999) maka level kinerja struktur adalah structural stability dengan nilai max.drift 0,19 (X) dan 0,16 (Y), jika gedung diberikan gempa Iwate Japan (2008) maka level kinerja struktur adalah structural stability dengan nilai max.drift 0,22 (X) dan 0,17 (Y), dan jika gedung diberikan gempa Northwest California (1938) maka level kinerja struktur adalah structural stability dengan nilai max.drift 0,17 (X) dan 0,15 (Y).

**Kata kunci :** beban gempa, analisis riwayat waktu, akselerogram, simpangan antar tingkat, kinerja struktur.

## ABSTRACT

*Multi-storey buildings are buildings that are vulnerable in the event of an earthquake and have the potential to cause loss of life. Ground movements due to earthquakes can cause vibrations and deformations that can damage building structures. Analysis and evaluation need to be carried out to minimize undesirable events. This research aims to analyze the structure in meeting safety requirements based on SNI 1726:2019 by reviewing the drift between levels and ATC-40 which is reviewed based on the maximum total drift. Structural analysis was carried out using the time history method with the help of ETABS V.18 software. The building model is analyzed using 1 input earthquake accelerogram. The acceleration of the accelerogram used as input earthquake needs to be scaled first to the planned earthquake level according to the research object. From the results of this research, it was found that according to ATC-40, if the building was affected by the Chichi earthquake (1999), the level of structural performance was structural stability with a max.drift value of 0.19 (X) and 0.16 (Y), if the building was affected by the Iwate earthquake Japan (2008) then the level of structural performance is structural stability with a max.drift value of 0.22 (X) and 0.17 (Y), and if the building is subjected to the Northwest California earthquake (1938) then the level of structural performance is structural stability with a value of max. .drift 0.17 (X) and 0.15 (Y).*

**Key words :** *earthquake load, time history analysis, accelerogram, interstory drift, structural performance.*

## DAFTAR ISI

	Halaman
COVER .....	i
HALAMAN JUDUL.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN .....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	v
RIWAYAT HIDUP.....	vi
KATA PENGANTAR .....	vii
ABSTRAK .....	viii
<i>ABSTRACT</i> .....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB I. PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian .....	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1 Penelitian Terdahulu .....	5
2.2 Analisis Struktur dengan Aspek Kegempaan .....	6
2.3 Aspek Gedung dan Tanah Terhadap Kegempaan.....	12
2.4 Peraturan Evaluasi Kinerja Struktur.....	24
2.5 Struktur Beton Bertulang .....	25
2.6 Jenis Beban Pada Struktur.....	30
2.7 Kombinasi Pembebanan.....	33
2.8 Stabilitas Bangunan Pada Struktur Bangunan Tahan Gempa.....	34
2.9 ETABS .....	38
2.10 Akselerogram .....	38
2.11 Analisis Riwayat Waktu.....	39
2.12 ATC -40 .....	40
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN .....	43
3.1 Lokasi Penelitian.....	43
3.2 Data Teknis Proyek.....	43
3.3 Konfigurasi Gedung.....	44
3.4 Spesifikasi Material.....	44
3.5 Data Elemen Struktur.....	45
3.6 Langkah Penelitian.....	46
3.7 Catatan Rekaman Gempa.....	49
3.8 Diagram Alir Penelitian .....	51
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN .....	52
4.1 Perhitungan Pembebanan .....	52

4.2	Data Gempa.....	54
4.2	Hasil Analisis Riwayat Waktu .....	55
4.2	Hasil Kontrol Struktur.....	58
4.2	Kinerja Batas Layan Struktur Gedung .....	63
4.2	Kinerja Batas Ultimate Struktur Gedung .....	65
4.2	Level Kinerja Struktur Berdasarkan ATC-40 .....	67
BAB V. SIMPULAN DAN SARAN .....		70
5.1	Kesimpula .....	70
5.2	Saran .....	70
DAFTAR PUSTAKA .....		xv
LAMPIRAN .....		xvi

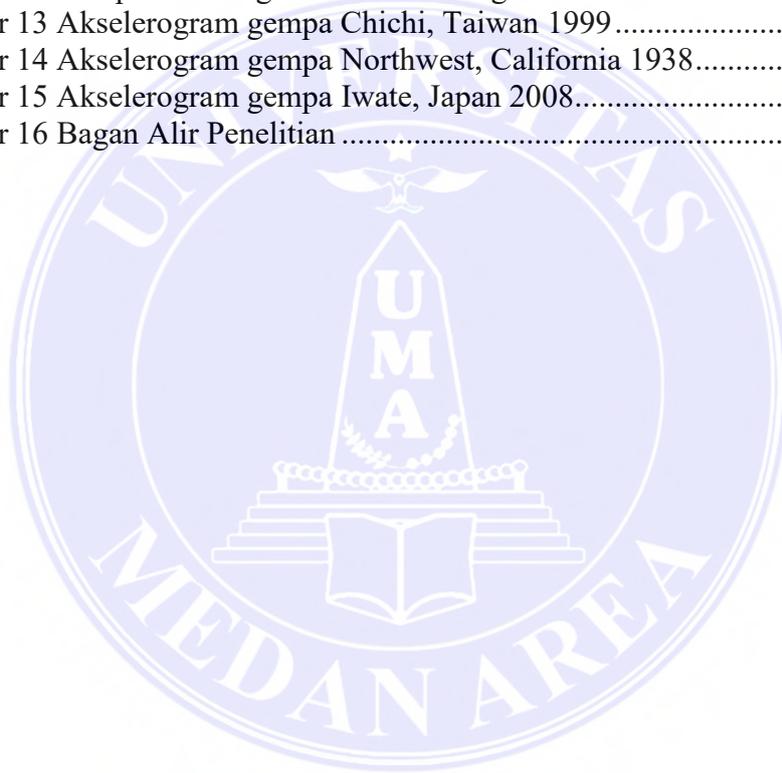


## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1 Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung .....	12
Tabel 2 Faktor Keutamaan .....	14
Tabel 3 Klasifikasi Situs .....	14
Tabel 4 Koefisien Situs FPGA .....	16
Tabel 5 Koefisien Situs, Fa.....	18
Tabel 6 Koefisien Situs, Fa.....	18
Tabel 7 KDS Parameter Respons Percepatan Periode Pendek.....	22
Tabel 8 KDS Parameter Respons Percepatan Periode 1 Detik .....	22
Tabel 9 Faktor $R$ , $\Omega$ , dan $Cd$ Sistem Penahan Gaya Gempa .....	23
Tabel 10 Nilai Parameter Periode Pendekatan $C_t$ dan $X$ .....	24
Tabel 11 Koefisien Untuk Batas Atas Pada Periode Yang Dihitung.....	24
Tabel 12 Simpangan Antar Tingkat Izin $\Delta_a$ .....	35
Tabel 13 Tabel penentuan kinerja ATC-40 .....	41
Tabel 14 Konfigurasi gedung .....	44
Tabel 15 Mutu Beton .....	45
Tabel 16 Mutu Baja .....	45
Tabel 17 Tipe Balok .....	45
Tabel 18 Tipe Kolom.....	46
Tabel 19 Berat kolom lantai basement 1 dan 2 .....	52
Tabel 20 Berat balok lantai basement 1 dan 2 .....	53
Tabel 21 Berat Lantai .....	54
Tabel 22 Displacement Gempa Northwest, California .....	55
Tabel 23 Displacement Gempa Chichi, Taiwan .....	55
Tabel 24 Displacement beban gempa Iwate, Japan.....	56
Tabel 25 Base Shear gempa Chichi, Taiwan .....	56
Tabel 26 Base Shear gempa Northwest, California.....	56
Tabel 27 Base Shear gempa Iwate, Japan .....	57
Tabel 28 <i>Drift</i> gempa Northwest, California.....	57
Tabel 29 <i>Drift</i> gempa Chichi, Taiwan .....	57
Tabel 30 <i>Drift</i> gempa Iwate, Japan.....	58
Tabel 31 Periode Massa .....	58
Tabel 32 Kontrol displacement arah X .....	61
Tabel 33 Kontrol displacement arah Y .....	61
Tabel 34 Kontrol Base Shear .....	63
Tabel 35 Kontrol kinerja batas layan arah X dan Y Gempa Northwest California... 64	64
Tabel 36 Kontrol kinerja batas layan arah X dan Y Gempa Chichi Taiwan.... 65	65
Tabel 37 Kontrol kinerja batas layan arah X dan Y Gempa Iwate Japan .....	65
Tabel 38 Kontrol kinerja Ultimate arah X dan Y Gempa Northwest California .....	66
Tabel 39 Kontrol kinerja Ultimate arah X dan Y Gempa Chichi Taiwan.....	67
Tabel 40 Kontrol kinerja Ultimate arah X dan Y Gempa Iwate Japan .....	67

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1 Peta PGA (kemungkinan terlampaui 2% dalam 50 tahun) .....	16
Gambar 2 Peta SS (probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun).....	17
Gambar 3 Peta S1 (probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun).....	17
Gambar 4 Spektrum respons desain .....	21
Gambar 5 Peta transisi periode panjang, TL wilayah Indonesia.....	21
Gambar 6 Jenis Kolom.....	28
Gambar 7 Pelat Satu Arah dan Pelat Dua Arah .....	29
Gambar 8 Skema deformasi portal akibat gaya gempa.....	38
Gambar 9 Akselerometer .....	39
Gambar 10 <i>Deformation lateral</i> .....	40
Gambar 11 Lokasi Penelitian .....	43
Gambar 12 Tampak Gedung Rumah Sakit Regina Maris Medan.....	49
Gambar 13 Akselerogram gempa Chichi, Taiwan 1999.....	49
Gambar 14 Akselerogram gempa Northwest, California 1938.....	50
Gambar 15 Akselerogram gempa Iwate, Japan 2008.....	50
Gambar 16 Bagan Alir Penelitian .....	51



## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Sumatera merupakan suatu pulau yang memiliki tingkat kegempaan tinggi karena aktivitas zona penujaman (subduction) lempeng Indo-Australia menyusup ke bawah lempeng Eurasia sehingga aktivitas zona penujaman membentuk jalur-jalur gempa bumi. Jalur-jalur gempa bumi menimbulkan terjadi patahan besar kerak bumi yang membelah sepanjang pulau Sumatera yang kemudian dikenal sebagai patahan besar Sumatera (Great Fault Sumatera). Kedalaman sumber gempa di Sumatera bisa mencapai 300 km di bawah permukaan bumi dan di Jawa bisa mencapai 700 km, sesuai dengan kedalaman lempeng Indo-Australia menyusup dibawah lempeng Eurasia. Di daratan Sumatera mempunyai sumber-sumber gempa dangkal yang disebabkan aktivitas patahan Sumatera.

Gempa bumi menimbulkan dampak negatif terhadap manusia dan lingkungan di daerah tersebut, seperti adanya korban jiwa, kerusakan pada bangunan, dan menghancurkan fasilitas umum. Komponen struktural bangunan harus dirancang untuk menahan beban gempa terlebih dahulu dari dampak gempa. Nilai kekakuan struktur menunjukkan bahwa bangunan bertingkat tinggi harus memiliki kekuatan, daya tahan, dan kenyamanan. Kecenderungan struktur untuk menyimpang secara horizontal atau lateral dipengaruhi oleh nilai kekakuan. Bangunan bertingkat tinggi dirancang untuk mengantisipasi perpindahan lateral akibat beban gempa guna mencapai struktur yang nyaman dan aman.

Dengan adanya kejadian gempa di Indonesia, maka banyak dikembangkan analisis-analisis gempa terhadap struktur. Analisis gempa dibagi menjadi dua yaitu analisis gempa statik dan analisis gempa dinamik. Analisis gempa dinamik digunakan untuk mengetahui kinerja struktur pada bangunan tinggi bertingkat banyak, tidak beraturan, dan bangunan-bangunan yang memerlukan ketelitian yang sangat besar. Analisis gempa dinamik meliputi analisis riwayat waktu (history).

Atas dasar itu, saya mengambil judul tugas akhir tentang “Analisis Kinerja Struktur Pada Gedung Rumah Sakit Regina Maris Medan Dengan Analisis Dinamik Riwayat Waktu Menggunakan Software Etabs”.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Adapun permasalahan yang ditinjau dalam penelitian tugas akhir ini adalah: Bagaimana level kinerja struktur gedung Rumah Sakit Regina Maris Medan berdasarkan ATC-40 dengan menggunakan analisis Riwayat Waktu?

## **1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian**

Adapun maksud dari penulisan skripsi ini yaitu untuk menganalisis level kinerja struktur gedung Rumah Sakit Regina Maris Medan berdasarkan ATC-40 dengan menggunakan analisis Riwayat Waktu. Sedangkan tujuan dilakukannya penelitian ini adalah Untuk mengetahui level kinerja struktur pada Rumah Sakit Regina Maris Medan setelah dimasukkan beban gempa rencana.

#### 1.4 Batasan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah di atas, diperlukan pembatasan masalah agar menghindari adanya perluasan pembahasan maupun masalah pada penelitian ini. Adapun dalam penelitian ini pembahasan akan dibatasi pada :

1. Gedung yang ditinjau merupakan material beton bertulang yang terdiri dari dua belas lantai.
2. Analisis perhitungan pembebanan mengacu pada SNI 1727:2020 tentang Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Rumah dan Gedung
3. Analisis gempa mengacu pada SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Gedung dan Non-Gedung.
4. Analisis menggunakan metode riwayat waktu ( *time history* )
5. Analisis bangunan menggunakan *software* ETABS V.18
6. Rekaman gempa (Akselelogram) yang digunakan adalah Northwest (California, 1938), Chichi (Taiwan, 1999) dan Iwate (Japan, 2008)
7. Penentuan level kinerja struktur didasarkan pada ATC-40.

#### 1.5 Manfaat Penelitian

1. Diharapkan dapat menambah pengetahuan dan pemahaman analisis struktur dengan metode riwayat waktu menggunakan *software* ETABS V.18
2. Diharapkan dapat memberikan informasi dan gambaran mengenai perilaku struktur akibat pengaruh dari beban gempa

3. Diharapkan penelitian ini dapat digunakan sebagai referensi di bidang perencanaan struktur bangunan tahan gempa dengan menggunakan analisis dinamik.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Terdahulu

1. Fadila Amelia Karima (2021)

Dengan judul Analisis Struktur Gedung Bertingkat Rendah Akibat Pengaruh Beban Gempa Dengan Metode Riwayat Waktu Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis struktur gedung dengan analisis dinamik riwayat waktu yang ditinjau berdasarkan displacement, base shear dan drift. Dalam skripsi ini, akan dibahas proses analisis struktur gedung bertingkat berbentuk Letter L berlantai 7 menggunakan metode respon spektrum, lalu menganalisa perilakunya terhadap beban hidup, mati dan respon spektrum. Acuan desain menggunakan standar SNI 03-1726-2012 dan ATC-40.

*Website* : Analisis Struktur Gedung Bertingkat Rendah Akibat Pengaruh Beban Gempa Dengan Metode Riwayat Waktu | Karima | Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain (unila.ac.id)

2. Wandrianto S. Anggen<sup>1)</sup>, Agus Setiya Budi<sup>2)</sup>, Purnawan Gunawan<sup>3)</sup> (2014)

Dengan judul Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Bertingkat Dengan Analisis Dinamik Time History Menggunakan Etabs (Studi Kasus: Hotel Di Daerah Karanganyar). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui keamanan gedung ditinjau dari displacement, drift dan base shear. Hasil dari penelitian ini dianalisis dengan kinerja struktur batas ultimit dan kinerja struktur batas

layan. Metode yang digunakan adalah analisis dinamik Time History dengan menggunakan program ETABS.

*Website* : Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Bertingkat Dengan Analisis Dinamik Time History Menggunakan Etabs (Studi Kasus: Hotel Di Daerah Karanganyar) - Pdf Free Download (Adoc.Pub)

3. Dian Ayu Angling Sari<sup>1</sup>), Edy Purwanto<sup>2</sup>), Wibowo<sup>3</sup>) (2013)

Dengan judul Evaluasi Kinerja Struktur Pada Gedung Bertingkat Dengan Analisis Riwayat Waktu Menggunakan Software Etabs V 9.5 ( Studi Kasus : Gedung Solo Center Point ). Oleh karena itu tugas akhir ini membahas tentang perencanaan struktur penahan beban gempa dengan sistem rangka pemikul momen biasa dengan tujuan untuk mendapatkan sistem struktur yang terbaik dari sisi kekuatan, kekakuan, ketahanan dan keekonomisan struktur pada bangunan bertingkat tinggi. Perancangan struktur gedung digunakan program bantu ETABS 2013 dengan penyesuaian parameter kekuatan material yang digunakan. Mutu beton ( $f'c = 30\text{MPa}$ ) & mutu baja tulangan ( $f_y = 400\text{MPa}$ ).

*Website* : <https://jurnal.uns.ac.id/matriks/article/download/37540/24768>

## 2.2 Analisis Struktur Dengan Aspek Kegempaan

### 2.2.1 Analisis Statis

Analisis statis adalah teknik pemeriksaan utama dengan getaran gempa yang ditunjukkan sebagai beban datar statis yang mengikuti komunitas massa struktur. Aturan pengujian ini bergantung pada bahwa jika kerangka dasar mengalami getaran, semua mode getaran dapat terjadi secara bersamaan

menghasilkan impedansi antara dampak semua mode getaran. Dalam keadaan tertentu, variasi getaran utama memberikan efek dominan pada konstruksi, sehingga dampak mode yang berbeda dapat diabaikan. Pada kondisi ini, dampak getaran pada konstruksi dapat diatasi dengan rangkaian beban datar statis yang disebut beban statis identik yang menimbulkan reaksi (mutilasi dan tenaga dalam) yang setara dengan reaksi yang ditimbulkan oleh jenis getaran utama.

### 2.2.2 Analisis Dinamik

Analisis dinamik untuk perancangan struktur tahan gempa dilakukan jika diperlukan evaluasi yang lebih akurat terhadap gaya-gaya gempa yang bekerja pada struktur, serta untuk mengetahui perilaku dari struktur akibat pengaruh gempa. Analisis dinamik dilakukan pada perancangan struktur bangunan tingkat tinggi atau struktur dengan bentuk atau konfigurasi yang tidak teratur.

Analisis dinamik dapat dilakukan dengan cara elastis maupun inelastis. Pada cara elastis dibedakan menjadi Analisis Ragam Riwayat Waktu (Time History Modal Analysis), dimana pada cara ini diperlukan rekaman percepatan gempa dan Analisis Ragam Spektrum Respon (Respon Spectrum Modal Analysis), dimana pada cara ini respon maksimum dari tiap ragam getar yang terjadi didapat dari Spektrum Respon Rencana (Design Spectra). Analisis dinamik elastis digunakan untuk mendapatkan respon struktur akibat pengaruh gempa yang sangat kuat dengan cara integrasi langsung (Direct Integration Method).

Analisis dinamik elastis ini lebih sering digunakan karena lebih sederhana. Analisis dinamik bertujuan untuk menentukan pembagian gaya geser tingkat akibat gerakan tanah oleh gempa dan dapat dilakukan dengan cara analisis ragam spektrum respon. Pembagian gaya geser tingkat tersebut adalah untuk menggantikan

pembagian beban geser dasar akibat gempa sepanjang tinggi gedung pada analisis beban statik ekuivalen.

Secara umum analisis struktur terhadap beban gempa terdiri dari 2 macam, yaitu:

1. Analisis beban statik ekuivalen adalah suatu cara analisis struktur dimana pengaruh gempa pada struktur dianggap sebagai beban statik horisontal yang diperoleh dengan hanya memperhitungkan respon ragam getar yang pertama, dan biasanya distribusi gaya ini di sederhanakan sebagai segitiga terbalik.
2. Analisis dinamis dalam desain struktur tahan gempa dilakukan apabila diperlukan evaluasi dengan akurasi yang lebih dari beberapa gaya gempa yang bekerja dalam struktur, dan mengetahui perilaku dari struktur akibat pengaruh gaya gempa. Dalam struktur bangunan tingkat tinggi dan bentuk struktur dengan bentuk atau tidak menentu konfigurasi yang dimiliki. Sedangkan Analisis dinamis dapat kita bentuk dengan memperkirakan sesuai elastisitasnya. Ada beberapa cara untuk menentukan elastisitas yaitu Analisis Ragam Riwayat Waktu (Time History Modal Analysis), dimana diperlukan rekaman percepatan gempa dan Analisis Ragam Spektrum Respons atau yang biasa disebut Response Spectrum Modal Analysis, dalam cara ini respons tertinggi dari setiap ragam getar didapat dari Spektrum Respons Rencana (Design Spectra).

Beban pada struktur akibat peningkatan kecepatan gempa bersifat dinamik, dimana beban dinamik adalah timbunan yang luas, arah atau posisinya berubah sesuai dengan waktu. Selain itu, reaksi desain terhadap beban dinamik, misalnya

penghindaran dan tekanan berikutnya, serta perubahan waktu, bersifat dinamik, (Clough dan Penzien 1998), dalam Anggen (2014)). Analisis dinamik adalah analisis struktur dimana pembagian gaya geser gempa di seluruh tingkat diperoleh dengan memperhitungkan pengaruh dinamis gerakan tanah terhadap struktur.

Analisis dinamik dibagi menjadi 2, yaitu:

- a. Analisis ragam respons spektrum dimana total respons didapat melalui superposisi dari respons masing-masing ragam getar.
- b. Analisis riwayat waktu adalah analisis dinamis dimana pada model struktur diterapkan percepatan gempa dari input berupa akselerogram dan respons struktur dihitung langkah demi langkah pada interval tertentu.

Analisis dinamik digunakan untuk menentukan penyaluran gaya geser lantai akibat pergerakan tanah oleh gempa dan dapat dilakukan dengan memeriksa ruang lingkup spektrum reaksi.

### 2.2.3 Sistem Pemikul Rangka Momen (SRPM)

Portal merupakan suatu struktur rangka utama dari sebuah gedung yang terdiri dari komponen balok serta kolom yang saling bertemu pada titik simpul (Joint) yang memiliki fungsi sebagai penahan beban dari sebuah gedung. Portal sendiri merupakan suatu sistem rangka pemikul momen atau yang biasa disebut dengan SRPM sebagai penahan beban yang bekerja pada sebuah gedung yang berupa beban horizontal maupun vertikal. Berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 3.53 Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) merupakan sistem struktur yang pada dasarnya memiliki rangka ruang yang memiliki fungsi sebagai pemikul beban gravitasi secara lengkap serta beban lateralnya dipikul oleh rangka tersebut melalui mekanisme lentur.

Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) diklasifikasikan menjadi 3 macam yaitu :

1. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB)

Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa atau yang biasa disebut SRPMB merupakan sistem yang memiliki deformasi inelastik serta memiliki tingkat daktilitas yang paling kecil akan tetapi memiliki kekuatan yang besar. Dalam mendesain SRPMB dapat mengabaikan persyaratan “Strong Column Weak Beam” yang digunakan dalam mendesain suatu struktur yang mengandalkan daktilitas yang tinggi. Sistem ini masih jarang digunakan untuk wilayah gempa yang besar namun efektif untuk zona wilayah gempa yang kecil. Metode SRPMB ini digunakan untuk perhitungan struktur gedung yang termasuk pada zona 1 dan 2 yaitu zona wilayah dengan tingkat kegempaan rendah.

Pada Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa balok harus mempunyai paling sedikit dua batang tulangan longitudinal yang menerus sepanjang kedua muka atas maupun bawah. Tulangan ini harus disalurkan pada muka tumpuan. Dalam SRPMB Faktor Reduksi Gempa ( $R$ ) ialah 3,5.

2. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)

Berdasarkan SNI 2847-2019 Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah atau yang biasa disebut SRPMM merupakan sistem rangka ruang dimana komponen struktur dan jointnya mampu menahan gaya yang bekerja melalui aksi lentur, geser, dan aksial. SRPMM memiliki ketentuan dalam perhitungan beban geser serta pemasangan tulangan gesernya.

Kemampuan penampang dalam mengantisipasi perbalikan momen juga disyaratkan dalam peraturan tersebut.

SRPMM difokuskan hanya untuk menahan kegagalan geser pada struktur gedung. Sistem ini hanya diperbolehkan untuk bangunan yang berada pada desain seismik A,B,C,D,E dan F, namun untuk bangunan yang berada pada desain seismik D, E dan F memiliki syarat syarat tertentu.

Faktor reduksi gempa pada SRPMM sebesar 5.

### 3. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus disebut juga SRPMK merupakan suatu komponen struktur yang mampu memikul gaya akibat beban gempa dan direncanakan untuk memikul lentur. SRPMK memiliki perilaku struktur daktilitas tinggi. Pada SRPMK perilaku daktilitas tinggi mempunyai keuntungan tersendiri yaitu berupa tingkat resistensi gempa yang sangat tinggi. SRPMK memiliki aturan yang cukup detail untuk dipenuhi dalam segi tulangan. Hal tersebut dikarenakan agar tingkat daktilitas yang tinggi dapat tercapai. Faktor reduksi yang dimiliki sebesar 9 untuk jenis sistem rangka pemikul momen khusus beton bertulang. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) yaitu sistem rangka ruang dimana komponen-komponen struktur dan joint- jointya menahan gaya yang bekerja melalui aksi lentur, geser dan aksial, sistem ini pada dasarnya memiliki daktilitas sedang dan dapat digunakan pada zona gempa 1 sampai dengan zona gempa 4. Menurut SNI 2847:2019 pasal 18.6.4, komponen dari suatu struktur lentur difungsikan untuk membentuk bagian

sistem penahan gaya gempa dan diproposikan terutama untuk menahan lentur.

## 2.3 Aspek Gedung Dan Tanah Terhadap Kegempaan

### 2.3.1 Gempa Rencana

Menurut SNI-1726-2019 Pasal 4.1.1, memutuskan dampak getaran seismik yang diatur dan harus ditinjau dalam persiapan dan penilaian bangunan gedung dan struktur non gedung serta berbagai bagian dan perangkat kerasnya secara keseluruhan. Gempa rencana dicirikan sebagai gempa dengan kemungkinan melampaui batas selama keberadaan konstruksi struktur 50 tahun yaitu 2%.

### 2.3.2 Kategori Risiko

Dalam Pasal 4.1.2 SNI-1726-2019 kategori risiko struktur bangunan di klasifikasikan menjadi 4 kategori. Klafisikasi tersebut berdasarkan jenis pemanfaatan suatu struktur dan tingkat kepentingan. Pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan gempa Ie. Pengklasifikasian kategori risiko struktur bangunan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung (SNI-1726-2019)

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:	I
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan</li> <li>- Fasilitas sementara</li> <li>- Gudang Penyimpanan</li> <li>- Rumah jaga dan struktur kecil lainnya</li> </ul>	

## Lanjutan tabel 1

<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Perumahan</li> <li>- Rumah toko dan rumah kantor</li> <li>- Pasar</li> <li>- Gedung Perkantoran</li> <li>- Gedung apartemen/ rumah susun</li> <li>- Pusat perbelanjaan</li> <li>- Pabrik</li> </ul>	II
<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>	III
<p>Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	
<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 disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat.</li> </ul>	IV
<p>Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	

### 2.3.3 Faktor keutamaan

Faktor keutamaan digunakan untuk memperbesar gempa rencana agar struktur dapat memikul beban gempa dengan periode ulang yang panjang atau struktur mempunyai tingkat kerusakan yang lebih kecil. Untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan non gedung bergantung pada kemungkinan terjadinya keruntuhan struktur gedung pada umur yang diharapkan. pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan gempa ( $I_e$ ).

Tabel 2. Faktor Keutamaan (SNI-1726-2019)

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan gempa, $I_e$
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,5

### 2.3.4 Klasifikasi Situs

Klasifikasi suatu situs untuk memberikan kriteria desain seismik berupa faktor-faktor amplifikasi pada bangunan. Dalam penentuan amplifikasi besaran percepatan gempa puncak dari batuan dasar ke permukaan tanah untuk suatu situs, maka situs tersebut harus diklasifikasikan terlebih dahulu sesuai yang disyaratkan dalam Tabel 5 Pasal 5.3 SNI-1726-2019 tentang klasifikasi situs yang dapat dilihat pada Tabel di bawah ini.

Tabel 3. Klasifikasi Situs (SNI-1726-2019)

Kelas Situs	$\bar{v}_s$ (m/detik)	$N$ atau $N_{ch}$	$s$ (kPa)
SA (Batuan Keras)	>1500	N/A	N/A
SB (Batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	$\geq 100$

Lanjutan tabel 3

SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	< 175	< 15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$ , 2. Kadar air, $w \geq 40\%$ , 3. Kuat geser niralir $su < 25$ kPa		
SF(tanah khusus,yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 0)	setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah</li> <li>- Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan <math>H &gt; 3</math> m)</li> <li>- Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan <math>H &gt; 7,5</math> m dengan indeks plastisitas <math>PI &gt; 75</math> ) Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan <math>H &gt; 35</math> m dengan <math>su &lt; 50</math> kPa</li> </ul>		

Dengan:

$\bar{N}$  = tahanan penetrasi standar rata-rata dalam lapisan 30 m paling atas

$\bar{N}_{ch}$  = tahanan penetrasi standar rata-rata tanah *non* kohesif dalam lapisan 30 m.

$S_u$  = Kuat geser niralir

$\bar{S}_u$  = kuat geser niralir rata-rata dalam lapisan 30 m paling atas

$\bar{V}_S$  = kuat geser rambat gelombang geser rata-rata padangan regangan geser yang kecil, di dalamnya lapisan 30 m paling atas.

### 2.3.5 Zonasi Gempa Indonesia

Dalam SNI-1726-2019 terlampir Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia 2017 yang berisi peta percepatan puncak (PGA) dan respon spektrum percepatan di batuan dasar (SB) untuk perioda pendek 0,2 detik ( $S_s$ ) dan untuk perioda 1,0 detik ( $S_1$ ) yang memiliki kemungkinan terlampaui 2% dalam 50 tahun.

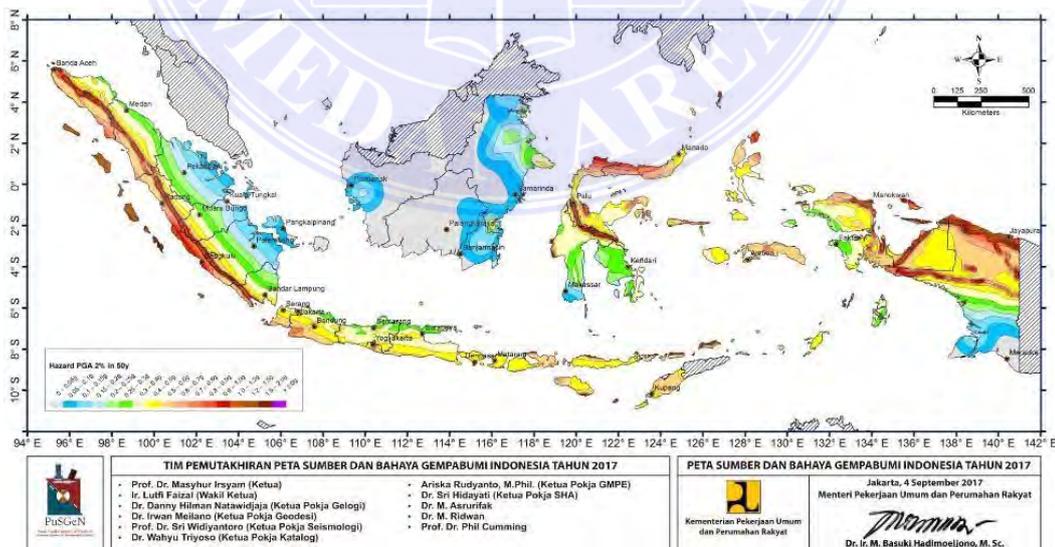
Dengan demikian dapat diperoleh nilai PGA, SS, dan S1 di batuan dasar yang dibutuhkan untuk perencanaan dan analisis pada suatu lokasi tinjauan.

### 2.3.6 Percepatan Puncak di Permukaan Tanah

Besarnya puncak di permukaan tanah dapat diperoleh dengan mengalikan faktor amplifikasi untuk PGA (FPGA) dengan nilai PGA. Nilai PGA dapat diperoleh pada Gambar 1. Besarnya PGA disesuaikan dengan klasifikasi situs atau jenis tanah pada Tabel 4 dan nilai koefisien FPGA ditentukan berdasarkan Tabel 4.

Tabel 4. Koefisien Situs FPGA (SNI-1726-2019)

Kelas Situs	PGA ≤ 0,1	PGA = 0,2	PGA = 0,3	PGA = 0,4	PGA = 0,5	PGA ≥ 0,6
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	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,3	1,2	1,1	1,1
SE	2,4	1,9	1,6	1,4	1,2	1,1
SF			SS <sup>(a)</sup>			



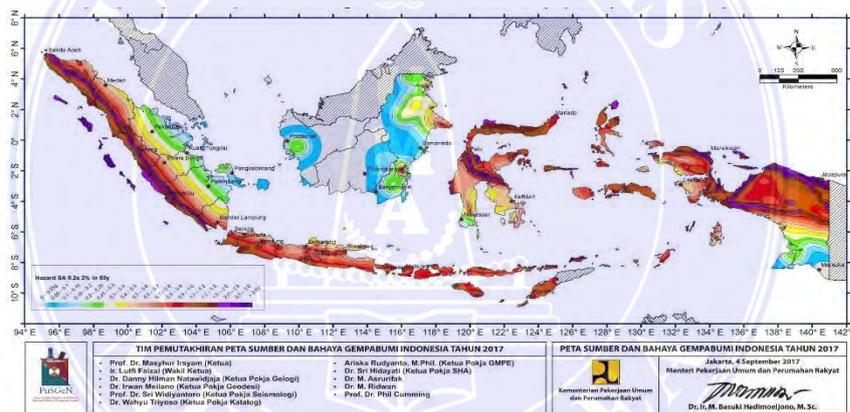
Gambar 1: Peta PGA (kemungkinan terlampaui 2% dalam 50 tahun) (Peta Sumber dan Bahaya Gempa 2017)

### 2.3.7 Desain Respon Spektrum

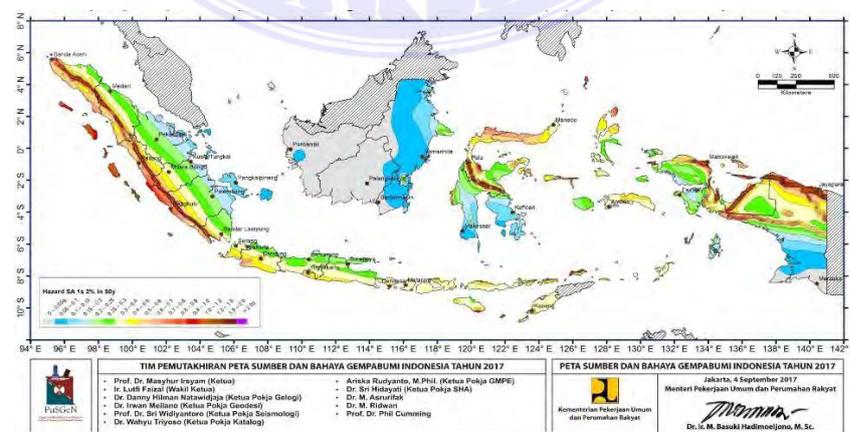
#### A. Nilai $S_S$ dan $S_1$

Nilai  $S_S$  dan  $S_1$  didapatkan dari Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia 2017 yang terlampir pada SNI-1726-2019 dengan menyesuaikan level gempa rencana.  $S_S$  adalah parameter respons spektrum percepatan gempa  $MCE_R$  terpetakan untuk periode pendek.  $S_1$  adalah parameter respons spektrum percepatan gempa  $MCE_R$  terpetakan untuk periode 1,0 detik.

Nilai  $S_S$  dapat ditentukan dari peta yang terdapat pada gambar 2. Sedangkan Nilai  $S_1$  dapat ditentukan dari peta yang terdapat pada gambar 3.



Gambar 2 : Peta  $S_S$  (probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun) (Peta Sumber dan Bahaya Gempa 2017)



Gambar 3: Peta  $S_1$  (probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun) (Peta Sumber dan Bahaya Gempa 2017)

## B. Koefisien Situs

Koefisien situs  $F_a$  dan  $F_v$  dapat ditentukan dari Tabel 5 dan Tabel 6

Tabel 5. Koefisien Situs,  $F_a$  (SNI-1726-2019)

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget ( $MCE_R$ ) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, $S_s$					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
<b>SA</b>	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
<b>SB</b>	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
<b>SC</b>	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
<b>SD</b>	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
<b>SE</b>	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
<b>SF</b>	SS(a)					

Catatan:

SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik

Tabel 6. Koefisien Situs,  $F_a$  (SNI-1726-2019)

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget ( $MCE_R$ ) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, $S_s$					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
<b>SA</b>	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
<b>SB</b>	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
<b>SC</b>	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
<b>SD</b>	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
<b>SE</b>	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
<b>SF</b>	SS(a)					

Catatan:

SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik.

### 2.3.8 Parameter Spektrum Respons Percepatan

Dalam SNI-1726-2019 Untuk penentuan respons spektral percepatan gempa MCER di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada perioda 0,2 detik dan perioda 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran perioda pendek ( $F_a$ ) dan faktor amplifikasi terkait percepatan mewakili getaran perioda 1 detik ( $F_v$ ). Parameter spektrum respons percepatan perioda pendek ( $S_{MS}$ ) dan parameter spektrum respons percepatan pada perioda 1 detik ( $S_{M1}$ )

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s$$

$$S_{M1} = F_v \cdot S_1$$

### 2.3.9 Parameter Percepatan Respons Spektrum

Parameter percepatan spektral desain untuk perioda pendek ( $S_{DS}$ ) dan parameter percepatan spektrum desain untuk perioda 1 detik ( $S_{D1}$ ).

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \cdot S_{MS}$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \cdot S_{M1}$$

$S_{DS}$  = parameter percepatan respons spektrum pada perioda pendek (0,2 detik)

$S_{D1}$  = parameter percepatan respons spektrum pada perioda 1,0 detik

$S_s$  = parameter percepatan respons spektrum MCE (Maximum Credible Earthquake) dari Peta Gempa Indonesia 2010 pada perioda pendek (0,2 detik)

$S_1$  = parameter percepatan respons spektrum MCE (Maximum Credible Earthquake) dari Peta Gempa Indonesia 2010 pada perioda 1,0 detik

$F_a$  = koefisien situs untuk perioda pendek (0,2 detik)

$F_v$  = koefisien situs untuk perioda 1,0 detik

### 2.3.10 Spektrum Respons Desain

- a) Untuk periode yang lebih kecil dari  $T_0$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$  harus dihitung dengan persamaan dibawah ini:

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

- b) 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 SDS.

- c) Untuk periode lebih besar dari  $T_s$ , tetapi lebih kecil atau sama dengan  $T_L$  spektrum respons percepatan desain  $S_a$  diambil dengan persamaan sebagai berikut:

$$S_a = \frac{SD1}{T}$$

- d) Untuk periode lebih  $T_L$ , respons spektrum percepatan desain  $S_a$  dihitung sebagai berikut:

$$S_a = \frac{SD1.T_L}{T^2}$$

Dengan:

$S_a$  = spektrum respons percepatan desain

SDS = parameter percepatan respons spektrum pada perioda pendek (0,2 detik)

$T$  = Periode fundamental bangunan

$T_L$  = Periode transisi periode panjang

$S_s$  = Parameter percepatan respons spektrum MCE (*Maximum Credible Earthquake*) dari Peta Gempa Indonesia 2010 pada perioda pendek (0,2 detik)

- e) Percepatan respon spektrum konstan mulai pada  $T_0$  detik yang dihitung dan berakhir pada  $T_s$  detik yang dihitung dengan

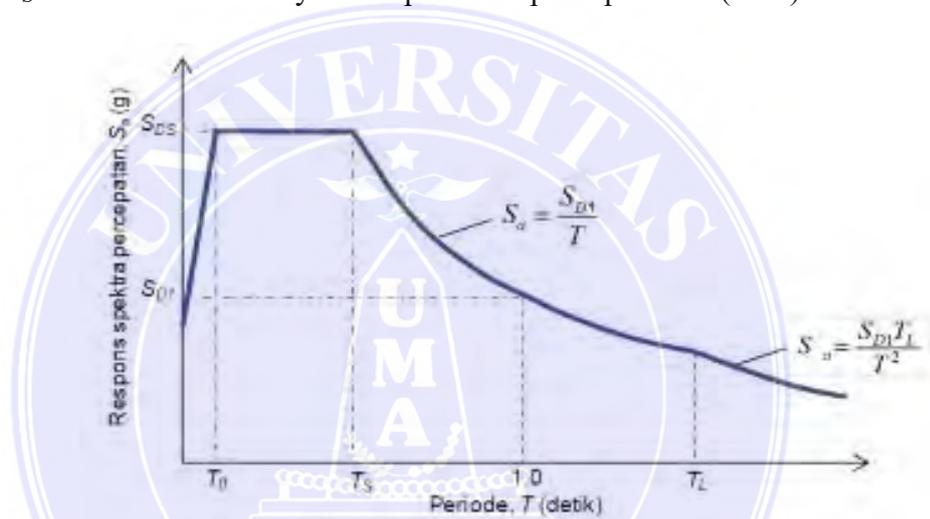
$$T_0 = 0,2 \cdot \frac{SD1}{SDS}$$

$$T_s = \frac{SD1}{SDS}$$

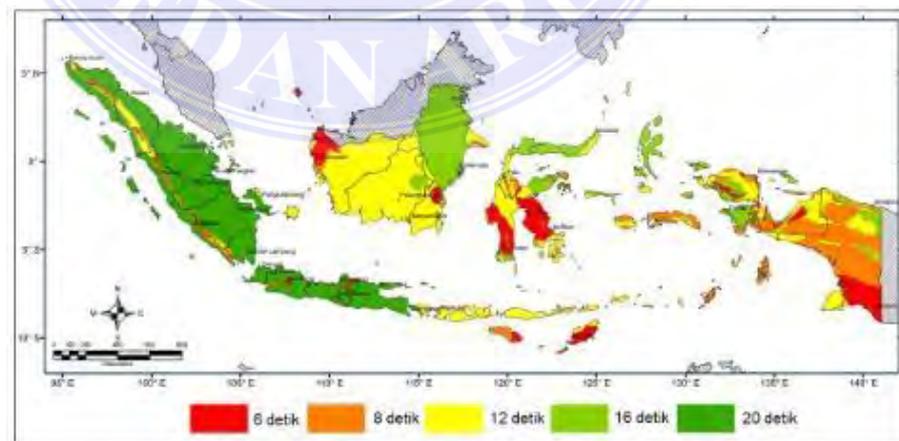
Dengan:

$T_0$  = waktu dimulainya Percepatan Respon Spektrum (SDS) kontan

$T_s$  = waktu berakhirnya Percepatan Respon Spektrum (SDS) kontan



Gambar 4: Spektrum respons desain (SNI 1726:2019)



Gambar 5: Peta transisi periode panjang, TL wilayah Indonesia (Peta Sumber dan Bahaya Gempa 2017)

- f) Parameter respon spektrum yang telah dihitung, diantaranya:  $S_a$ ,  $SDS$ ,  $SD1$ ,  $T_0$ ,  $TS$ , digunakan untuk membuat grafik respon spektrum desain seperti Gambar 2.4. Grafik respon spektrum desain dapat menjadi percepatan gempa masukan dalam analisis dinamik metode respon spektrum, dalam analisis dinamik riwayat waktu (time history) digunakan parameter respon dasar ragam pertama dan nilai rata-rata  $S_a$  pada periode  $0,2T - 2,0T$  (dimana  $T$  adalah waktu getar alami struktur).

### 2.3.11 Kategori desain seismik

Kategori desain seismik diperkenankan untuk ditentukan mengacu pada Tabel 7 dan Tabel 8 dengan menggunakan nilai  $SDS$  dan  $SD1$ .

Tabel 7. KDS Parameter Respons Percepatan Periode Pendek (SNI 1726:2019)

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

Tabel 8. KDS Parameter Respons Percepatan Periode 1 Detik (SNI 1726:2019)

Nilai $SDS$	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$SDS < 0,167$	A	A
$0,167 \leq SDS < 0,33$	B	C
$0,33 \leq SDS < 0,20$	C	D
$0,20 \leq SDS$	D	D

### 2.3.12 Sistem Penahan gaya gempa

Sistem penahan gaya gempa yang berbeda diijinkan untuk digunakan. Sistem penahan gaya gempa terdiri dari koefisien modifikasi respons ( $R$ ), faktor kuat lebih sistem ( $\Omega_0$ ) dan faktor pembesaran defleksi ( $C_d$ ).

Tabel 9. Faktor  $R$ ,  $\Omega_0$ , dan  $C_d$  Sistem Penahan Gaya Gempa (SNI 1726:2019)

Sistem Penahan Gaya Gempa	Koefisien Modifikasi Respons ( $R$ )	Faktor Kuat Lebih Sistem ( $\Omega_0$ )	Faktor Pembesaran Defleksi ( $C_d$ )
Sistem rangka pemikul momen			
Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5½
Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5½
Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	5½	4½
Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2½
Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus			
Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2½	4
Dinding geser beton bertulang khusus	7	2½	5½
Dinding geser beton bertulang biasa	6	2½	5
Dinding geser batu bata bertulang khusus	5½	3	5
dinding geser batu bata bertulang menengah	4	3	3½

### 2.3.13 Penentuan periode fundamental

Periode fundamental struktur ditentukan oleh persamaan sebagai berikut:

$$T_{a \min} = C_t \times h \times x$$

$$T_{a \max} = T_{a \min} \times C_u$$

Dimana :

- Ct : Nilai parameter periode pendekatan,  
 hn : Tinggi total bangunan (m)  
 X : Nilai parameter periode pendekatan  
 Cu : Koefisien batas atas periode yang dihitung

Tabel 10. Nilai Parameter Periode Pendekatan Ct dan X (SNI 1726:2019)

Tipe Struktur	Ct	X
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka memikul 100% gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik:		
- Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
- Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

Tabel 11. Koefisien Untuk Batas Atas Pada Periode Yang Dihitung (SNI 1726:2019)

Parameter Percepatan Respons Spektral Desain Pada 1 Detik, SD1	Cu
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

## 2.4 Peraturan Evaluasi Kinerja Struktur

Penerapan desain dan analisis perilaku serta kinerja struktur berdasarkan konsep *Performance Based Earthquake Engineering* di Indonesia ditandai dengan dibuatnya 6 peraturan terkait gedung dan gempa yaitu :

1. Peraturan Perencanaan Tahan Gempa Indonesia untuk Gedung.

2. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung SNI-1726-2002.
3. Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung SNI-1726-2019.
4. Peta Hazard Gempa Indonesia 2010.
5. Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia 2017.

Evaluasi kinerja struktur pada gedung bertingkat ini menerapkan konsep Performance Based in Earthquake Engineering bertujuan untuk mengetahui tingkat kenyamanan dan keamanan dari gedung. Setelah melakukan analisis dinamik maka diperoleh drift gedung akibat gempa, kemudian hasil tersebut dievaluasi untuk mengetahui tingkat kenyamanan dan keamanan pada gedung. Evaluasi kinerja struktur gedung diatur pada SNI-1726-2019 Tabel 20 dan ATC-40 yang digunakan untuk mengklasifikasikan level kinerja struktur.

## 2.5 Struktur Beton Bertulang

Dalam SNI 1726:2019, beton adalah campuran semen Portland atau semen hidrolis lainnya, agregat kasar, agregat halus, dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan (admixture). Beton normal adalah beton yang mempunyai berat isi 2200-2500 kg/m<sup>3</sup> menggunakan agregat alam yang dipecah atau tanpa dipecah yang tidak menggunakan bahan tambahan. Larutan tambahan untuk memperbaiki sifat beton. Bahan-bahan tersebut dipilih dan dicampur dengan perbandingan tertentu dan digunakan untuk menghasilkan beton yang mempunyai kekuatan yang diinginkan, karakteristik beton adalah mempunyai tegangan hancur tekan yang tinggi serta tegangan hancur tarik yang rendah, proses kimia pengikatan

semen dengan air menghasilkan panas dan dikenal dengan proses hidrasi dimana air tersebut berfungsi sebagai pelumas untuk mengurangi gesekan antar butiran. sehingga beton dapat dipadatkan dengan mudah, akan tetapi kelebihan air dari jumlah yang dibutuhkan akan menyebabkan butiran semen berjarak semakin jauh sehingga kekuatan beton akan berkurang. Tulangan adalah bagian dalam beton bertulang yang memiliki kuat Tarik yang baik sehingga dapat menambah kuat Tarik beton, tulangan terbuat dari baja, baik itu polos ataupun ulir dengan berbagai diameter. Pada Apartemen Kingland Avenue Serpong memiliki struktur beton bertulang sebagai berikut:

1. Kolom

Kolom merupakan bagian dari suatu struktur pada sebuah bangunan gedung yang dapat menahan beban dari suatu bangunan. Beban pada kolom meliputi beban hidup maupun beban mati. Dalam sebuah perencanaan ukuran kolom pada bangunan, langkah pertama yang dilakukan yaitu menghitung beban yang dapat ditahan oleh sebuah kolom yang terdiri dari kombinasi beban yang bekerja pada kolom tersebut. Momen yang terjadi dalam plat lantai maupun atap dapat didistribusikan dengan penempatan kolom di bawah maupun diatas plat lantai yang berdasar pada kekuatan relative sebuah kolom.

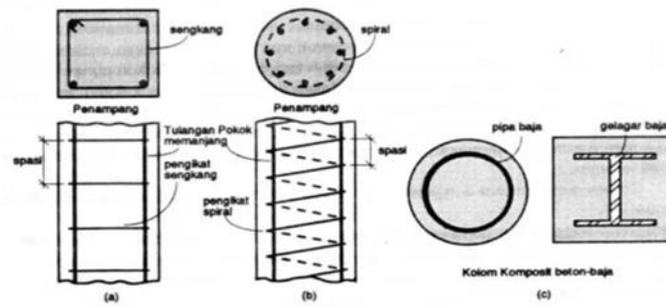
Kolom memiliki fungsi yang sangat penting agar suatu bangunan tidak mudah roboh. Fungsi kolom adalah sebagai penerus beban keseluruhan bangunan termasuk pondasi. Beban yang terdapat dalam sebuah bangunan dimulai dari atap. Beban atap akan meneruskan beban yang diterima pada kolom. Seluruh beban yang diterima oleh struktur kolom

didistribusikan kembali ke permukaan tanah yang ada di bawahnya. Struktur kolom berdasarkan letak beban aksial dibagi atas dua jenis antara lain :

- a. Kolom sentris ialah kolom yang menahan beban yang biasanya merupakan titik berat suatu struktur kolom
- b. Kolom eksentris adalah kolom yang dibebani oleh suatu beban yang tidak tepat pada titik berat struktur kolom.

Pada struktur kolom terdapat tiga jenis kolom beton bertulang antara lain:

- a. Kolom yang menggunakan pengikat sengkang lateral. Kolom jenis ini terdiri dari beberapa komponen yaitu tulangan utama yang dililit oleh pengaku (sengkang) yang diberi spasi (jarak) antar tulangan.
- b. Kolom yang menggunakan spiral sebagai pengikatnya. Kolom yang biasa disebut kolom spiral ini yang berbentuk lingkaran. Kolom ini terdiri dari komponen tulangan utama yang diikat oleh pengikat yang berbentuk spiral (lingkaran).
- c. Struktur kolom komposit. Kolom komposit sendiri merupakan kolom yang tulangannya terdiri atas komponen baja profil yang umumnya menggunakan profil WF yang diikat secara melilit sepanjang kolom.



Gambar 1. Jenis-jenis kolom

Gambar 6. Jenis Kolom (Internet)

## 2. Balok

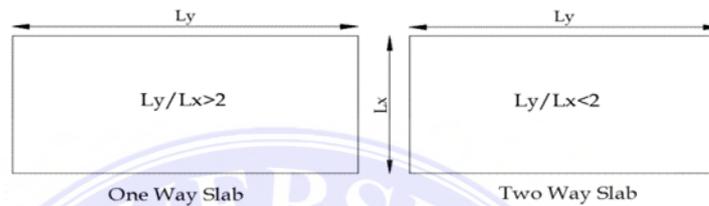
Balok merupakan bagian dari suatu konstruksi bangunan yang kaku serta memiliki fungsi untuk memikul beban yang diterima oleh plat beban balok anak serta bebanyang bekerja di atasnya dan meneruskannya pada elemen kolom. Balok terdiri dari dua yaitu balok induk dan balok anak. Balok induk memiliki fungsi yang membagi plat menjadi segment pengikat kolom antara satu dengan yang lainnya sehingga plat menahan beban dari yang luas meneruskan ke plat yang lebih kecil. Balok anak adalah balok yang bertumpu pada balok induk, balok anak memiliki fungsi untuk menerima beban dari plat yang kemudian diteruskan pada balok induk. Balok juga berfungsi sebagai pengikat kolom lantai atas ke dalam diafragma lantai dan juga balok dapat digunakan untuk memperkuat struktur arah horizontal.

## 3. Plat

Pelat Beton ialah suatu struktur yang direncanakan untuk menyediakan suatu permukaan horizontal yang rata pada lantai sebuah bangunan. Pelat beton juga berfungsi untuk menerima beban hidup lantai. Pelat lantai dapat ditumpu oleh struktur balok, kolom (suspended slab) serta terdapat pula pelat yang terletak langsung di atas tanah (slab on ground). Pelat lantai terbagi menjadi dua bagian yaitu pelat satu arah dan pelat dua arah. Pelat

menjadi salah satu komponen struktur bangunan yang berfungsi untuk menjaga agar beban hidup tetap lurus.

Sistem pelat satu arah ialah rasio sisi panjang ( $l_y$ ) dan sisi pendek ( $l_x$ ) lebih dari 2 sedangkan untuk rasio sisi panjang ( $l_y$ ) dan sisi pendek ( $l_x$ ) yang kurang dari 2, maka menggunakan sistem pelat dua arah.



Gambar 7. Pelat Satu Arah dan Pelat Dua Arah (Internet)

#### 4. Dinding Geser (*Shear Wall*)

Dinding geser adalah struktur vertikal yang digunakan pada bangunan tingkat tinggi. Fungsi utama dari dinding geser adalah menahan beban lateral seperti gaya gempa dan angin. Dinding Geser yang kaku pada suatu bangunan, akan menyerap sebagian besar beban gempa. Berdasarkan letak dan fungsinya, dinding geser diklasifikasikan dalam 3 jenis antara lain :

##### a. *Beaaring Walls*

*Beaaring Walls* merupakan dinding geser yang juga mendukung sebagian besar beban gravitasi. Tembok - tembok ini juga menggunakan dinding partisi antar apartemen yang berdekatan.

##### b. *Frame Walls*

*Frame Walls* adalah dinding geser yang menahan beban lateral, dimana beban gravitasi berasal dari frame beton bertulang. Tembok-tembok ini dibangun diantara baris kolom.

c. *Core Walls*

*Core Walls* adalah dinding geser yang terletak di dalam wilayah inti pusat dalam gedung yang biasanya diisi tangga atau poros lift. Dinding yang terletak di kawasan inti pusat memiliki fungsi ganda dan dianggap menjadi pilihan paling ekonomis

## 2.6 Jenis Beban Pada Struktur

Dalam merencanakan beban untuk rumah dan gedung diharuskan memperhatikan penggunaan beban-beban yang diijinkan dalam perencanaan tersebut. Termasuk juga reduksi beban hidup untuk perencanaan balok induk dan portal serta peninjauan gempa, yang pemakaian optional bukan keharusan, terlebih lagi bila reduksi tersebut membahayakan konstruksi atau unsur konstruksi yang ditinjau (PPURG, pasal 1.1.2).

Beban-beban yang akan bekerja selama umur struktur dapat diperkirakan secara akurat, baik jenis beban, arah beban, maupun dimana saja beban tersebut akan bekerja pada struktur. Dari sini akan diperoleh gambaran dasar bagaimana perilaku struktur setelah menerima beban, kemudian dilakukan analisis struktur yang lebih akurat dengan pemodelan dan perhitungan. MC Cormac (2004) menyatakan jenis beban yang bekerja pada struktur dapat dikelompokkan menjadi beban mati, beban hidup, dan beban pengaruh lingkungan.

### 1. Beban Mati

Beban mati ialah berat dari semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian-penyelesaian,

mesin mesin, serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung itu (PPPURG 1.3.1).

Beban mati ( $q_{DL}$ ) merupakan beban gravitasi yang terdiri dari berat semua elemen struktur (bangunan) yang memiliki sifat permanen selama masa layan struktur tersebut. Untuk mendesain suatu struktur harus memperkirakan berat atau beban mati yang terdiri dari berbagai elemen struktur yang akan digunakan dalam analisis. Dalam perencanaan terdapat unsur tambahan pada beban mati yang meliputi sistem perpipaan, jaringan listrik, penutup lantai, dan plafond. Perkiraan berat suatu struktur harus relevan dan diperoleh dari rumus serta tabel yang terdapat di dalam Standar Nasional Indonesia (SNI) serta referensi buku.

## 2. Beban Hidup

Beban hidup ialah semua beban yang terjadi akibat penghuni atau penggunaan suatu gedung, dan kedalamannya termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah, mesin-mesin, serta peralatan yang tidak merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung itu, sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan atap tersebut. Khusus pada atap kedalaman beban hidup dapat termasuk beban yang berasal dari air hujan, baik akibat genangan maupun akibat tekanan jatuh (*energy kinetic*) butiran air. Kedalaman beban hidup tidak termasuk beban angin, beban gempa, dan beban khusus yang disebut dalam ayat (3), (4) dan (5) (PPPURG 1,3,2)

### 3. Beban Angin

Beban Angin mencakup seluruh beban yang bekerja pada suatu gedung yang dipengaruhi oleh selisih antar tekanan udara. Besarnya beban angin yang bekerja pada suatu struktur bangunan dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu kecepatan angin, rapat massa udara, letak geografis, bentuk dan tingginya suatu bangunan, serta kekakuan dari struktur itu sendiri. Bangunan yang berada pada daerah lintasan angin, akan mengakibatkan angin berbelok ataupun berhenti. Hal ini akan berdampak terhadap energi kinetik dari angin yang akan berubah menjadi energi potensial. Energi potensial itu sendiri berupa tekanan (hisapan) pada suatu bangunan. Beban Angin ditentukan dengan menganggap adanya tekanan positif dan tekanan negatif yang bekerja secara tegak lurus pada bidang yang ditinjau (diteliti).

### 4. Beban Gempa

Beban Gempa (E) itu sendiri merupakan cakupan dari semua beban statistik ekuivalen yang bekerja pada suatu gedung (bangunan) yang menirukan pengaruh dari pergerakan tanah akibat gempa. Pada perencanaan sebuah struktur bangunan bertingkat tahan gempa yang perlu diketahui percepatan yang terjadi pada batuan dasar. Pada wilayah Indonesia dapat diklasifikasikan ke dalam 5 wilayah zona gempa.

Perencanaan suatu bangunan tahan gempa mempertimbangkan frekuensi rata-rata berdasarkan data yang ada. Untuk bangunan yang tidak lebih dari 40 m, Analisis struktur yang ditentukan oleh sistem atau gempa dapat dilakukan dengan metode beban gempa sistem ekuivalen, sementara untuk bangunan yang lebih tinggi dari 40 meter digunakan analisa dinamis.

## 2.7 Kombinasi Pembebanan

### 2.7.1 Kombinasi Pembebanan Struktur Atas.

Dari Uraian diatas dan uraian – uraian sebelumnya, dan uraian berikutnya tentang gempa, faktor redundansi  $\rho$  biasa diambil = 1,0. Maka kombinasi pembebanan untuk perencanaan struktur atas adalah sebagai berikut:

- a. Comb 1 = 1,4 DL + 1,4 SIDL
- b. Comb 2 = 1,2 DL + 1,2 SIDL + 1,66 LL
- c. Comb 5 = 1,326 DL + 1,326 SIDL + 0,5 LL
- d. Comb 6 = 1,326 DL + 1,326 SIDL + 0,5 LL + 0,3 Ex + 1 Ey
- e. Comb 7 = 0,773 SIDL + 0,733 SIDL + 1 Ex + 0,3 Ey
- f. Comb 8 = 0,733 DL + 0,733 SIDL + 0,3 Ex + 1 Ey

### 2.7.2 Kombinasi Pembebanan Struktur Bawah

Sistem struktur bawah meliputi pilecap dan pondasi. Untuk menentukan dimensi pondasi atau jumlah tiang direncanakan sedemikian hingga gaya reaksi pondasi dihitung berdasarkan persamaan kombinasi metode ijin (ASD) sebagai berikut:

- a. Comb P1 = 1,0 DL
- b. Comb P2 = 1,0 DL + 0,4 LL
- c. Comb P3 = 1,088 DL + 0,63 Ex + 0,189 Ex + 0,63 Ey
- d. Comb P4 = 1,088 DL + 0,189 Ex + 0,63 Ey
- e. Comb P5 = 1,063 DL + 0,75 LL + 0,4725 Ex + 0,1418 Ey
- f. Comb P6 = 1,063 DL + 0,75 LL + 0,1418 Ex + 0,4725 Ey
- g. Comb P7 = 0,511 DL + 0,63 Ex + 0,189 Ey

$$h. \text{ Comb P8} + 0,511 \text{ DL} + 0,189 \text{ Ex} + 0,63 \text{ E}$$

## 2.8 Stabilitas Bangunan Pada Struktur Bangunan Tahan Gempa

Bangunan bertingkat tinggi yang menerima gaya luar terutama gaya gempa serta bangunan tersebut tidak runtuh (tetap berdiri kokoh) dimana bangunan tersebut mempertahankan strukturnya ketika menerima gaya berupa horizontal maupun gaya vertikal dan tidak runtuh sepenuhnya disebut stabilitas sebuah bangunan. Untuk memeriksa apakah sebuah bangunan itu memiliki stabilitas yang baik atau tidak, bisa dilakukan pengecekan dengan memeriksa drift limit serta P delta.

### 2.8.1 Simpangan Antar Lantai (*Story Drift*)

Dimana dalam proses perencanaan struktur simpangan lateral antar lantai tingkat (*story drift*) harus selalu diperiksa untuk menjamin stabilitas struktur serta mencegah kerusakan elemen – elemen non structural dan untuk menjamin kenyamanan pengguna bangunan. Gaya lateral akan menghasilkan simpangan struktur dalam arah lateral.

Penentuan simpangan antar lantai tingkat desain ( $\Delta$ ) harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa di tingkat teratas dan terbawah yang ditinjau. Defleksi pusat massa di tingkat x ( $\delta_x$ ) harus dihitung sesuai dengan persamaan :

$$\delta_x = \frac{C_d \times \delta_{xe}}{I_e}$$

Dimana :

$C_d$  = Faktor pembesaran defleksi

$\delta_{xe}$  = Defleksi pada lantai yang ditinjau yang disebabkan oleh gaya gempa

lateral

$I_e$  = Factor keutamaan Struktur

Jika *story drift* terlalu berlebih maka ada kemungkinan stabilitas strukturnya berkurang, serta kemungkinan mengalami kerusakan pada elemen non struktural pada saat gempa. Simpangan antar lantai tingkat desain ( $\Delta$ ) tidak diperbolehkan melebihi simpangan antar lantai tingkat ijin ( $\Delta_a$ ). Hal ini ditentukan dalam tabel SNI 1726-2019 Pasal 7.12.1 berikut :

Tabel 12. Simpangan Antar Tingkat Izin  $\Delta_a$  (SNI 1726-2019)

Struktur	Kategori Resiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat	$0,025h_{sx}^c$	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$
struktur dinding geser kantilever batu bata	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$
struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$
semua struktur lainnya	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$	$0,010h_{sx}$

Untuk sistem penahan gaya seismik yang hanya terdiri dari rangka momen pada struktur yang didesain untuk kategori desain seismic D, E, F. Simpangan antar lantai tingkat desain ( $\Delta$ ) tidak diperbolehkan melebihi  $\Delta_a/\rho$  berlaku untuk semua tingkat. Nilai  $\rho$  telah ditentukan sebesar 1,3.

### 2.8.2 Simpangan Puncak (*Ratio Drift*)

*Drift Ratio* adalah simpangan puncak dibagi dengan tinggi bangunan. *Drift Ratio* merupakan salah satu parameter yang paling penting sehingga berpengaruh untuk mengevaluasi kinerja seismik dari suatu sistem struktur yang ada yang merupakan hasil plot dari simpangan antar tingkat, pada penelitian ini dengan interval 0,01 dt. Berikut ini merupakan persamaan rumus dari *Drift Ratio*.

$$\text{Drift - ratio} = \frac{\Delta_{top}}{H} < 0,0025 \text{ (OK)}$$

Keterangan :

$\Delta_{top}$  = *displacement* puncak bangunan (m)

H = tinggi bangunan (m)

Nilai *drift rasio* harus kurang dari 0,0025

### 2.8.3 Efek P-Delta

Dalam merencanakan bangunan tinggi, pergerakan lateral kolom akibat dari pengaruh beban aksial P dan horizontal *displacement* akan menimbulkan momen sekunder pada balok dan kolom serta ada penambahan *story drift*. Istilah ini dikenal dengan nama P – delta ( $\Delta$ ).

Stabilitas dari system struktur perlu diperiksa akibat pengaruh P – delta ( $\Delta$ ). Pengaruh P – delta ( $\Delta$ ) pada geser dan momen tingkat, gaya dan momen elemen struktur yang dihasilkan dari simpangan antar lantai tingkat timbul oleh pengaruhnya. Pada ketentuan yang ada tidak ditemukan untuk diperhitungkan apabila koefisien stabilitas ( $\theta$ ) menurut persamaan berikut ini sama dengan atau kurang dari 0,1.

P– delta ( $\Delta$ ) dapat diabaikan apabila persamaan berikut dapat dipenuhi, dimana bila koefisien stabilitas ( $\theta$ )  $\leq 0,1$ . Apabila ( $\theta$ )  $> 0,1$  maka harus dilakukan perhitungan melalui persamaan yang diisyaratkan pada SNI 1726:2019 pasal 7.8.7 hal.76

$$\theta = \frac{Px\Delta le}{Vx hsx Cd}$$

Dimana :

$P_x$  = Beban desain vertikal total pada dan di atas tingkat  $x$ , dinyatakan dalam kilo newton (kN); bila menghitung  $P_x$ , faktor beban individu tidak perlu melebihi 1,0

$\Delta$  = Simpangan antar lantai tingkat desain seperti didefinisikan dalam pasal 7.8.6, terjadi secara serentak dengan  $V_x$  dinyatakan dalam millimeter (mm)

$I_e$  = Faktor Keutamaan Gempa

$V_x$  = Gaya geser seismik yang bekerja antar tingkat  $x$  dan  $x-1$  (kN)

$h_{sx}$  = Tinggi tingkat di bawah tingkat  $x$ , dinyatakan dalam (mm)

$C_d$  = Faktor pembesaran defleksi

$\beta$  = Rasio kebutuhan geser terhadap kapasitas geser untuk tingkat antara  $x$  dan  $x-1$ , rasio diijinkan secara konservatif diambil sebesar 1,0. Selain itu nilai koefisien stabilitas bangunan diisyaratkan untuk tidak melebihi nilai maksimumnya yang dihitung menurut SNI 1726:2019 pasal 7.8.7 seperti berikut ini :

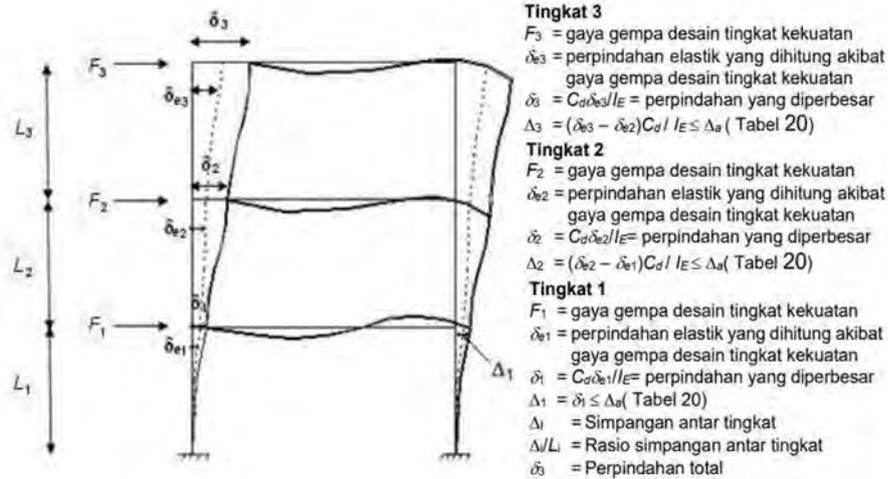
$$\theta_{\max} = \frac{0,5}{\beta C_d} \leq 0,025$$

Keterangan:

$\theta_{\max}$  = koefisien stabilitas maksimum

$\beta$  = rasio keruntuhan geser terhadap kapasitas gesernya, secara konservatif, nilainya diambil 1,0

$C_d$  = faktor pembesaran defleksi



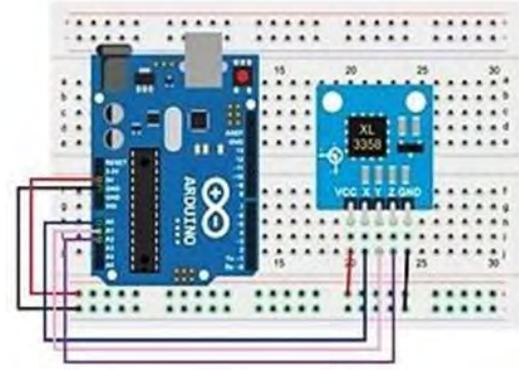
Gambar 8. Skema deformasi portal akibat gaya gempa (SNI 1726-2019)

## 2.9 ETABS

ETABS adalah salah satu software yang sangat populer di dunia teknik sipil. Software ini sangat cocok digunakan dalam melakukan pemodelan struktur, analisis dan desain. ETABS dan SAP 2000 adalah software yang dibuat oleh CSI Berkeley. ETABS menjadi pilihan utama bagi para engineer dalam melakukan analisis dinamik untuk proyek-proyek yang besar. Apabila dilakukan perhitungan secara manual, maka akan membutuhkan waktu yang tidak sedikit karena analisis dinamik tidak sama dengan analisis statik yang cukup mengandalkan konsep kesetimbangan gaya.

## 2.10 Akselerogram

Akselerogram merupakan rekaman grafis dari percepatan permukaan tanah terhadap waktu terjadinya gempa yang tiba di sebuah stasiun kegempaan. Akselerogram ini dihasilkan dari alat pencatat yaitu akselerograf atau biasa disebut akselerometer.

Gambar 9. Akselerometer (*Sutterstock*)

### 2.11 Analisis Riwayat Waktu

Analisis riwayat waktu (*time history*) merupakan analisis yang memodelkan struktur berdasarkan catatan rekaman gempa yang terjadi berupa gerakan tanah dan respons struktur yang dihitung bertahap pada interval tertentu. Analisis dinamik riwayat waktu dapat diterapkan secara linier maupun non linier. Yudi, dkk (2019) menjelaskan bahwa struktur linier merupakan struktur yang tidak mengalami perubahan dalam berbagai kondisi pada massa ( $M$ ), redaman ( $C$ ), dan kekakuan ( $K$ ). Struktur yang diberikan analisis nonlinier merupakan struktur yang mengalami perubahan massa ( $M$ ), redaman ( $C$ ), dan kekakuan ( $K$ ) dalam kondisi tertentu.

Analisis dalam kondisi linier, umumnya struktur diasumsikan dapat kembali ke bentuk semula setelah mengalami pembebanan (elastis). Pada kondisi nyata, sebagian besar sistem struktur ketika terjadi gempa bersifat nonlinier (Maulana 25 dkk, 2013). Dalam penelitian ini digunakan metode analisis riwayat waktu linier untuk mempermudah dalam geometri struktur.

Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 6.10.1.1 dalam proses analisis riwayat waktu, dibutuhkan paling sedikit tiga rekaman gempa percepatan gerak tanah horizontal yang harus dipilih dari beberapa kejadian gempa. Masing-masing

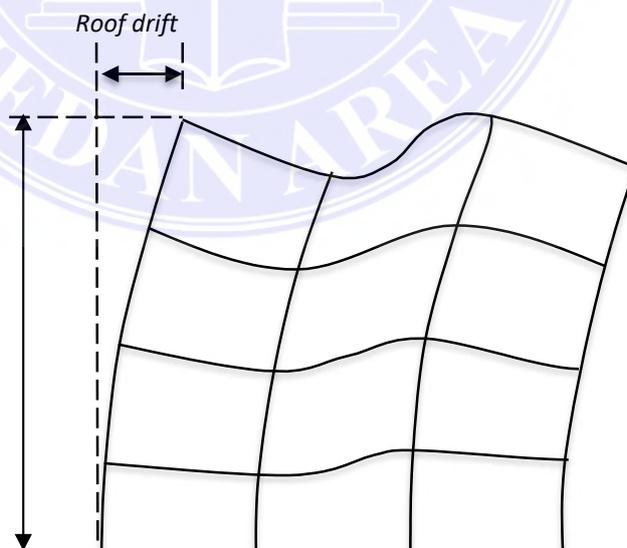
riwayat waktu yang dipilih harus diskalakan, sehingga spektrum respons-nya sama seperti lokasi yang akan ditinjau. Data rekaman gempa dari akselerogram kemudian disimulasikan menjadi percepatan gempa dengan menggunakan software analisis struktur.

Wahjudi (2017) menjelaskan bahwa pemilihan akselerogram gempa biasanya ditekankan untuk memperoleh rekaman yang sesuai dengan spektrum respons terhadap parameter seismologinya.

## 2.12 ATC -40

Level kinerja struktur berdasarkan ATC-40 ditentukan berdasarkan *roof displacement*. Parameter yang digunakan dalam penentuan level kinerja salah satunya yaitu maximum total *drift*. Nilai maximum total *drift* diambil dari *roof drift ratio* yang tertera pada ATC-40 pasal 11.3.3.

$$\text{Roof drift ratio} = \frac{\text{Roof drift}}{\text{Roof height}}$$



Gambar 10. *Deformation lateral (ATC-40)*

Batasan penentuan level kinerja menurut ATC-40 dapat ditentukan berdasarkan tabel berikut ini :

Tabel 13. Tabel penentuan kinerja ATC-40 (ATC-40 Pasal 11.3.3 Tabel 11-2)

Parameter	Performance Level			
	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Damage Control</i>	<i>Life Safety</i>	<i>Structural Stability</i>
<i>Maksimum Total Drift</i>	0,01	0,01 - 0,02	0,02	0,33 $V_i/P_i$

Level kinerja struktur berdasarkan ATC-40 pasal 3.2.1 dibagi menjadi:

1. *Immediate Occupancy* (IO)

Keadaan bangunan pasca gempa, dimana kerusakan struktural sangat kecil terjadi. Secara keseluruhan, karakteristik dan kapasitas sistem pemikul gaya vertikal-lateral pada struktur masih sama seperti sebelum terjadi gempa. Risiko cedera yang mengancam jiwa dari kegagalan struktural dapat diabaikan. Bangunan aman untuk akses jalan keluar-masuk maupun hunian.

2. *Damage Control* (DC)

Bila terjadi gempa kerusakan yang terjadi diantara Immediate occupancy dan Life safety.

3. *Life Safety* (LS)

Keadaan struktur dimana kerusakan signifikan pada struktur dimungkinkan terjadi. Struktur masih mampu menahan gaya gempa, sementara cedera selama gempa bumi dapat terjadi, dan risiko cedera yang mengancam jiwa sangat rendah terjadi. Gedung dapat digunakan setelah dilakukan perbaikan.

#### 4. *Structural Stability*

Keadaan struktur pasca gempa, dimana sebagian sampai keseluruhan struktur jatuh. Berpotensi terjadinya degradasi dalam kekakuan dan kekuatan sistem penahan gaya lateral yang signifikan. Risiko cedera yang membahayakan, banyak terjadi baik di dalam maupun di luar gedung. Gempa susulan yang terjadi dapat menyebabkan keruntuhan.

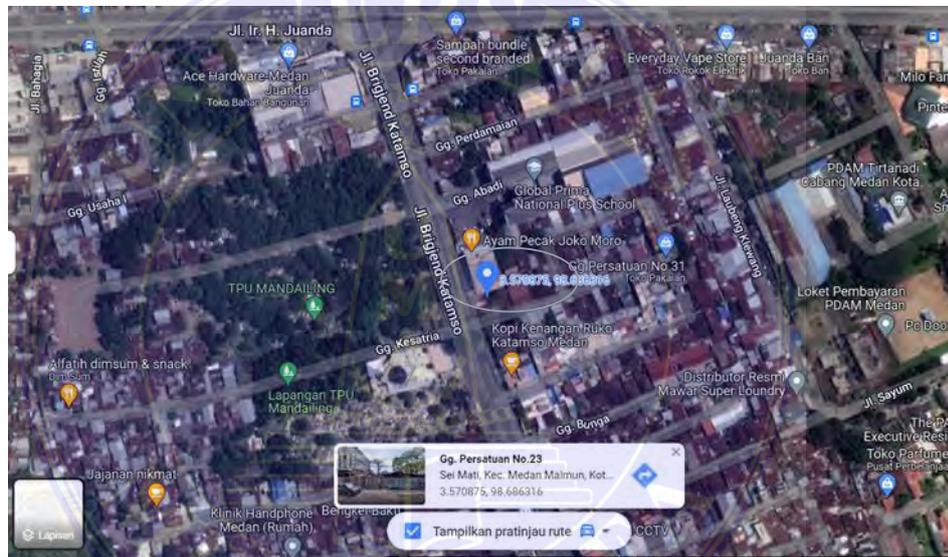


## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di Jl. Brigjend Katamso, Kec. Medan Maimun, Kota Medan, Sumatera Utara. Adapun titik penelitian pada proyek Pembangunan Rumah Sakit Regina Medan. Peta lokasi penelitian dapat dilihat pada gambar 11, dibawah ini:



Gambar 11. Lokasi Penelitian. (google Maps, 2023)

#### 3.2 Data Teknis Proyek

##### Data Umum

1. Nama Proyek : Rumah Sakit Regina Maris Medan
2. Owner : PT. Regina Mandiri Husada
3. Konsultan Mk : PT. Cremona Para Mitra
4. Kontraktor Pelaksana : PT. Prima Abadi Jaya Medan
5. Lokasi : Jl. Brigjend Katamso No. 403-405, Medan

Maimun

6. Infastruktur : Pembangunan Rumah Sakit Kelas B di Medan

#### Data Struktur

1. Jenis Konstruksi : Gedung Rumah Sakit
2. Jumlah Lantai : 12 Lantai
3. Panjang Bangunan : 66,5 meter
4. Lebar Bangunan : 97 meter

### 3.3 Konfigurasi Gedung

Tabel 14. Konfigurasi gedung (Data Lapangan, 2023)

NO	Lantai	Tinggi Bangunan (m)
1	Basement	0
2	Basement 2	3,2
3	Lantai 1	6,6
4	Lantai 2	10,6
5	Lantai 3	14,6
6	Lantai 4	18,6
7	Lantai 5	23,6
8	Lantai 6	27,6
9	Lantai 7	31,6
10	Lantai 8	35,6
11	Lantai 9	39,6
12	Lantai 10	43,6
13	Atap	47,6

### 3.4 Spesifikasi Material

#### 3.4.1 Mutu Beton

Mutu Beton menjadi hal yang sangat di utamakan dan sesuai yang dibutuhkan dalam Struktur bangunan, mulai dari mutu beton pondasi, kolom, balok, plat atap dan plat lantai. Kekuatan karakteristik silinder beton ( $f'_c$ ) yang didasarkan atas kekuatan beton pada umur 28 hari sebagai berikut :

Tabel 15. Mutu Beton (Data Lapangan, 2023)

FUNGSI	MUTU BETON	
	f <sub>c</sub>	E <sub>c</sub>
	Mpa	Mpa
Bored Pile	35	27805,6
Pondasi	35	27805,6
Pile Cap	35	27805,6
Kolom	35	27805,6
Tie Beam	35	27805,6
Balok	35	27805,6
Pelat Lantai	35	27805,6
Shearwall lt. Basement s/d lt. 3A	45	31528,6
Shearwall lt. 5 s/d lt atap	35	27805,6
Dinding	35	27805,6
Tangga	35	27805,6
Kolom Praktis	25	23500
Balok Lintel	25	23500

### 3.4.2 Mutu Baja Tulangan

Jenis dan tegangan leleh (fy) baja tulangan yang digunakan adalah :

Tabel 16. Mutu Baja (Data Lapangan, 2023)

Baja polos untuk diameter < 10 mm	240 Mpa (BJTP U-24)
Baja ulir untuk diameter ≥ 10 mm	400 Mpa (BJTD U-40)
Modulus elastisitas baja Es	200.000 Mpa

## 3.5 Data Elemen Struktur

### 3.5.1 Pelat Lantai

Rumah sakit regina maris Medan menggunakan

Tebal pelat lantai tipikal : 15cm

### 3.5.2 Balok

Tipe balok yang digunakan sebagai berikut :

Tabel 17. Tipe Balok (Data Lapangan, 2023)

No	Tipe	Dimensi (cm)
1	Balok BP	35x60
2	Balok Anak	25x60

3	Balok induk	30x60
4	Balok B14	30x60
5	Balok Dinding Basement	60x90
6	Balok B12	30x70

### 3.5.3 Kolom

Tipe kolom yang digunakan sebagai berikut :

Tabel 18. Tipe Kolom (Data Lapangan, 2023)

No	Tipe	Dimensi (cm)
1	Kolom K1	80x80
2	Kolom K2	60x60
3	Kolom K3	50x50
4	Kolom K4	30x60
5	Kolom K5	40x60
6	Kolom K8P	50x100

## 3.6 Langkah Penelitian

Metode penelitian ini menggunakan analisis respon spektrum. Program ETABS V.18 digunakan dalam analisis untuk mencapai gambaran tersebut. Langkah-langkah analisis dilakukan sesuai dengan prosedur yang telah ditentukan.

### 3.6.1 Studi Literatur

Studi literatur dari jurnal dan buku yang terkait dalam analisis riwayat waktu. Mempelajari semua yang berhubungan dengan analisis riwayat waktu. Buku acuan yang dipakai antara lain SNI 1726-2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Gedung, Peraturan pembebanan berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Rumah dan Gedung SNI 03-1727- 1919, dan jurnal-jurnal yang berkaitan dengan analisis riwayat waktu.

### 3.6.2 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dan informasi bangunan Rumah Sakit Regina Maris yang diteliti, baik data sekunder maupun data primer. Data yang didapat adalah Shop Drawing Rumah Sakit Regina Maris Medan. Data ini digunakan untuk pemodelan struktur 3D yang selanjutnya dianalisis dengan bantuan ETABS V.18.

*Shop Drawing* digunakan untuk tahapan pemodelan yang sesuai dengan gambar yang ada sehingga analisis ini tidak menyimpang dari gambar yang ada. Semua struktur yang dimodelkan harus sesuai dengan Shop Drawing, untuk bangunan non struktural tidak dimodelkan karena tidak mempunyai pengaruh yang signifikan dalam pemodelan 3D ini.

### 3.6.3 Pemodelan 3D

Pembuatan model struktur bangunan dengan pemodelan 3D sesuai dengan data dan informasi dari shop drawing Rumah Sakit Regina Maris Medan

### 3.6.4 Perhitungan Pembebanan

Menghitung beban-beban yang bekerja pada struktur berupa beban mati, beban hidup. Beban mati yang dihitung berdasar pemodelan yang ada dimana beban sendiri didalam program ETABS V.18 dimasukkan dalam *load case* DEAD, sedangkan berat sendiri tambahan yang tidak dapat dimodelkan dalam program ETABS V.18 dalam load case Super Dead. Perhitungan berat sendiri ini dalam program ETABS V.18 yang untuk dead adalah 1, sedangkan super *dead* adalah 0, dimana beban untuk dead telah dihitung secara otomatis oleh program ETABS V.18, sedangkan untuk beban Super *dead* bebannya perlu dimasukkan secara manual sesuai dengan data yang ada.

Beban hidup yang dimasukkan dalam program ETABS V.18 dinotasikan dalam *live*. Beban hidup ini mendapatkan reduksi beban gempa. Beban hidup disesuaikan dengan peraturan yang ada. Perhitungan beban hidup ini dalam program ETABS V.18 yang untuk *live* adalah 0, di mana beban hidup perlu dimasukkan secara manual sesuai dengan data yang ada.

### 3.6.3 Pemilihan gerak tanah dan modifikasi

Riwayat percepatan tanah yang digunakan untuk analisis terdiri dari tidak kurang dari tiga pasang komponen ortogonal yang telah dicocokkan secara spektral yang diturunkan dari rekaman gerak tanah atau gerak tanah tiruan

Periode ulang : 2500 tahun

Lokasi : Medan

Kelas situs : Tanah Sedang (SD)

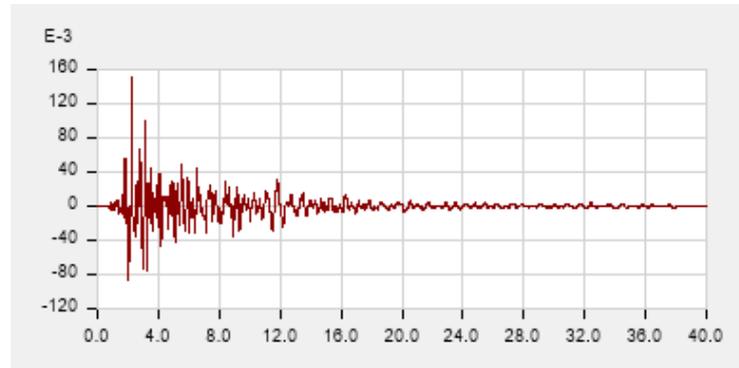
Vs : 175-350 m/s

### 3.6.2 Tampak Gedung Bangunan Rumah Sakit Regina Maris Medan

Gedung rumah sakit regina maris Medan terdiri dari 12 lantai, satu lantai atap dan 2 lantai basement, seperti yang dilihat pada Gambar 12 dibawah ini



b. Akselerogram gempa Northwest, California 1938



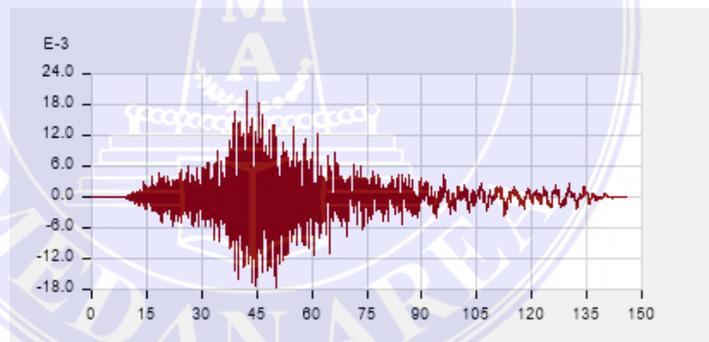
Gambar 14: Akselerogram gempa Northwest, California 1938 ([www.peer.berkeley.edu](http://www.peer.berkeley.edu))

Nama gempa : Northwest Earthquake, California

Tahun : 1938

Magnitudo : 5,5 SR

c. Akselerogram gempa Iwate, Japan 2008



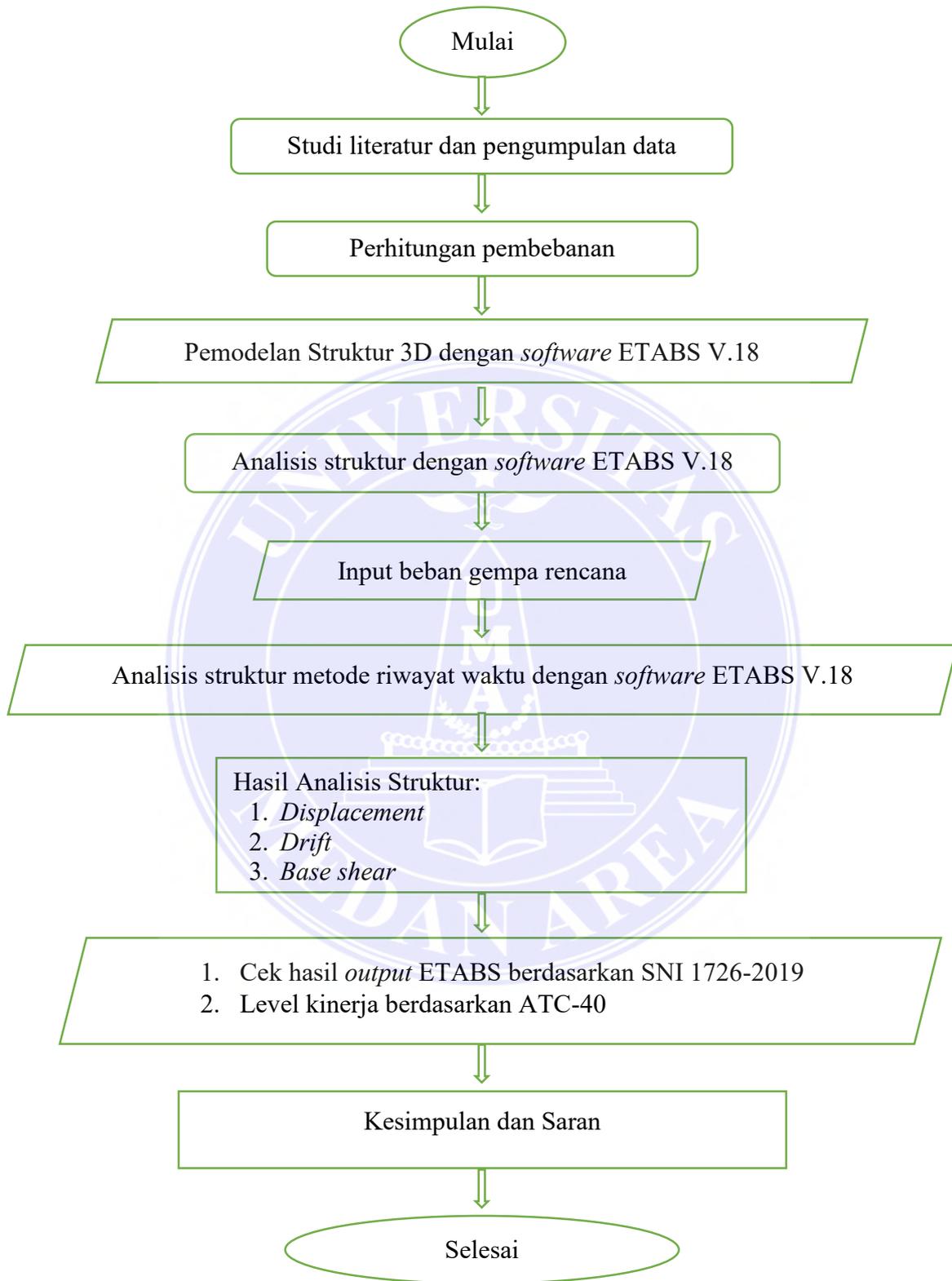
Gambar 15: Akselerogram gempa Iwate, Japan 2008 ([www.peer.berkeley.edu](http://www.peer.berkeley.edu))

Nama gempa : Iwate Earthquake, Japan

Tahun : 2008

Magnitudo : 6,9 SR

### 3.8 Diagram Alir Penelitian



Gambar 16. Bagan Alir Penelitian

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Setelah melakukan analisis menggunakan metode analisis riwayat waktu (*time history analysis*) pada bab 4, Menurut ATC-40 jika gedung diberikan gempa Chichi (1999) maka level kinerja struktur adalah *structural stability* dengan nilai max.drift 0,19 (X) dan 0,16 (Y), jika gedung diberikan gempa Iwate Japan (2008) maka level kinerja struktur adalah *structural stability* dengan nilai max.drift 0,22 (X) dan 0,17 (Y), dan jika gedung diberikan gempa Northwest California (1938) maka level kinerja struktur adalah *structural stability* dengan nilai max.drift 0,17 (X) dan 0,15 (Y)

#### 5.2 Saran

Penulis mempunyai beberapa saran, bila dimasa depan dilakukan penelitian lanjutan:

1. Peraturan gempa yang digunakan adalah peraturan yang telah resmi sehingga hasil analisis sesuai peraturan terbaru.
2. Menggunakan peta level gempa yang lain.
3. Menggunakan rekaman gempa lebih dari 4 buah.
4. Menggunakan rekaman gempa yang ada di Indonesia.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ari Mulyo Diah Utami, 2018 “Analisis Kinerja Struktur Gedung Bertingkat Dengan Metode Respon Spectrum Ditinjau Pada Drift Dan Displacement Menggunakan Software Etabs” J.Infras.4:1
- Badan Standardisasi Nasional, “Sni 1726:2019,” Tata Cara Perenc. Ketahanan Gempa Untuk Strukt. Bangunan Gedung dan Non Gedung, no. 8, p. 254, 2019
- Diah Sarasanty., Zainul Arifin, 2022 “Respons Spectrum Analysis Struktur Bangunan Tingkat Tinggi (Studi Kasus: Bangunan Rumah Susun Stasiun Tanjung Barat Di Jakarta)” Jurnal Kacapuri Dan Keilmuan Teknik Sipil 5:1
- Edi Indera.,Putut Prayitno. 2021 “Evaluasi Kinerja Struktur Pada Gedung Bertingkat Dengan Analisa Respon Spektrum Menggunakan Software Etabs Versi 2013” ZONA TEKNIK: JURNAL ILMIAH 5:3
- Edy Purnomo., Agus Supriyadi, 2012 “Analisis Kinerja Struktur Pada Gedung Bertingkat Dengan Analisis Dinamik Respon Spektrum Menggunakan Software Etabs (Studi Kasus : Bangunan Hotel Di Semarang)” jurnal.uns
- Paz, Mario. (1996). “Dinamika Struktur Teori & Perhitungan terj. Manu A. P. Jakarta: Erlangga. Peraturan Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung (PPPURG 1987). SNI03-1726-2012, Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung.

## LAMPIRAN

