

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Standar Perencanaan

Tahap analisis dan perencanaan merupakan langkah krusial dalam proses pembangunan gedung bertingkat tinggi. Langkah-langkah ini bertujuan untuk memastikan bahwa struktur bangunan tidak hanya kuat, tetapi juga aman, sehingga pada akhirnya dapat memberikan kenyamanan bagi penghuninya. Perencanaan yang baik dan matang dapat menghindarkan terjadinya kecelakaan yang disebabkan oleh kegagalan struktural (Guci et al. , 2021).

Berikut adalah beberapa peraturan dan pedoman SNI yang digunakan dalam perencanaan gedung bertingkat tinggi:

1. Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung SNI 1727-2020
2. SNI 1726-2019 yang membahas Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.
3. SNI 1847-2020 yang mengatur Perencanaan Struktur Beton Bertulang pada Bangunan Gedung.
4. SNI 2847-2019 yang menetapkan Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung.
5. SNI 2847-2019 yang juga membahas Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung.

Dengan mengikuti peraturan dan pedoman tersebut, diharapkan pembangunan gedung bertingkat tinggi dapat dilakukan secara optimal, memastikan keselamatan dan kenyamanan bagi semua penghuninya.

2.2 Perubahan Desain

Redesain, yang merupakan perubahan bentuk asli, dilakukan untuk mencegah terjadinya penjiplakan dan menghargai karya asli tersebut. Dalam Laporan Tugas Akhir ini, kami melakukan modifikasi desain pada Gedung Proyek Pembangunan Kampus Universitas Nahdatul Ulama di Yogyakarta dengan rincian perubahan sebagai berikut:

1. Mengubah pondasi pancang menjadi pondasi borepile.
2. Melakukan perubahan dimensi pada struktur balok dan kolom.

2.3 Pembebanan Struktur

Mematuhi peraturan yang berlaku dalam perencanaan bangunan gedung tinggi merupakan hal yang sangat penting. Hal ini bertujuan agar struktur bangunan yang akan dibangun mampu menahan berbagai beban, seperti beban mati, beban hidup, serta beban angin, yang dapat mempengaruhi stabilitas gedung itu sendiri (Tugiono, 2021).

2.3.1 Beban Mati (D)

Beban mati adalah beban yang selalu ada dan tetap pada struktur bangunan, tanpa memperhitungkan perubahan atau dinamika yang mungkin terjadi. Beban ini mencakup berat dari struktur itu sendiri serta elemen-elemen tetap lainnya seperti dinding, lantai, atap, kolom, peralatan tetap, dan bahan bangunan lain. Dalam jangka waktu pendek, beban mati tidak mengalami perubahan yang signifikan dan umumnya dianggap sebagai beban yang stabil selama masa pemakaian bangunan (SNI 1727, 2020).

Tabel 2. 1 Berat Sendiri Bahan Bangunan

Bahan Bangunan	Berat
Baja	7850 kg/m ³
Batu alam	2600 kg/m ³
Batu belah, batu bulat, batu gunung (berat tumpuk)	1500 kg/m ³
Batu karang (berat tumpuk)	700 kg/m ³

Batu pecah	1450 kg/m ³
Besi tuang	7250 kg/m ³
Beton (¹)	2200 kg/m ³
Beton bertulang (²)	2400 kg/m ³
Kayu (kelas 1) (³)	1000 kg/m ³
Kerikil, koral (kering udara sampai lembab, tanpa diayak)	1650 kg/m ³
Pasangan bata merah	1700 kg/m ³
Pasangan batu belah, batu bulat, batu gunung	2200 kg/m ³
Bahan Bangunan	Berat
Pasangan batu cetak	2200 kg/m ³
Pasangan batu karang	1450 kg/m ³
Pasir (kering udara sampai lembab)	1600 kg/m ³
Pasir (jenuh air)	1800 kg/m ³
Pasir kerikil, koral (kering udara sampai lembab)	1850 kg/m ³
Tanah, lempung dan lanau (kering udara sampai lembab)	1700 kg/m ³
Tanah, lempung dan lanau (basah)	2000 kg/m ³
Timah hitam (timbel)	11400 kg/m ³

Sumber : (SNI 1727, 2020)

Tabel 2. 2 Berat Sendiri Komponen Gedung

Komponen Gedung	Berat
Adukan per cm tebal	
- Dari semen	21 kg/m ²
- Dari kapur, semen merah atau tras	17 kg/m ²
Aspal, termasuk bahan-bahan mineral penambah,	14 kg/m ²

per cm tebal	
Dinding pasangan bata merah	
- Satu batu	400 kg/m ²
- Setengah batu	250 kg/m ²
Dinding pasangan batako	
Berlubang	
- Tebal dinding 20 cm (HB 20)	200 kg/m ²
- Tebal dinding 10 cm (HB 10)	120 kg/m ²
Tanpa lubang	
- Tebal dinding 15 cm	300 kg/m ²
Komponen Gedung	Berat
- Tebal dinding 10 cm	200 kg/m ²
Langit-langit dan dinding (termasuk rusuk-rusuknya, tanpa penggantung langit-langit atau pengaku) terdiri dari:	
- Semen asbes (eternity dan bahan lain sejenis) dengan tebal maksimum 4 mm	11 kg/m ²
- Kaca dengan tebal 3 – 4 mm	10 kg/m ²
Lantai kayu sederhana dengan balok kayu, tanpa langit-langit dengan bentang maksimum 5 m dan untuk beban hidup maksimum 200 kg/m ²	40 kg/m ²
Penggantung langit-langit (dari kayu), dengan bentang maksimum 5 m dan jarak s.k.s. minimum 0,80 m	7 kg/m ²
Penutup atap genteng dengan reng usuk/kaso, per m ² bidang atap	50 kg/m ²
Penutup atap sirap dengan reng usuk/kaso, per m ² bidang atap	40 kg/m ²

Penutup atap seng gelombang (BWG 24) tanpa gordeng	10 kg/m ²
Penutup lantai dari ubin semen Portland, teraso dan beton, tanpa adukan per cm tebal	24 kg/m ²
Semen asbes gelombang (tebal 5 mm)	11 kg/m ²

Sumber : (SNI 1727, 2020)

2.3.2 Beban Hidup (L)

Beban hidup merujuk pada beban yang dapat berubah atau bervariasi seiring waktu pada suatu struktur bangunan. Beban ini mencakup berat benda-benda atau aktivitas yang bersifat sementara atau tidak permanen di atas struktur tersebut. Contoh-contohnya meliputi berat manusia, perabotan, peralatan, kendaraan, dan semua elemen yang dapat berpindah atau diubah posisinya (SNI 1727, 2020).

Tabel 2. 3 Koefisien Reduksi Beban Hidup

Pergunaan Gedung	Koefisien Reduksi Beban Hidup	
	Perencanaan Balok	Untuk Peninjauan Gempa
Perumahan/Penghunian	0,75	0,30
Pendidikan	0,90	0,50
Pertemuan Umum	0,90	0,50
Kantor	0,60	0,30
Perdagangan	0,80	0,80
Penyimpanan	0,80	0,80
Industri	1,00	0,90
Tempat Kendaraan	0,90	0,50

Gang dan Tangga		
- Perumahan/ Penghunian	0,75	0,30
- Pendidikan, Kantor	0,75	0,50
- Pertemuan Umum, Perdagangan Penyimpanan, Industri, Tempat Kendaraan	0,90	0,50

Sumber : (SNI 1727, 2020)

2.3.3 Beban Angin (W)

Beban angin merupakan gaya atau tekanan yang dihasilkan oleh angin yang memengaruhi struktur bangunan atau objek lainnya di luar ruangan. Perlu dicatat bahwa beban angin ini bervariasi tergantung lokasi di mana bangunan tersebut didirikan (Doni, 2021).

Tabel 2. 4 Faktor Arah Angin K_d

Tipe struktur	Faktor arah angin K_d
Bangunan gedung	
Sistem Penahan Gaya Angin Utama (SPGAU)	0,85
Komponen dan Klading (K&K)	0,85
Atap lengkung	0,85
Kubah berbentuk bundar	1,0 ^a
Cerobong, tangki, dan struktur serupa	
Persegi	0,90
Segi enam	0,95
Segi delapan	1,0 ^a
Bundar	1,0 ^a
Dinding solid yang berdiri bebas, peralatan bagian atap, dan panel petunjuk solid yang berdiri bebas	0,85

serta panel petunjuk terikat	
Panel petunjuk terbuka dan rangka terbuka bidang tunggal	0,85
Rangka batang menara	
Rangka batang menara	0,85
Semua penampang lainnya	0,95

^aFaktor arah angin $K_d = 0,95$ diizinkan untuk struktur bundar atau struktursegi delapan dengan sistem struktur non-asimetris.

Sumber : (SNI 1727, 2020)

2.3.4 Beban Gempa (E)

Beban gempa merujuk pada gaya atau tekanan yang dihasilkan akibat getaran atau gerakan bumi yang disebabkan oleh suatu gempa bumi. Berbagai faktor memengaruhi beban gempa ini, antara lain kekuatan gempa, jarak dari pusat gempa, karakteristik tanah di wilayah tersebut, serta sifat dari struktur itu sendiri (Arifin dan Sebayang, 2015).

Berikut adalah beberapa langkah dalam menganalisis beban gempa:

1. Menentukan kategori resiko dari jenis pemanfaatan gedung yang akan direncanakan.

Tabel 2. 5 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Nongedung untuk Beban Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:	
- Bangunan-bangunan monumental	
- Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan	
- Rumah ibadah	

- Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat	IV
- Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat	
- Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya	
- Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat	
- Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat	
- Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat	
Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV	

Sumber : (SNI 1726, 2019)

2. Menentukan faktor keutamaan gempa.

Tabel 2. 6 Faktor Keutamaan Gempa.

Kategori Resiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1,00
III	1,25
IV	1,50

Sumber : (SNI 1726, 2019)

3. Menentukan klasifikasi gempa.

Tabel 2. 7 Klasifikasi Situs

Kelas Situs	\bar{V} (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_h	\bar{S}_u
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100

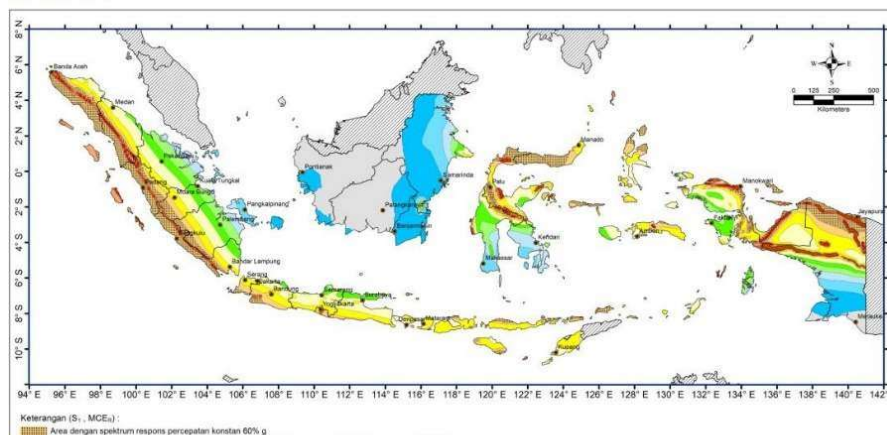
CATATAN: N/A = tidak dapat dipakai

Sumber : (SNI 1726, 2019)

4. Menentukan Nilai Spektral Percepatan S_s dan S_1 .

Dalam SNI 1726-2019 pada tabel 6 dan tabel 7 untuk menentukan S_s (percepatan batuan dasar pada periode pendek) dan S_1 (percepatan batuan dasar

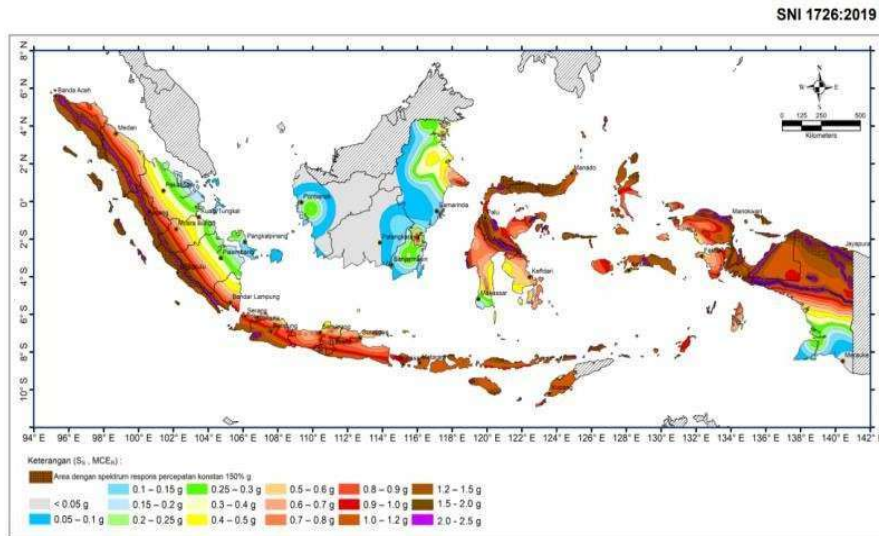
SNI 1726:2019



Gambar 2. 1 Parameter Gerak Tanah

pada periode 1 detik). Dapat dilihat pada Gambar 15 dan Gambar 16 dibawah ini :

SsSumber : (SNI 1726, 2019)



Gambar 2. 2 Parameter Gerak Tanah Ss

Sumber : (SNI 1726, 2019)

5. Menentukan Faktor Amplifikasi Getaran Fa dan Fv.

Mengacu pada SNI 1726-2019, kita dapat menentukan faktor amplifikasi getaran yang berkaitan dengan percepatan untuk getaran dengan periode pendek (Fa) serta faktor amplifikasi yang mewakili percepatan pada getaran dengan periode 1 detik (Fv).

Dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 2. 8 Koefisien Situs, F_a

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

Sumber : (SNI 1726, 2019)

Tabel 2. 9 Koefisien Situs, F_v

Kelas Situs	Parameter respons spectral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-target (MCER) terpetakan pada periodependek, $T = 1$ detik S_I					
	$S_I \leq 0,1$	$S_I = 0,2$	$S_I = 0,3$	$S_I = 0,4$	$S_I = 0,5$	$S_I > 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	SS(a)					

Sumber : (SNI 1726, 2019)

6. Menentukan Parameter Respons Spektral SMS dan SM1.

Dalam SNI 1726-2019, nilai SMS (Parameter respons spectral percepatan pada periode pendek) dan SM1 (Parameter respons spectral percepatan pada periode 1 detik) ditentukan dengan mempertimbangkan nilai koefisien situs F_a dan F_v . Dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$SMS = F_a S_a$$

$$SM1 = F_v S1$$

7. Menentukan Parameter Spektral Desain.

Merujuk pada SNI 1726-2019, kita dapat menentukan nilai parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek (SDS) serta nilai parameter spektral desain untuk periode 1 detik (SD1) dengan menggunakan rumus di bawah ini:

$$SDS = \frac{2}{3} SMS$$

$$SD1 = \frac{2}{3} SM1$$

8. Menentukan Kategori Desain Seismik.

Dalam menentukan kategori desain seismik, kami merujuk pada hasil SDS (Parameter Percepatan Spektral Desain untuk Periode Pendek), SD1 (Parameter Spektral Desain untuk Periode 1 Detik), serta kategori risiko bangunan yang akan direncanakan. Berikut ini disajikan tabel untuk menentukan kategori seismik tersebut:

Tabel 2. 10 Kategori Desain Seismik Berdasarkan SDS

Nilai SDS	Kategori Risiko	
	I, II, 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
-----------------	---	---

Sumber : (SNI 1726, 2019)

Tabel 2. 11 Kategori Desain Seismik Berdasarkan *SDI*

Nilai <i>SSI</i>	Kategori Risiko	
	I, II, III	IV
$SSI < 0,067$	A	A
$0,067 \leq SSI < 0,133$	B	C
$0,133 \leq SSI < 0,20$	C	D
$0,20 \leq SSI$	D	D

Sumber : (SNI 1726, 2019)

9. Menentukan Faktor *R*, *Cd*, dan Ω_0 untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik.

Tabel 2. 12 Faktor *R*, *Cd*, dan Ω_0 untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik

Sistem Pemikul Gaya Seismik	Koefisien Modifikasi Respons, <i>R</i>	Faktor Kuat Lebih Sistem, Ω_0	Faktor Pembesaran Defleksi, <i>Cd</i>	Batasan Sistem Struktur dan Batasan Tinggi Struktur, <i>hn</i> (m)				
				Kategori Desain Seismik				
				B	C	D	E	F
C. Sistem Rangka								
Pemikul Momen								
Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5	TB	TB	TB	TB	TB

Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4	TB	TB	TI	TI	TI
Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2	TB	TI	TI	TI	TI

Catatan:

TA = Tidak Dibatasi

TI = Tidak Diizinkan

Sumber : (SNI 1726, 2019)

10. Menentukan Periode Fundamental Pendekatan.

Mengacu pada SNI 1726-2019 dalam menentukan besar periode fundamental pendekatan (T_n) digunakan persamaan sebagai berikut:

$$T_n = C_t h^x$$

Keterangan :

 h_n = ketinggian struktur (m)

Tabel 2. 13 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x

Tipe Struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana 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 beton pemikul momen	0,0731	0,75
Rangka beton pemikul momen	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

Sumber : (SNI 1726, 2019)

Tabel 2. 14 Koefisien untuk Batas Atas pada Periode yang Dihitung

Parameter Percepatan Respons Spektral Desain pada 1 detik, SDI	Koefisien C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

Sumber : (SNI 1726, 2019)

Jika $T_c > C_u \cdot T_a$, maka gunakan $T = C_u \cdot T_a$ Jika $T_a < T_c < C_u$, maka gunakan $T = T_c$ Jika $T_c < T_a$, maka gunakan $T = T_a$ **Keterangan :**

T_c = Periode fundamental struktur diperoleh dari analisa struktur

T_a = Periode fundamental pendekatan

C_u = Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung

11. Menentukan Gaya Dasar Seismik (V) dan Perhitungan Koefisien Respons Seismik (C_s)

Pada SNI 1726-2019 pasal 7.8.1 dan 7.8.1.1 untuk menentukan gaya dasar seismik dan perhitungan respons seismik menggunakan persamaan berikut:

$$V = C_s \cdot W$$

$$C_s = \frac{SDS}{\left(\frac{R}{I_e}\right)}$$

Keterangan:

C_s = koefisien respons seismik

W = berat seismik efektif

SDS = parameter percepatan respons spektral desain dalam rentang periode pendek

R = koefisien modifikasi respons

I_e = faktor keutamaan gempa

12. Menentukan Gaya Geser Dasar Seismik per lantai (F) Sesuai SNI 1726-2019 Pasal 7.8.3

$$F_x = CVX \cdot V \text{ dan } CVX = \frac{w_x \cdot h^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k}$$

Keterangan:

CVX = faktor distribusi vertikal

V = gaya lateral desain total atau geser didasar struktur

- w_i dan w_x = berat seismik efektif total struktur (W) pada tingkat i atau x
- h_l dan h_x = tinggi bangunan
- k = eksposen yang terkait dengan periode struktur dengan nilai:
- Untuk struktur dengan $T \leq 0,5$ detik, $k = 1$
 - Untuk struktur dengan $T \leq 0,5$ detik, $k = 1$
 - Untuk struktur dengan $0,5 < T < 3,5$ detik, $k = 2$ atau ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2

13. Membuat Respons Spektrum Desain Mengacu SNI 1726-2019 pasal 6.4

- Untuk periode yang lebih kecil dari T_0 , maka respons spektrum percepatan desain (S_a) harus diambil dari persamaan berikut:

$$S_a = SDS (0,4 + 0,6 T/T_0)$$

- Untuk percepatan lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil sama dengan T_s , respons spektrum percepatan desain, S_a , sama dengan SDS.
- Untuk periode lebih besar dari T_s tetapi lebih kecil dari atau sama dengan T_L , respons spektrum percepatan desain, S_a , menggunakan persamaan:

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

- Untuk periode lebih besar dari T_L , respons spektrum percepatan desain, S_a , menggunakan persamaan :

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

Keterangan:

SDS = parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek

$SD1$ = parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1detik

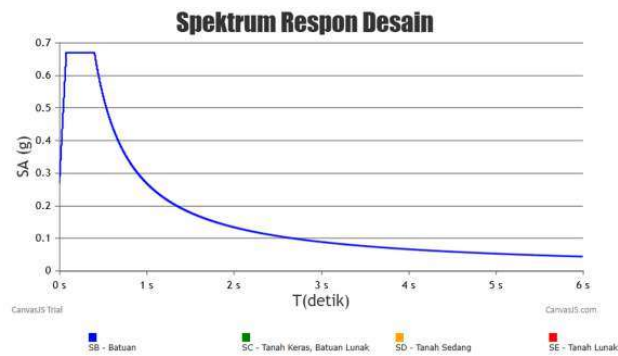
T = periode getar fundamental struktur

$$T_0 = 0,2 \frac{SD_1}{SDS}$$

$$T_s = SD_1/SDS$$

TL = Peta transisi periode Panjang yang ditunjukkan pada Gambar

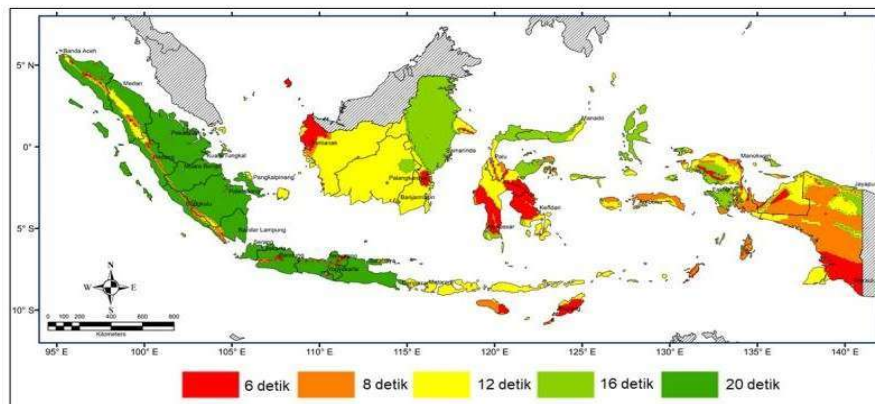
yang nilainya didapat dari Gambar 2.3



Gambar 2. 3 Respons Spektrum Desain

Sumber : (SNI 1726, 2019)

SNI 1726:2019



Gambar 2. 4 Peta Transisi Periode Panjang TL

Sumber : (SNI 1726, 2019)

Analisis beban gempa pada gedung kampus UNU ini mengacu pada SNI 1926-2019 dengan tinjauan lokasi gempa di Kota Yogyakarta. Langkah-langkah dalam perencanaan beban gempa sebagai berikut :

- Kategori resiko bangunan

Berdasarkan dengan SNI 1917-2019 tabel 3, bangunan gedung dengan jenis pemanfaatan gedung kampus UNU termasuk dalam kategori resiko III.

- Faktor keutamaan gempa

Berdasarkan SNI 1726-2019 tabel 4 bangunan gedung dengan kategori resiko III faktor keutamaan gempa I_e sebesar 1,25.

- Mendefinisikan klasifikasi situs dengan hasil uji SPT (*standar penetration test*). Lokasi data tanah di daerah Tembalang, Kota Yogyakarta.

Berdasarkan klasifikasi situs SNI 1726-2019 tabel 5, dapat diketahui bahwa

Tabel 4. 1 Rekapitulasi nilai SPT

NO	KEDALAMAN	T (m)	N (SPT)	N' T/N
1	0 - 2	2	3	0,666667
2	2 - 4	2	13	0,153846
3	4 - 6	2	37	0,054054
4	6 - 8	2	45	0,044444
5	8 - 10	2	60	0,033333
6	10 - 12	2	60	0,033333
7	12 - 14	2	60	0,033333
8	14 - 16	2	41	0,04878
9	16 - 18	2	47	0,042553

10	18 - 20	2	60	0,033333
11	20 - 22	2	60	0,033333
12	22 - 24	2	60	0,033333
JUMLAH		24	546	1,210345
		ΣN	19,82906	

(Sumber : Hasil analisis penulis, 2026)

$$N_{rata-rata} = \frac{\Sigma T}{\Sigma(\frac{T}{N})} = \frac{24}{1,210} = 19,83$$

Berdasarkan klasifikasi situs (SNI 1726-2019 tabel 5), dapat diketahui dengan nilai 19,83 termasuk dalam kategori tanah sedang (SD).

Tabel 4. 2 Klasifikasi Situs

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

(Sumber : SNI 1726-2019 tabel 5)

Parameter percepatan gempa (S_s dan S_1) dapat dicari pada SNI 1926-2019 gambar 15 dan 16 atau melalui website www.rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/ untuk wilayah Kota Semarang memiliki nilai $S_s = 1,311$ g dan $S_1 = 0,510$ g.

Results: Tabel dibawah ini merupakan Parameter untuk membuat Grafik Desain Spektra Indonesia:

Kelas	SBC - Batuan	T_0 (detik)	T_s (detik)	S_{d1} (g)	S_{d3} (g)
Rentang (T_s)	Value: 6	0.08	0.46	0.67	0.27
PGA MCEG	0.4903 (g) bedrock				
S_0 MCEG	1.1070 (g) bedrock				
S_1 MCEG	0.3079 (g) bedrock				
TL	6 Detik				

Save

Berdasar parameter percepatan gempa, koefisien situs (F_a dan F_s) dapat ditentukan berdasarkan SNI 1726-2019 tabel 6 dan 7.

Tabel 4. 3 Koef situs, F_a

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

Nilai S_s didapat 1,311 g berada diantara 0,75 dan 1,0 dengan klasifikasi SD (tanah sedang), sehingga diperlukan interpolasi untuk mendapatkan nilai F_a .

Nilai S_s hasil tabel : 0,75 dan 1

Nilai kelas situs : SD

2.4 Kombinasi Pembebanan

Menurut SNI 1726-2019 pasal 4.2.2 rencana desain untuk struktur, komponen struktur, dan elemen fondasi harus cukup kuat untuk menahan atau bahkan

melebihi pengaruh dari beban-beban terfaktor dan kombinasi-kombinasinya seperti yang tercantum di bawah ini.

Keterangan:

- DL = beban mati yang diakibatkan dari beban yang permanen
- LL = beban hidup yang muncul akibat penggunaan gedung
- L_r = beban hidup di atap terjadi ketika ada aktivitas perawatan oleh pekerja, penggunaan peralatan, dan penggunaan rutin oleh orang-orang dan benda-benda yang bergerak.
- R = beban hujan, tidak mencakup beban yang disebabkan oleh genangan air.
- W = beban angin
- E = beban gempa

2.5 Elemen Struktur

Elemen struktur adalah komponen dasar yang membentuk suatu bangunan atau konstruksi. Setiap struktur terdiri dari beragam elemen struktural yang berperan secara sinergis, untuk memastikan kekuatan, stabilitas, dan fungsi keseluruhan yang optimal. Berikut beberapa jenis elemen struktur, yaitu sebagai berikut :

2.5.1 Pelat

Plat lantai adalah elemen datar dalam suatu struktur bangunan yang mampu menopang beban vertikal dan mendistribusikannya ke elemen struktural lainnya. Plat lantai umumnya berfungsi sebagai lantai pada setiap tingkat bangunan dan juga bisa berlaku sebagai langit-langit untuk lantai di bawahnya (Tugiono, 2021).

Plat lantai satu arah dan dua arah adalah dua pendekatan yang berbeda dalam merancang elemen struktural pada bangunan. Plat lantai satu arah dirancang khusus untuk menanggung beban yang diterapkan hanya dalam satu arah, sehingga beban tersebut mengalir sepanjang sumbu tertentu. Dalam desain ini,

biasanya diperlukan balok pengalih yang berfungsi membagi beban dari plat ke balok atau dinding pendukung di bawahnya. Plat lantai satu arah umumnya digunakan pada struktur yang memiliki bentuk panjang atau asimetris.

Dalam situasi lain, plat lantai dua arah digunakan untuk membuat beban pada dua arah yang selalu tegak lurus. Dengan kata lain, beban yang diterapkan pada plat ini dapat memisahkan kedua sumbu. Kemampuan untuk mendistribusikan beban secara efektif ke berbagai area membuat distribusi beban pada plat lantai dua arah cenderung lebih merata. Desain ini seringkali ideal untuk bangunan dengan bentuk yang lebih simetris dan kemampuan untuk mengurangi kebutuhan balok pengalih. Karena itu, plat lantai dua arah sering diterapkan pada gedung bertingkat dan struktur yang lebih kompleks .

Adapun beberapa hal yang dapat diperhatikan dalam menentukan dimensi pelat lantai:

Penentuan Dimensi PELAT LANTAI

1. Jenis Pelat

- Pelat satu arah → beban dominan satu arah
- Pelat dua arah → beban dua arah

2. Tebal Minimum Pelat

Pelat satu arah:

$$h_{min} = \frac{L}{20} \text{ (sederhana)}$$

Pelat dua arah (SNI 8.3.1.2):

Tergantung rasio kekakuan balok:

$$h_{min} = \frac{L_n}{\beta}$$

Dimana:

- L_n = bentang bersih
- β = fungsi rasio kekakuan balok–pelat

Ketentuan ini berasal dari kontrol lendutan pelat

3. Momen Pelat

Pelat dihitung berdasarkan:

$$M = \frac{wL^2}{k}$$

Dengan:

- w = beban merata
- k = koefisien (tergantung sistem pelat)

4. Tulangan Pelat

$$A_s = \frac{M_u}{\phi f_{yz}}$$

2.5.2 Balok

Balok adalah elemen struktural yang berbentuk panjang dan memanjang dalam arah horizontal. Fungsinya adalah untuk menopang beban vertikal dari atas, seperti beban lantai, atap, dan beban hidup lainnya, serta mendistribusikannya ke titik-titik pendukung atau kolom di bawahnya (Tugiono, 2021).

Pada SNI 2847-2019 pasal 18.6.2 balok harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:

- a) Bentang bersih (l_n) $\geq 4d$.
 - b) Lebar penampang (b_w), harus sekurangnya nilai terkecil dari $0,3h$ dan 250mm .
 - c) Proyeksi lebar balok yang melampaui lebar kolom penumpu tidak boleh melebihi nilai terkecil dari c_2 dan $0,75c_1$ pada masing-masing sisi kolom
- Adapun beberapa hal yang dapat diperhatikan dalam menentukan dimensi balok:

1. Dimensi Awal (Preliminary Design)

Menurut SNI 2847:2019 (Pasal 9 & 18), tinggi minimum balok dapat ditentukan berdasarkan rasio bentang:

Rumus tinggi minimum balok

$$h_{\min} = \frac{L}{\alpha}$$

Dengan:

- L = bentang balok (mm)
- α tergantung kondisi tumpuan:
 - Sederhana: 16
 - 1 ujung menerus: 18,5
 - 2 ujung menerus: 21

Ketentuan ini digunakan untuk mengontrol lendutan awal

2. Lebar Balok

Menurut SNI:

$$b \geq \max(0.3h, 250 \text{ mm})$$

Lebar minimum balok = 250 mm

3. Kuat Lentur Balok

Balok didesain berdasarkan momen ultimit:

Rumus dasar:

$$\phi M_n \geq M_u$$

Dengan:

- M_u = momen terfaktor
- M_n = kapasitas nominal
- ϕ = faktor reduksi ($\approx 0,9$ untuk lentur)

Momen nominal:

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

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f'_c b}$$

2.5.3 Kolom

Kolom adalah elemen struktural yang berbentuk vertikal dan berfungsi sebagai penahan beban vertikal dari atasnya, serta mendistribusikannya ke elemen struktural yang lebih rendah seperti pondasi (Tugiono, 2021).

Mengacu pada SNI 2847-2019 pasal 15.7.2 harus memenuhi dua ketentuan yaitu:

- a) Dimensi penampang terkecil tidak kurang dari 300mm
- b) Rasio dimensi penampang terkecil (b/h) tidak kurang dari 0,4

Adapun beberapa hal yang dapat diperhatikan dalam menentukan dimensi kolom

1. Dimensi Minimum

Menurut SNI 2847:2019 Pasal 18:

- Dimensi minimum kolom:

$$b_{min} \geq 300 \text{ mm}$$

- Rasio dimensi:

$$\frac{b_{min}}{h} \geq 0,4$$

Ini untuk menjamin stabilitas dan kapasitas tekan

2. Kapasitas Kolom (Tekan + Lentur)

Rumus gaya aksial:

$$\phi P_n \geq P_u$$

$$P_n = 0,85 f'_c (A_g - A_s) + f_y A_s$$

Dengan:

5. P_u = beban aksial terfaktor
6. A_g = luas penampang total
7. A_s = luas tulangan

3. Interaksi Kolom

Kolom didesain dengan diagram interaksi:

$$\frac{P_u}{\phi P_n} + \frac{M_u}{\phi M_n} \leq 1$$

4. Prinsip Desain

- Kolom harus lebih kuat dari balok (strong column–weak beam)

- Penting untuk ketahanan gempa

2.5.4 Pondasi

Pondasi adalah bagian penting dari sebuah struktur bangunan yang bertanggung jawab untuk mendukung dan mentransfer beban dari bangunan ke tanah di bawahnya. Fungsi utama pondasi adalah untuk menyebarkan beban struktur secara merata ke tanah yang mampu menopang beban tersebut. Pondasi juga membantu mencegah pergeseran, penurunan, dan keruntuhan struktur akibat deformasi tanah atau beban eksternal (Rizaludin et al., 2020).

Menurut (Nurul Fadilah et al., 2018) pondasi bore pile memiliki beberapa keuntungan yaitu:

1. Pemasangan tidak menimbulkan gangguan suara serta getaran yang dapat mengganggu dan membahayakan bangunan sekitarnya.
2. Dapat mengurangi kebutuhan beton dan tulangan *dowel* pada pelat penutup tiang (*pile cap*). Kolom dapat secara langsung di letakkan di puncak tiang bor.
3. Kedalaman tiang dapat divariasikan.
4. Tanah dapat diperiksa dan dicocokkan dengan data laboratorium.
5. Tiang bor dapat dipasang menembus batuan, sedangkan tiang pancang akan kesulitan jika pemancangan menembus lapisan batu.
6. Diameter tiang memungkinkan dibuat besar, bila perlu ujung bawah tiang dibuat lebih besar guna mempertinggi kapasitas dukungnya.
7. Tidak ada resiko kenaikan muka tanah.
8. Penulangan tidak dipengaruhi oleh tegangan pada waktu pengangkutan dan pemancangan.

Adapun beberapa hal yang dapat diperhatikan dalam menentukan dimensi Pondasi

DIMENSI PONDASI (SNI Pasal 13)

1. Luas Pondasi

$$A = \frac{P}{q_{izin}}$$

Dimana:

- P = beban total (service load)
- q_{izin} = daya dukung tanah

Sesuai Pasal 13.3:

- Menggunakan beban tidak terfaktor (service)

2. Tebal Pondasi

- Minimum:

$$d \geq 150 \text{ mm}$$

3. Geser Pondasi

- Geser satu arah:

$$V_u \leq \phi V_c$$

- Geser punching:

$$V_u \leq \phi V_{c,punch}$$

2.6 Perencanaan Berdasarkan BIM

BIM, atau *Building Information Modeling*, adalah suatu pendekatan dalam rekayasa dan konstruksi yang melibatkan penggunaan model digital terperinci untuk merancang, membangun, dan mengelola infrastruktur fisik seperti bangunan, jembatan, dan fasilitas lainnya. BIM tidak saja mencakup aspek visual atau geometris, namun juga dapat menggabungkan data dan informasi yang terkait dengan elemen-elemen struktural dalam model.

Cakupan integritas bim yaitu sebagai berikut:

1. BIM 3D-Dimensi Geometri

Ini adalah model bangunan digital yang mencakup informasi mengenai bentuk, struktur, dan geometri fisik dari bangunan atau proyek konstruksi. Ini dapat membantu para profesional BIM dalam merancang, memvisualisasikan, dan berkolaborasi dalam lingkungan virtual.

2. BIM 4D-Dimensi Waktu

BIM 4D mengintegrasikan elemen waktu ke dalam model 3D. Ini memungkinkan pemangku kepentingan untuk membuat jadwal konstruksi yang lebih akurat, memahami berbagai perkembangan tahapan proyek yang akan datang, dan mengidentifikasi potensi konflik jadwal.

3. BIM 5D-Dimensi Biaya

Ini mencakup informasi terkait biaya yang terkait dengan proyek konstruksi. Dengan mengintegrasikan dimensi biaya dalam BIM, para profesional dapat menghitung perkiraan biaya proyek dengan lebih akurat, mengelola anggaran, dan membuat keputusan berdasarkan pertimbangan finansial.

2.7 Software Pendukung

2.7.1 SAP2000

SAP2000 adalah perangkat lunak analisis struktural dan desain yang sangat populer yang digunakan dalam rekayasa sipil dan perancangan struktur. Nama "SAP" pada SAP2000 awalnya adalah singkatan dari "Structural Analysis Program" (Program Analisis Struktural), yang kemudian berkembang menjadi perangkat lunak yang kuat dan komprehensif untuk analisis dan desain struktur (Fansuri et al., 2021).

2.7.2 Tekla Structure

Tekla Structures adalah perangkat lunak BIM (*Building Information Modeling*) tingkat lanjut yang dirancang untuk mendukung alur kerja konstruksi yang presisi, mulai dari fase desain konseptual hingga fabrikasi dan konstruksi di lapangan. Perangkat lunak ini dikembangkan oleh Trimble dan menjadi standar industri global dalam rekayasa sipil, khususnya untuk pemodelan struktur beton bertulang yang kompleks serta struktur baja, yang memungkinkan deteksi konflik (*clash detection*) secara otomatis (Sacks et al., 2020).

2.7.3 Microsoft Excel

Microsoft Excel Microsoft Excel merupakan perangkat lunak *spreadsheet* yang menjadi instrumen vital dalam pengelolaan data proyek, perhitungan estimasi volume, hingga penyusunan anggaran biaya (*RAB*). Dalam konteks manajemen konstruksi modern, Excel digunakan sebagai basis data yang fleksibel untuk memproses hasil *output* dari model BIM, serta mendukung analisis data statistik dan penjadwalan proyek yang dinamis. Kemampuannya dalam mengolah data kompleks secara efisien menjadikannya alat yang sangat krusial dalam mendukung pengambilan keputusan berbasis data di seluruh tahapan proyek (GhaffarianHoseini et al., 2024).

2.7.4 Ms Project

Microsoft Project merupakan perangkat lunak manajemen proyek yang dirancang untuk membantu manajer proyek dalam mengembangkan rencana, menetapkan sumber daya untuk tugas, melacak kemajuan, mengelola anggaran, serta menganalisis beban kerja. Dalam konteks konstruksi, perangkat lunak ini sangat krusial dalam penyusunan penjadwalan proyek melalui metode *Network Planning* (NWP) atau *Critical Path Method* (CPM), yang memungkinkan identifikasi jalur kritis untuk memastikan durasi proyek tetap optimal. Kemampuan integrasi Microsoft Project dengan model BIM memberikan visibilitas yang lebih baik terhadap ketergantungan antar tugas, sehingga meminimalisir risiko keterlambatan konstruksi di lapangan (Aibinu et al., 2022).