

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Desain Penelitian

Pada tugas akhir ini desain penelitian yang digunakan adalah analisis dinamis terhadap beban gempa dengan menggunakan bantuan *software Extended Three Dimensional Anlysis of Building Systems (ETABS)* versi 18. Proses analisis dengan melaukan pemodelan 3 (tiga) dimensi, dimulai kolom, balok, plat lantai, plat atap, dan komponen struktur lainnya. Ketika pemodelan selesai dilakukan, selanjutnya melakukan analisis struktur terhadap perpindahan (*displacement*), simpangan (*drift*), dan gaya geser dasar (*base shear*). Dengan melakukan analisis tersebut, dapat diketahui evaluasi kinerja struktur dengan kinerja batas layan, kinerja batas ultimit, dan tingkat kinerja struktur yang sesuai dengan ATC-40.



Gambar 3.1 Desain 3D Vissual Gedung 2 ITB Innovation Park Teknopolis  
Sumber : *Data Dokumentasi Proyek Pembangunan Gedung 2 ITB Innovation  
Park Teknopolis*



Gambar 3.2 Tampak Potongan Memanjang

Sumber : Data Dokumentasi Proyek Pembangunan Gedung 2 ITB Innovation Park Teknopolis

### 3.2 Lokasi Penelitian

Lokasi dari penelitian Gedung 2 ITB Innovation Park Teknopolis berada di dalam Kawasan Teknopolis Summarecon Bandung, Jalan Bulevar Barat No. 75-89, Summarecon Bandung, Rancabolang, Gedebage, Kota Bandung, Jawa Barat 40295 Indonesia.



Gambar 3.3 Lokasi Proyek Pembangunan Gedung 2 ITB Innovation Park Teknopolis

Sumber : *Google Earth*

### 3.3 Instrumen Penelitian

#### 3.3.1 Data Teknis Proyek dan Shop Drawing

##### 1. Data Teknis Arsitektur

Lokasi : Jalan Bulevar Barat No. 75-89,  
Summarecon Bandung, Rancabolang,  
Gedebage, Kota Bandung, Jawa Barat  
40295 Indonesia.

Luas daerah perencanaan :  $\pm 10.000 \text{ m}^2$

Luas bangunan :  $\pm 1.150 \text{ m}^2$

Tinggi total bangunan : 59,30 m

Fungsi Bangunan : Gedung industri / Gedung Manufaktur

##### 2. Data Teknis Bangunan (Struktur)

Berdasarkan gambar desain perencanaan yang dirancang oleh Konsultan Perencana, data teknis struktur sebagai berikut :

Fungsi bangunan	: Gedung industri / Gedung Manufaktur
Jumlah Lapis	: 11 Lantai + 2 Basement
Tinggi Antar Lantai	: 3,5 m (Basement 2) 3,65 m (Basement 1) 6 m (Lantai 1) 4,2 m (Lantai 2-12)
Tinggi total bangunan	: 59.30 meter
Sistem Pondasi	: Pondasi Pancang dan Pilecap
Mutu Beton	: $f_c' 30 \text{ MPa}$ $f_c' 35 \text{ MPa}$
Mutu Baja Tulangan	: $f_y 4200 \text{ kg/cm}^2$ $f_y 5200 \text{ kg/cm}^2$

Tipe elemen struktur pada Gedung 2 ITB Innovation Park Summarecon adalah sebagai berikut :

Tabel 3.1 Struktur Plat

Tipe Plat	Tebal Plat (mm)
S1	120 mm
S3	160 mm
S6	150 mm

Sumber : *Data Proyek Pembangunan Gedung 2 ITB Innovation Park  
Teknopolis*

Tipe kolom yang digunakan pada Gedung 2 ITB Innovation Park Summarecon adalah sebagai berikut :

Tabel 3.2 Dimensi Struktur Kolom

Tipe Kolom	Lantai	Dimensi (mm)
KB1-1	Basement	1400x1400
	1	1200x1400
	2-6	1200x1200
	7-11	1000x1200
KB1-2	Basement	1400x1400
	1	1200x1400
	2-6	1200x1200
	7-11	1000x1200
KB2	Basement	1000x1600
	1	1000x1600
	2-6	800x1600
	7-11	800x1400
KB3	Basement	1000x1300
	1	1000x1300
	2-6	800x1200
	7-11	800x900
KB4	Basement	1000x1300
	1	1000x1300
	2-6	900x1200
	7-11	800x1000
KTB	12	500x500

Sumber : *Data Proyek Pembangunan Gedung 2 ITB Innovation Park  
Teknopolis*

Tipe Balok yang digunakan pada Gedung 2 ITB Innovation Park Summarecon adalah sebagai berikut :

Tabel 3.3 Dimensi Stuktur Balok

Tipe Kolom	Dimensi (mm)
B13	100x300
B23	200x300
B24	200x400
B34	300x400
B35	300x500
B36	300x600
B37	300x700
B45	400x500
B46	400x600
B47	400x700
B48	400x800
B58	500x800
B59	500x900
B67	600x700
B68	600x800
B68	600x800
B78	700x800
B87	800x700
B88	800x800
B512	500x1200
B610	600x1000
B612	600x1200

Sumber : *Data Proyek Pembangunan Gedung 2 ITB Innovation Park  
Teknopolis*

Mutu baja tulangan yang digunakan pada Gedung 2 ITB Innovation Park Summarecon adalah sebagai berikut :

Tabel 3.4 Mutu Baja Tulangan

Mutu Baja	Kuat Leleh
Baja Ulir	4200 kg/cm <sup>2</sup>
	5200 kg/cm <sup>2</sup>

Sumber : *Data Proyek Pembangunan Gedung 2 ITB Innovation Park Teknopolis*

Mutu baja tulangan yang digunakan pada Gedung 2 ITB Innovation Park Summarecon adalah sebagai berikut :

Tabel 3.5 Mutu Beton

Jenis Struktur	Lantai	Kuat Leleh
Kolom dan Corewall	Basement – Lantai 6	35 MPa
	Lantai 7 – Lantai 12	30 MPa
Balok	Basement – Lantai 12	30 MPa
Plat	Basement - Atap	30 MPa
Retaining Wall	Basement	30 MPa

Sumber : *Data Proyek Pembangunan Gedung 2 ITB Innovation Park Teknopolis*

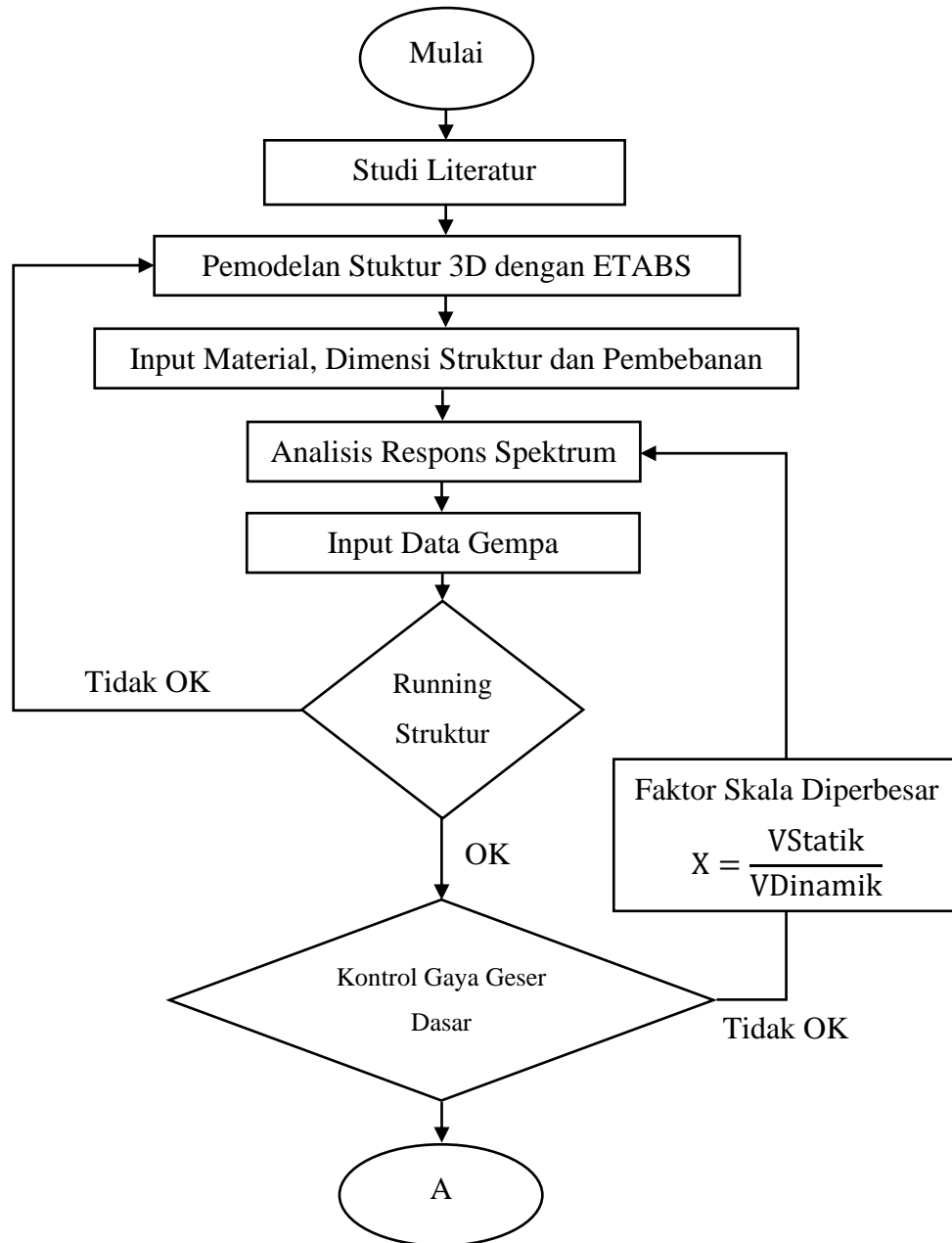
### 3.3.2 ETABS 18

Pada penelitian ini digunakan program ETABS18 untuk beberapa keperluan, dimulai dari pemodelan gedung secara 3D, melakukan analisis, untuk mengoptimalkan desain sesuai pada analisis dinamik. Program ETABS18 menghasilkan beberapa *output* berupa besaran numerik dan tampilan grafis yang mencakup hasil dari analisis, seperti desain struktur baja maupun beton, gaya yang terjadi pada elemen, dan displacement yang langsung dapat diketahui.

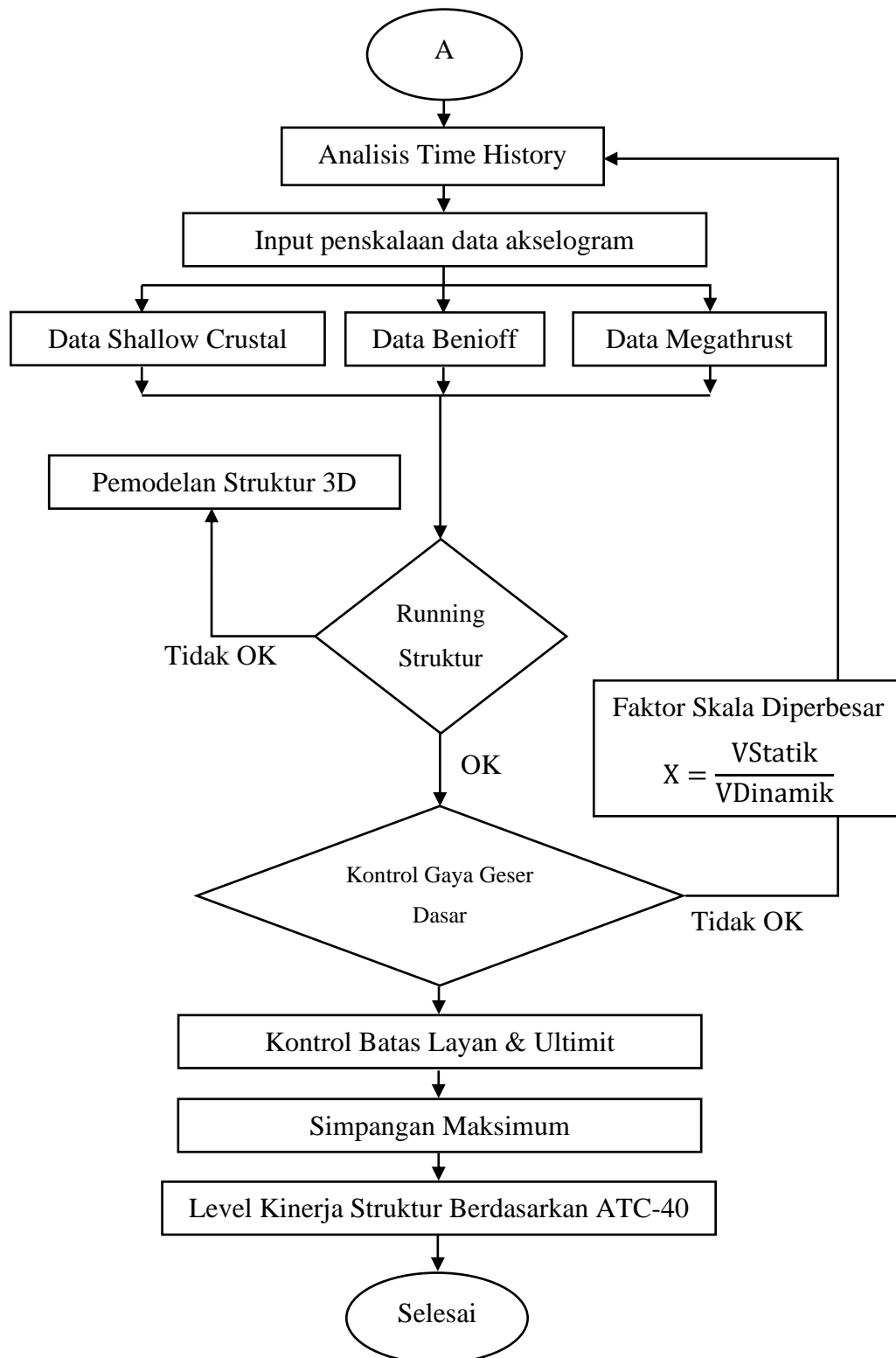


### 3.4 Prosedur Penelitian

#### 3.4.1 Diagram Alir





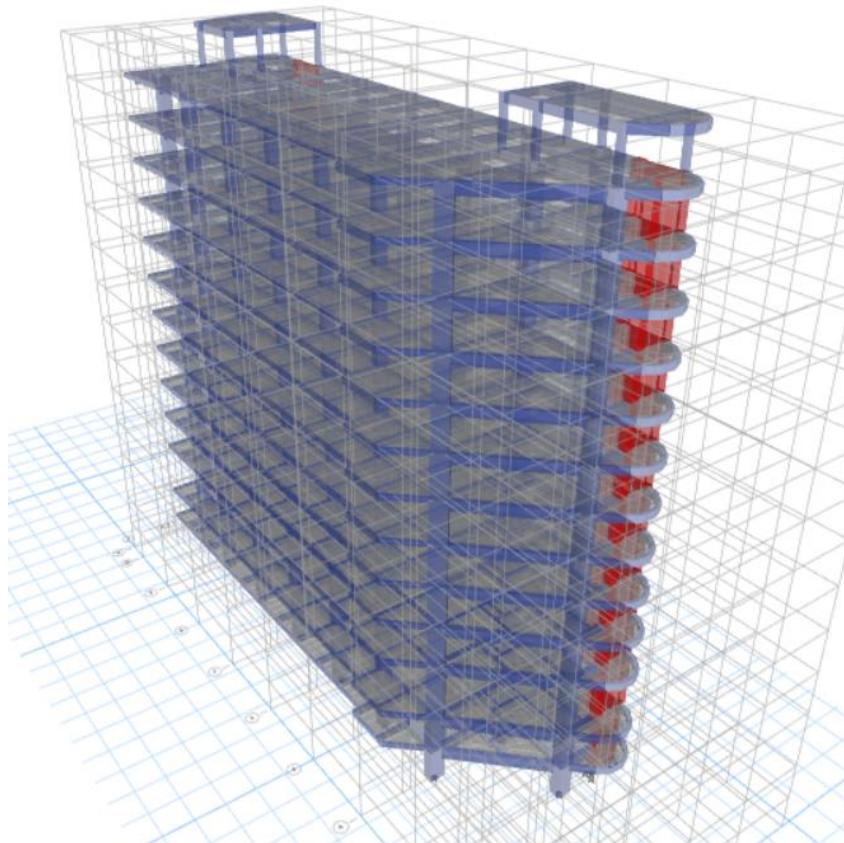


### 3.4.2 Identifikasi Data

Dalam penelitian ini data yang digunakan ini adalah data sekunder yang berupa data teknis proyek dan gambar *shop drawing* Gedung 2 ITB Innovation Park Teknopolis Summarecon, Bandung. Data tersebut digunakan sebagai acuan dalam pemodelan struktur 3 dimensi. Data yang digunakan diperoleh dari perusahaan PT. Ciriayasa Cipta Mandiri, yang merupakan manajemen konstruksi pembangunan Gedung 2 ITB Innovation Park Teknopolis Summarecon, Bandung.

### 3.4.3 Pemodelan Struktur 3D dengan ETAB

Pada program ETABS18 menyediakan beberapa fitur untuk digunakan sesuai dengan kebutuhan, seperti perancangan desain struktur, pembuatan model struktur, modifikasi model, dan analisis struktur. Hasil dari pemodelan tersebut dapat diterapkan pada seluruh maupun sebagian dari elemen struktur.



Gambar 3.4 Pemodelan Gedung 2 ITB Innovation Park Teknopolis Format 3D ETABS18

Sumber : *Software ETABS18*

### 3.4.4 Input Pembebanan

Pembebanan yang digunakan pada analisis struktur Gedung 2 ITB Innovation Park Teknopolis berdasarkan pedoman yang relevan. Sedangkan untuk pembebanan gempa menggunakan SNI 1727:2020 Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain.

Berikut ini adalah jenis-jenis pembebanan yang digunakan dalam analisis struktur :

#### 1. Beban Mati (Dead Load)

Pada pemodelan menggunakan ETABS18 beban mati (dead load) dihitung secara otomatis berdasarkan berat sendiri dari elemen strukturnya, seperti plat lantai, kolom, dan balok. Beban mati tersebut dimasukkan kedalam load case 'dead' dengan nilai satu, yang nantinya pada program ETABS akan dihitung beban mati berdasarkan berat sendiri dari elemen struktur tersebut.

Akan tetapi terdapat berat sendiri yang tidak dapat dimodelkan secara tepat pada program ETABS18. Beban tersebut termasuk kedalam load case 'super dead' dengan memasukkan nilai 0. Nilai beban mati tersebut tetap diperhitungkan dalam analisis struktur secara keseluruhan tetap tidak dapat dimodelkan secara detail.

Tabel 3.6 Pembebanan Material

1. Bahan Bangunan	
c. Beton Bertulang	2400 kg/m <sup>3</sup>
d. Baja	7850 kg/m <sup>3</sup>

Sumber : *Peraturan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung (PPURG) tahun 1987*

Tabel 3.7 Beban Mati Tambahan

	Komponen	Beban	
		kg/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>
Plat Lantai	Beban Pasir	16	0,16
	Beban Spesi	63	0,63
	Beban Keramik	24	0,24
	Beban M/E dan Plafon	25	0,25
	Total	128	1,28

Pelan Atap	Waterproofing	5	0,05
	Beban M/E dan Plafon	25	0.25
	Total	30	0,25
Dinding	Bata Ringan	100	1

Sumber : SNI 1727:2020 *Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan dan struktur lain*

## 2. Beban Hidup (Live Load)

Pada program ETABS18, beban hidup (live load) dinotasikan dengan load case 'live'. Perhitungan beban hidup tidak seperti beban mati yang terinput secara otomatis, akan tetapi diinput secara manual dengan memasukkan data sesuai dengan standar dengan acuan dari PPURG 1987. Berikut merupakan data yang perlu dimasukkan secara manual untuk beban hidup berdasarkan PPURG 1987 :

Tabel 3.8 Pembebanan Beban Hidup

Fungsi	Berat
Pelat Lantai	240 kg/m <sup>2</sup>
Pelat Atap	100 kg/m <sup>2</sup>
Kantilever	100 kg/m <sup>2</sup>

Sumber : Peraturan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung (PPURG) tahun 1987

Tabel 3.9 Beban Hidup Terdistribusi Merata Minimum

Fungsi	Beban	
	kg/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>
Ruang Kantor	240	2,4

Sumber : SNI 1727:2020 *Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan dan struktur lain*

## 3. Beban Gempa

Pada perencanaan gedung bertingkat tinggi perlu dilakukan evaluasi dinamik. Seperti pada Gedung 2 ITB Innovation Park Teknopolis dilakukan evaluasi dinamik menggunakan metode Respons Spektrum dan Analisis

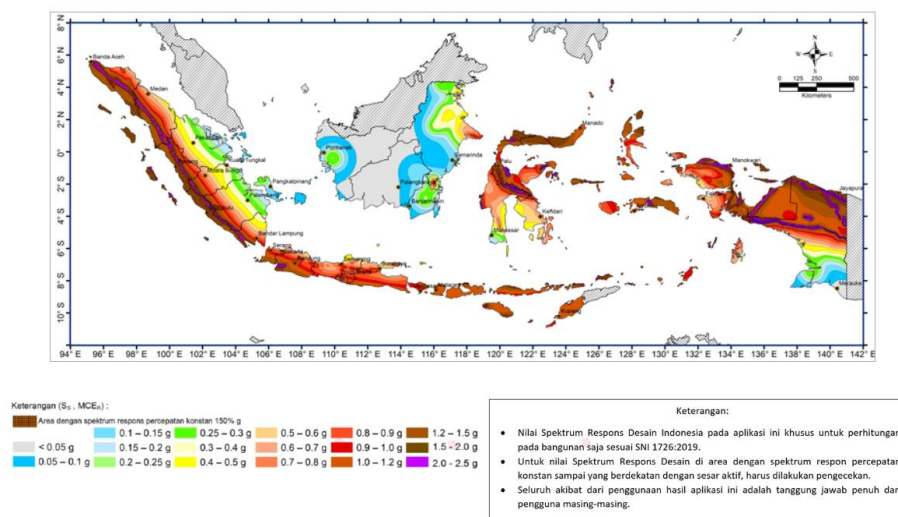
Respon Riwayat Waktu (Time History). Beban gempa yang digunakan sesuai dengan persyaratan dan kriteria berdasarkan SNI 1726:2019 Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung.

#### a. Analisis Respons Spektrum

Langkah pertama yang dilakukan dalam analisis respon spektrum adalah dengan menentukan kategori risiko struktur, parameter percepatan gempa batuan dasar, serta kelas situs tanah berdasarkan karakteristik permukaan tanah. Selanjutnya menentukan parameter dan koefisien situs dengan memperhitungkan respons spectral percepatan gempa maksimum sesuai dengan risiko target (MCER) dan terakhir adalah dengan menentukan respons desain.

Untuk menentukan nilai parameter percepatan gempa batuan dasar pada periode pendek ( $S_{DS}$ ) dan pada periode 1 detik ( $S_{D1}$ ) dapat dilakukan dengan melihat Peta Zonasi Gempa Indonesia yang dapat diakses pada website Departemen Pekerjaan Umum, yaitu :

<https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021>



Gambar 3.5 Peta Zonasi Gempa Indonesia

Sumber : *Desain Spektra Puskim PU*

#### 1. Kategori Resiko Struktur

Struktur Gedung ITB Innovation Park Teknopolis mempunyai fungsi gedung manufacturing industri yang masih berhubungan dengan

sekolah maupun fasilitas pendidikan, sehingga termasuk kedalam kategori resiko III sesuai dengan SNI 1726:2019.

## 2. Faktor Keutamaan Gempa

Faktor keutamaan gempa ditentukan berdasarkan SNI 1726:2019 pada Tabel 2.4 yang disesuaikan dengan kategori resiko struktur. Gedung ITB Innovation Park termasuk kedalam kategori resiko III sehingga memiliki nilai faktor keutamaan sebesar 1,25.

## 3. Koefisien Modifikasi Respon, Faktor Amplifikasi Defleksi, dan Faktor Kuat Lebih

Gedung ITB Innovation Park memiliki ketinggian 52,20 meter sehingga menggunakan sistem strukturnya adalah sistem ganda kombinasi dinding geser beton bertulang khusus dengan nilai R (koefisien modifikasi respon) = 7,  $\Omega_0$  (faktor kuat lebih) = 2,5, dan  $\Omega_0$  (faktor pembesaran defleksi) = 5,5.

## 4. Klasifikasi Situs

Klasifikasi suatu situs bertujuan untuk memberikan kriteria desain seismik berupa faktor-faktor amplifikasi pada bangunan. Dalam perumusan kriteria desain seismik suatu bangunan di permukaan tanah atau penentuan amplifikasi besaran percepatan gempa puncak dari batuan dasar ke permukaan tanah untuk suatu situs, maka situs tersebut harus diklasifikasikan terlebih dahulu. Penetapan kelas situs harus melalui penyelidikan tanah di lapangan dan di laboratorium, yang dilakukan oleh otoritas yang berwenang atau ahli desain geoteknik bersertifikat, dengan minimal mengukur secara independen dua dari tiga parameter tanah dan apabila tanah tidak diketahui maka diambil asumsi dengan kondisi jenis tanah lunak.

Kelas Situs ditentukan berdasarkan hasil penyelidikan tanah pada 30 m lapisan teratas sesuai SNI 1726:2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Gedung dan Non Gedung. Dari laporan hasil penyelidikan tanah untuk semua titik bor pada 30 m lapisan teratas, didapatkan nilai NSPT rata-rata pada rentang  $N < 15$ , sehingga

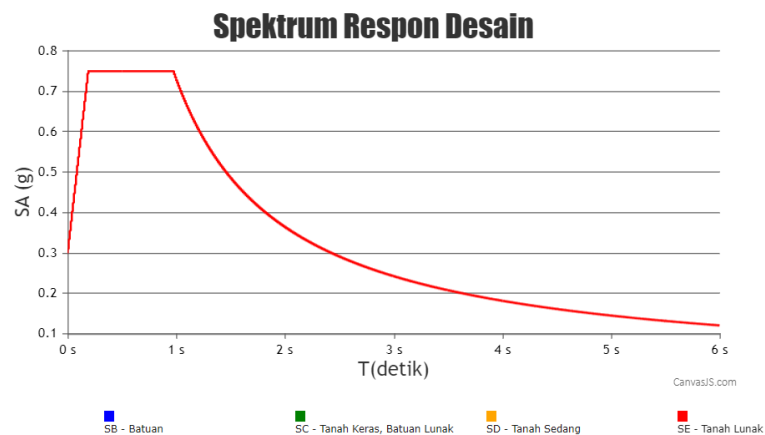
kelas situs Gedung 2 ITB Innovation Park Teknopolis termasuk kedalam jenis tanah lunak (SE).

#### 5. Parameter Percepatan Gempa Batuan Dasar

Parameter percepatan gempa batuan dasar bisa ditentukan melalui grafik respon spektrum desain Puskim PU dengan memberikan nilai yang akurat dan spesifik.

Tabel 3.10 Parameter percepatan spectral desain untuk periode pendek ( $S_{DS}$ ) dan periode 1 detik ( $S_{D1}$ )

$S_S : 1,1209$	$S_1 : 0,4928$
$F_a : 1,0032$	$F_V : 2,2144$
$S_{MS} : 1,1245$	$S_{M1} : 1,0913$
$S_{DS} : 0,75$	$S_{D1} : 0,73$



Gambar 3.6 Grafik Respons Spektra

Sumber : *Desain Spektra Puskim PU*

#### 6. Kategori Desain Seismik

Kategori Desain Seismik ditentukan berdasarkan kategori resiko bangunan dan nilai  $S_{DS}$  dan  $S_{D1}$  yang tertera pada Tabel 2.8 dan Tabel 2.9 yang berdasarkan SNI 1726:2019. Gedung 2 ITB Innovation Park Teknopolis termasuk ke dalam kategori desain seismik D.

##### b. Analisis Respon Riwayat Waktu



Analisis ini menggunakan gaya gempa dengan acuan yang diambil dari percepatan maksimum permukaan tanah (PGA) yang berasal dari setidaknya 3 gerakan tanah yang sudah terjadi. Kemudian percepatan gempa yang dipilih akan disesuaikan dengan melakukan skalasi menggunakan persamaan yang sesuai.

Lokasi Gedung 2 ITB Innovation Park Teknopolis yang berada di Kota Bandung memiliki magnitude sebesar 6,5 – 7,5 dengan rata-rata jarak titik gempa seluas 75 km – 150 km berdasarkan zona potensial sumber seismic, seperti *megathrust* dan sesar. Pengambilan data *time history* pada pergerakan tanah diambil dari website <https://ngawest2.berkeley.edu/> dan website <http://ec2-35-167-122-9.us-west-2.compute.amazonaws.com/>.

Setelah pemodelan struktur selesai, selanjutnya dilakukan running untuk mengetahui kondisi bangunan yang telah dimodelkan sesuai dengan persyaratan keamanan atau tidak dengan melihat visualisasi yang terdapat pada ETABS18. Terdapat beberapa warna yang menunjukkan tingkat kekuatan dalam menahan beban.

Jika terdapat warna merah berarti tidak mencapai tingkat kekuatan untuk menahan beban dan harus dilakukan pengecekan ulang terhadap dimensi elemen struktur. Secara ideal, warna yang mencapai tingkat kekuatan pada elemen struktur adalah dari rentang warna biru hingga kuning. Ketika kondisi sudah ideal, maka pemodelan dapat dilanjutkan pada analisis respons spektrum dan riwayat waktu.

### **3.5 Analisis Data**

#### **3.5.1 Analisis Dinamik Respons Spektrum**

Metode analisis dinamik respons spektrum dengan menggunakan program ETABS18 bertujuan untuk mendapatkan nilai gaya geser dasar dan simpangan. Tahapan perhitungan analisis respons spektrum yaitu :

1. Analisis static untuk mendapatkan prategang dibawah gravitasi, yang merupakan kondisi dengan beban struktur saat tidak terjadi gempa bumi.
2. Analisis modal untuk menentukan mode getar utama struktur dan frekuensi.
3. Analisis spektrum respons titik tunggal untuk menghasilkan gaya geser dasar yang bekerja pada struktur gedung.

4. Modal ekspansi untuk menggabungkan sumbangan dari setiap mode getar terhadap respons total struktur.
5. Kombinasi modal, menggabungkan respons struktur dari beberapa metode getar yang terlibat dengan menggunakan kombinasi linear tertentu.
6. Hasil pasca pemrosesan, melakukan analisis terhadap simpangan dan gaya geser pada elemen struktur.

### 3.5.2 Kontrol Desain

#### a. Kontrol Gaya Geser Dasar

Kontrol ini bertujuan untuk mengecek dan mengevaluasi beban gempa yang akan dimasukkan dalam program ETABS18 berupa grafik respons spektrum dengan wilayah Kota Bandung serta kondisi jenis tanah lunak (SE). Terdapat faktor skala yang digunakan untuk mendefinisikan beban gempa berdasarkan SNI 1726:2019, berikut persamaan yang digunakan dalam perhitungan faktor skala :

$$F = \frac{gI}{R}$$

Dimana :

$I$  = Faktor keutamaan gempa

$g$  = Besaran gravitasi ( $9,81 \text{ m/s}^2$ )

$R$  = Koefisien modifikasi respons

Untuk kontrol gaya geser dasar digunakan persamaan berikut ini :

$$V_{dinamik} \geq V_{statik}$$

Apabila tidak memenuhi persamaan tersebut, maka digunakan persamaan sebagai berikut :

$$x = \frac{V_{statik}}{V_{dinamik}}$$

Dimana :

$V_{dinamik}$  = gaya geser hasil analisis respons spektrum

$V_{statik}$  = gaya geser hasil perhitungan secara manual

Nilai gaya geser statik dapat dicari dengan menggunakan persamaan :

$$V = C_s \cdot W$$

Dimana :

$C_s$  = Koefisien respons seismik

$W$  = Berat seismik aktif (berat bangunan keseluruhan)

Untuk mendapatkan nilai koefisien respon seismik ditentukan menggunakan persamaan berikut :

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

Dimana :

$S_{DS}$  = Parameter percepatan respon spectral periode pendek

$R$  = Faktor modifikasi respons

$I_e$  = Faktor keutamaan gempa

b. Simpangan Antar Tingkat

Berdasarkan SNI 1726:2016 simpangan antar tingkat ( $\Delta$ ) tidak boleh melebihi simpangan izin antar tingkat. Berikut merupakan persamaan mengenai batasan simpangan antar tingkat :

$$\delta_x = \frac{C_d \cdot \delta_{xe}}{I_e} \leq \Delta_a$$

Dimana :

$C_d$  = Faktor pembesaran defleksi

$I_e$  = Faktor keutamaan gempa

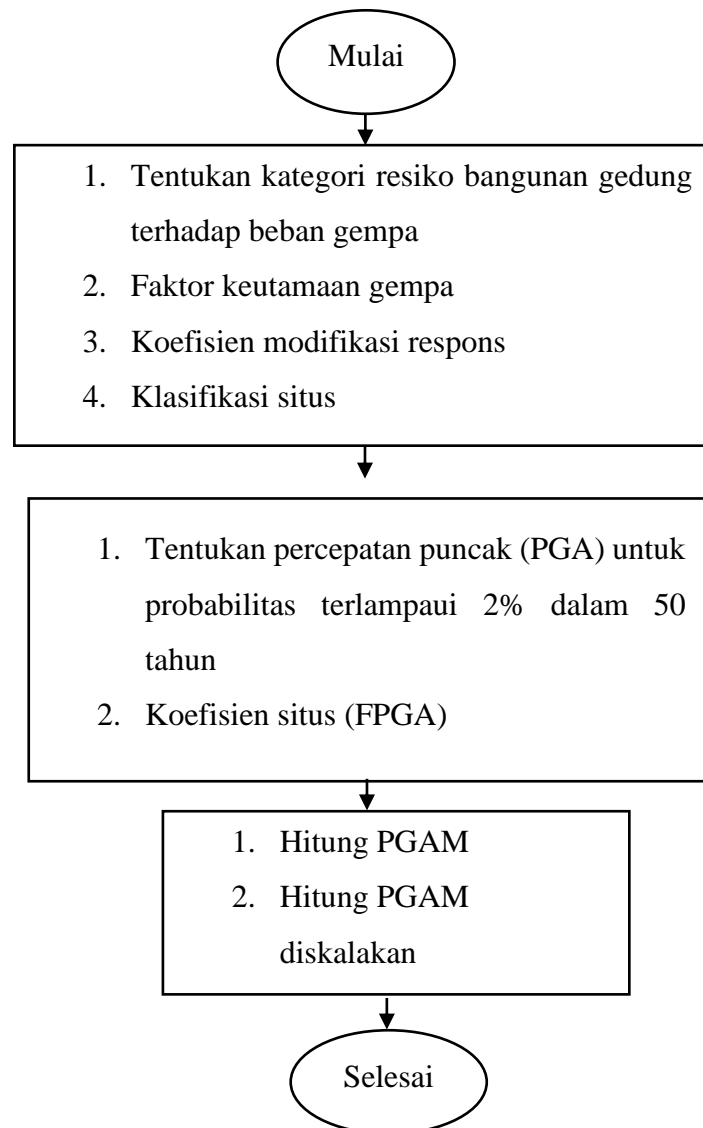
$\delta_{xe}$  = Simpangan di tingkat -x

$\Delta_a$  = Simpangan antar tingkat izin

### 3.5.3 Analisis Dinamik Riwayat Waktu (*Time History*)

Tahap selanjutnya setelah menghitung beban gempa serta mendapatkan beban respons spectral yaitu melakukan analisis riwayat waktu dengan program ETABS18. Analisis riwayat waktu bertujuan untuk mendapatkan simpangan antar lantai (*story drift*) dan perpindahan (*displacement*).

Berdasarkan ATC-40, tingkat kinerja suatu struktur ditentukan oleh nilai maksimum total *drift* yaitu rasio perpindahan lateral pada lantai atap ( $\Delta_{Roof}$ ) terhadap tinggi total struktur (H) atau  $\Delta_{Roof}/H$ .



Gambar 3.7 Tahapan analisis riwayat waktu

### 3.5.4 Evaluasi Kinerja Struktur

#### a. Kinerja Batas Layan

Kinerja batas layan membatasi simpangan lateral atau *drift* antar tingkat pada arah X atau arah Y sebagai berikut :

$$\Delta_i \leq \Delta_{izin}$$

Untuk nilai simpangan izin antar tingkat adalah :

$$\Delta_{izin} = \frac{0.03}{R} \Delta H$$

Dimana :

$\Delta i$  = Simpangan lateral antar tingkat pada arah X atau Y

$\Delta izin$  = Simpangan lateral izin antar tingkat pada arah X atau Y

$R$  = Koefisien modifikasi respon arah X atau Y

$\Delta H$  = Tinggi Tingkat

b. Kinerja Bayas Ultimit

Simpangan antar tingkat dihitung dari simpangan struktur gedung akibat pembebanan gempa nominal, dikalikan dengan suatu faktor pengali ( $\xi$ ) sebagai berikut :

Untuk struktur gedung beraturan dihitung dengan persamaa :

$$\xi = 0,7 R$$

Untuk struktur gedung tidak beraturan dihtung dengan persamaan :

$$\xi = \frac{0,7}{\text{Faktor Skala}}$$

Dimana

Faktor Skala :  $\frac{V}{V_t} \geq 1$

Tidak melewati simpangan izinya, dimana simpangan izinnya adalah :

$$(\xi \times \Delta i) \leq (0,02 \times \Delta H)$$

c. Kinerja Struktur ATC-40

Evaluasi level kinerja (*performance level*) struktur berdasarkan ATC-40 didasari pada nilai maksimum total rasio simpangan struktur pada lantai atap saat titik kinerja tercapai, yang dibagi dengan tinggi total struktur.