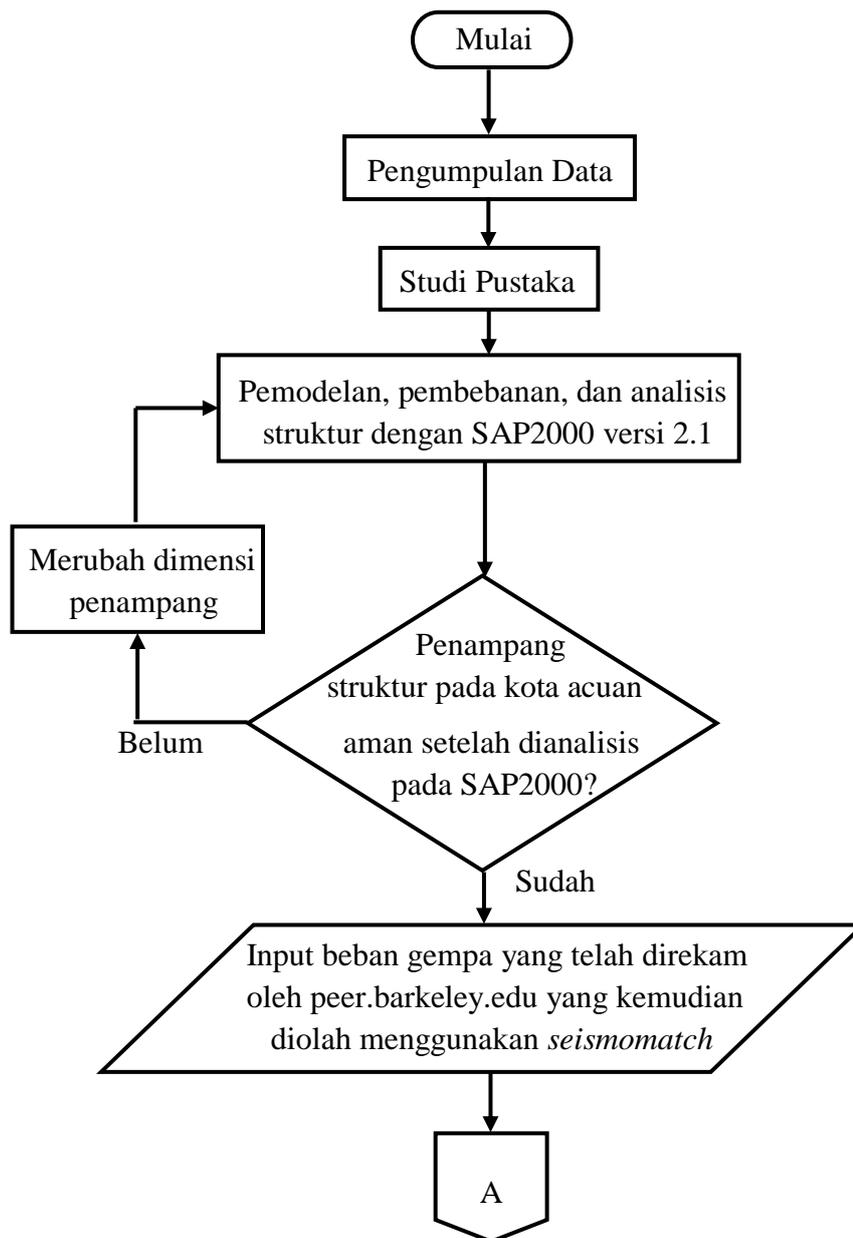


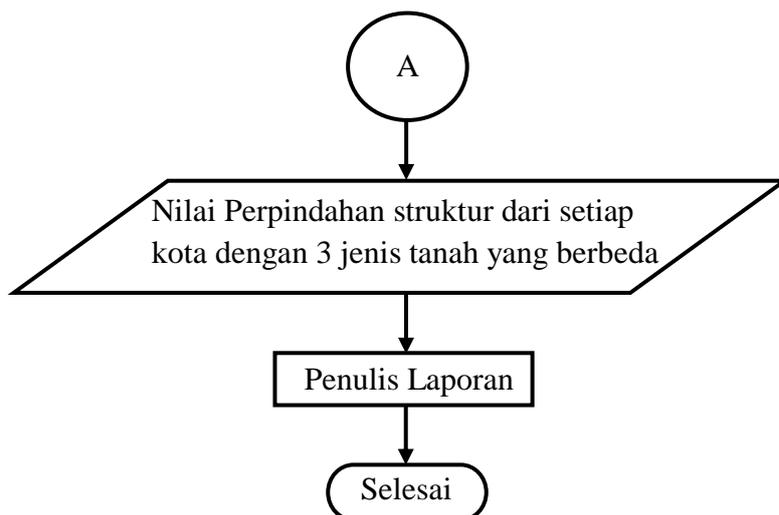
BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Tahap Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan secara sistematis dengan tahapan yang teratur dan jelas guna mendapatkan hasil sesuai dengan yang diharapkan. Tahapan penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut.



Gambar 3.1 *Flowchart* garis besar tahapan penelitian



Gambar 3.2 *Flowchart* garis besar tahapan penelitian (lanjutan)

1. Pengumpulan Data

Data struktur yang digunakan diperoleh dari proyek ketika melakukan kerja praktik di daerah Bantul. Data yang didapatkan berupa gambar rencana proyek meliputi denah, tampak bangunan, potongan, detail balok, dan detail kolom. Data lain yang dikumpulkan yaitu menentukan 99 kota besar di Indonesia dan kemudian mencari nilai S_s (percepatan spektrum respons pendek) dan S_l (percepatan spektrum respons 1 detik) berdasarkan Peta Gempa Indonesia 2017.

2. Studi Pustaka

Studi pustaka dilakukan untuk mencari referensi yang berkaitan dengan penelitian ini, seperti peraturan-peraturan, jurnal, bahkan laporan penelitian. Tahap studi pustaka ini dilakukan pemahaman konsep suatu penelitian sebelumnya yang menggunakan SNI 1726:2012 sebagai acuan dalam penentuan beban gempa, dan juga SNI 1727:2013 sebagai acuan dalam menentukan beban minimum dalam perancangan struktur bangunan, serta dilakukan pemahaman bagi penelitian-penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penelitian ini.

3. Pemodelan dan Pembebanan

Pada tahap ini dilakukan pemodelan menggunakan *software* SAP2000 versi 21 dari gambar kerja yang telah dimiliki. Karena bangunan ini merupakan bangunan tingkat rendah, maka digunakan *joint springs* sebagai tumpuan struktur yang dimodelkan, dengan koefisien *springs* yang berbeda pada setiap kelas situs tanah. Dimensi untuk struktur pada bangunan ini tidak menggunakan dimensi asli

dari proyek karena bangunan ini merupakan bangunan yang berada di daerah Yogyakarta sedangkan diuji coba di Jakarta Pusat sehingga pada analisis strukturnya bangunan dengan dimensi asli terdapat banyak kegagalan struktur. Dimensi struktur yang didapatkan dari tingkat kegagalan yang rendah cukup besar, hal ini bisa juga disebabkan oleh dimensi bangunan yang cukup lebar dan tumpuan *springs* yang digunakan. Pembebanan yang diinput pada model ini meliputi beban mati, beban hidup dan beban gempa sesuai dengan SNI 1726:2012 “Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung” dan SNI 1727:2013 “Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain”. Pemodelan pada penelitian ini mengabaikan beban angin guna mengurangi lingkup penelitian.

4. Nilai Perpindahan Struktur dan Penulisan Laporan

Hasil analisis struktur dari pemodelan pada program SAP2000 didapatkan hasil mentah output perpindahan yang kemudian diolah secara manual menggunakan program Microsoft Excel. Data output yang telah diolah oleh program Microsoft Excel tersebut disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk memudahkan pembaca melihat nilai perpindahan pada setiap kota dengan 3 jenis tanah yang berbeda. Setelah didapatkan hasil perpindahan pada setiap kota maka dilakukan penulisan laporan tugas akhir.

3.2.Data Teknis

Penelitian ini membutuhkan beberapa data teknis seperti lokasi penelitian dan data gedung yang dijelaskan secara detail sebagai berikut.

3.2.1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada 99 kota besar di Indonesia dengan gedung yang sama dan 3 kelas situs tanah yang berbeda. 99 kota besar yang dipilih pada penelitian ini bisa dilihat pada Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1 Daftar 99 Kota Besar di Indonesia

No.	Nama Kota	No.	Nama Kota	No.	Nama Kota
1	Ambon	34	Serang	67	Banda Aceh
2	Banjar	35	Bogor	68	Bandar Lampung
3	Bima	36	Bekasi	69	Bengkulu
4	Cimahi	37	Sukabumi	70	Bondowoso
5	Depok	38	Purwakarta	71	Brebes
6	Fakfak	39	Bandung	72	Bukittinggi
7	Gorontalo	40	Lumajang	73	Cilegon
8	Jakarta Barat	41	Cirebon	74	Dumai
9	Jakarta Pusat	42	Kudus	75	Genteng
10	Jakarta Selatan	43	Tasikmalaya	76	Gunung Sitoli
11	Jakarta Timur	44	Cilacap	77	Jambi
12	Jakarta Utara	45	Purwokerto	78	Lahat
13	Jayapura	46	Magelang	79	Langsa
14	Kendari	47	Semarang	80	Lhokseumawe
15	Kotamobagu	48	Yogyakarta	81	Madiun
16	Kupang	49	Surakarta	82	Medan
17	Makassar	50	Ponorogo	83	Metro
18	Manado	51	Kediri	84	Ngawi
19	Mojokerto	52	Blora	85	Pacitan
20	Palu	53	Malang	86	Padang
21	Pasuruan	54	Surabaya	87	Padang Sidempuan
22	Pemalang	55	Probolinggo	88	Pagar Alam
23	Purwodadi	56	Situbondo	89	Palembang
24	Salatiga	57	Jember	90	Pandeglang
25	Samarinda	58	Banyuwangi	91	Pangkal Pinang
26	Singkang	59	Denpasar	92	Pekanbaru
27	Sorong	60	Pamekasan	93	Pematang Siantar
28	Tangerang	61	Jejara	94	Sungai Penuh
29	Tangerang Selatan	62	Pekalongan	95	Tanjung Pandan
30	Tidore Kepulauan	63	Kebumen	96	Trenggalek
31	Tomohon	64	Tegal	97	Tuban
32	Tual	65	Indramayu	98	Tuluagung
33	Wonosobo	66	Mataram	99	Tutut

3.2.2. Data Gedung

Data gedung ini menggambarkan secara umum gedung yang akan dimodelkan untuk penelitian ini. Berikut merupakan data perencanaan gedung yang digunakan pada penelitian ini.

a. Fungsi Gedung

Gedung 3 lantai dengan tinggi 12.9 meter ini berfungsi sebagai gedung perkantoran pemerintahan.

b. Data Spesifik Gedung

Berikut ini akan dipaparkan data-data gedung seperti dimensi-dimensi elemen struktur serta material yang akan digunakan pada penelitian ini.

1) Mutu Bahan

- a) Mutu beton ($f'c$) = 25 MPa
- b) Modulus elastisitas beton = 23500 MPa
- c) Modulus elastisitas baja = 200000 MPa
- d) Mutu baja tulangan = Tulangan baja > 12 mm = 400 MPa
= Tulangan baja < 12 mm = 240 MPa

2) Dimensi Elemen Struktur

- a) Dimensi kolom yang digunakan:
 - 1) K1 = 820 mm × 820 mm
 - 2) K2 = 700 mm × 700 mm
- b) Dimensi balok yang digunakan:
 - 1) B1 = 650 mm × 700 mm
 - 2) B2 = 250 mm × 450 mm
 - 3) Balok Sloof 1 = 500 mm × 800 mm
 - 4) Balok Sloof 2 = 200 mm × 400 mm
- c) Plat lantai yang digunakan setebal 120 mm

3.3. Penentuan Koefisien Pegas (*Springs*)

Jenis tumpuan pada SAP2000 yang digunakan dalam penelitian ini ialah tumpuan pegas (*joint springs*), tumpuan ini diasumsikan sebagai pondasi telapak yang biasanya digunakan pada bangunan bertingkat rendah. Berikut ini merupakan langkah-langkah untuk mendapatkan nilai koefisien *springs*.

3.3.1. Penentuan nilai SPT

Salah satu data yang digunakan dalam menentukan koefisien pegas ialah nilai SPT (*Standard Penetration Test*) pada setiap kelas situs tanah. Pada penelitian ini nilai SPT didapatkan dari SNI 1726:2012 yang dapat dilihat pada Tabel 2.18.

Dari Tabel 2.18 tersebut didapatkan nilai SPT per kelas situs tanah sebagai berikut.

N_{SPT} SC = 51 (dari Tabel 2.18 ditentukan N_{SPT} untuk tanah SC ialah > 50 , maka diambil N_{SPT} untuk SC sebesar 51, $51 > 50$).

N_{SPT} SD = 32 (dari Tabel 2.18 ditentukan N_{SPT} untuk tanah SD ialah 15-50, maka diambil N_{SPT} untuk SD sebesar 32, $15 < 32 < 50$).

N_{SPT} SE = 14 (dari Tabel 2.18 ditentukan N_{SPT} untuk tanah SE ialah < 15 maka diambil N_{SPT} untuk SE sebesar 14, $14 < 15$)

3.3.2. Penentuan Nilai Daya Dukung Tanah

N_{SPT} pada setiap kelas situs tanah akan digunakan untuk menentukan nilai daya dukung tanah (Q_u). Nilai Q_u dihitung sesuai dengan persamaan 2.21, sehingga menghasilkan nilai Q_u pada setiap kelas situs tanah sebagai berikut.

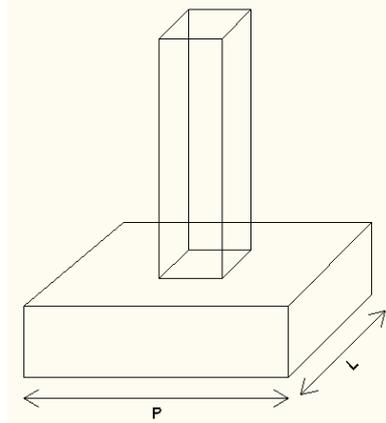
$$\begin{aligned} Q_u \text{ tanah SC} &= 4,5769 \times 51 \\ &= 233,4219 \text{ kg/cm}^2 = 22.890,86876 \text{ kN/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_u \text{ tanah SD} &= 4,5769 \times 32 \\ &= 146,4608 \text{ kg/cm}^2 = 14.362,89804 \text{ kN/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_u \text{ tanah SE} &= 4,5769 \times 14 \\ &= 64,0766 \text{ kg/cm}^2 = 6.283,767894 \text{ kN/cm}^2 \end{aligned}$$

3.3.3. Penentuan Konstanta Pegas Vertikal

Pondasi yang digunakan dalam penelitian ini berbentuk persegi, sehingga dibutuhkan penentuan diameter pondasi guna menentukan konstanta pegasnya. Penentuan diameter pondasi sesuai dengan persamaan 2.22 dan 2.23, dan hasil yang didapatkan sebagai berikut.



Gambar 3.3 Ilustrasi pondasi telapak

$$\begin{aligned} A_p &= 1500 \times 1500 \\ &= 2.250.000 \text{ mm}^2 = 2,25 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D &= \sqrt{(4 \cdot 2250000) \times 3.14} \\ &= 1692,568751 \text{ mm} = 1,6926 \text{ m} \end{aligned}$$

Diameter pondasi yang telah diperoleh kemudian digunakan untuk menentukan konstanta pegas vertikal sesuai dengan persamaan 2.24 sampai dengan 2.26, dan hasil yang diperoleh dari persamaan-persamaan tersebut adalah sebagai berikut.

Diketahui $f'_c = 25 \text{ MPa}$

$$\begin{aligned} E_p &= 4.700 \sqrt{25} \\ &= 23.500 \text{ MPa} = 23.500.000 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Tanah SC

$$\begin{aligned} S &= \frac{1,6926}{100} + \frac{22.890,86876 \cdot 1,5}{2,25 \cdot 23.500.000} \\ &= 0,017575074 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_p &= \frac{22.890,86876}{0,017575074} \\ &= 1.302.462,166 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Tanah SD

$$\begin{aligned} S &= \frac{1,6926}{100} + \frac{14.362,89804 \cdot 1,5}{2,25 \cdot 23.500.000} \\ &= 0,017333146 \text{ m} \end{aligned}$$

$$K_p = \frac{14.362,89804}{0,017333146}$$

$$= 828.637,7077 \text{ kN/m}$$

Tanah SE

$$S = \frac{1,6926}{100} + \frac{6.283.767894 \cdot 1,5}{2,25 \cdot 23.500.000}$$

$$= 0.01710395 \text{ m}$$

$$K_p = \frac{6.283.767894}{0.01710395}$$

$$= 367.386.9333 \text{ kN/m}$$

3.3.4. Konstanta Pegas Horizontal

Konstanta pegas horizontal dapat ditentukan sesuai dengan persamaan 2.27, dan untuk mencari nilai konstanta pegas horizontal tersebut dibutuhkan nilai modulus elastisitas (E) dan *poisson ratio* (ν). Nilai modulus elastisitas dan *poisson ratio* dapat ditentukan berdasarkan Tabel 2.19 dan 2.20.

Nilai modulus elastisitas (E) dan nilai *poisson ratio* (ν) per kelas situs tanah yang telah didapatkan dari Tabel 2.19 dan 2.20 ialah sebagai berikut.

E_{SC} = 90.000 (dari Tabel 2.19 ditentukan nilai modulus elastisitas untuk tanah SC ialah 80.000-200.000, maka diambil E_{SC} sebesar 90.000, $80.000 < 90.000 < 200.000$).

E_{SD} = 60.000 (dari Tabel 2.19 ditentukan nilai modulus elastisitas untuk tanah SD ialah 50.000-100.000, maka diambil E_{SC} sebesar 60.000, $50.000 < 60.000 < 100.000$).

E_{SE} = 40000 (dari Tabel 2.19 ditentukan nilai modulus elastisitas untuk tanah SE ialah 30.000-42.500, maka diambil E_{SE} sebesar 40.000, $30.000 < 40.000 < 42.500$).

ν_{SC} = 0,3 (dari Tabel 2.20 ditentukan nilai *poisson's ratio* untuk tanah SC ialah 0,2-0,4, maka diambil ν_{SC} sebesar 0,3, $0,2 < 0,3 < 0,4$).

ν_{SD} = 0,15 (dari Tabel 2.20 ditentukan nilai *poisson's ratio* untuk tanah SD ialah 0,15 sebagai pasir kasar).

$\nu_{SE} = 0,25$ (dari Tabel 2.20 ditentukan nilai *poisson's ratio* untuk tanah SE ialah 0,2-0,3, maka diambil ν_{SC} sebesar 0,25, $0,2 < 0,25 < 0,3$).

Nilai-nilai tersebut kemudian dihitung kedalam persamaan 2.27 dan menghasilkan nilai koefisien pegas horizontal (K_h) per kelas situs tanah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} K_h \text{ tanah SC} &= \frac{90000}{0.79 (1-0,3^2) \cdot 1.692568751} \\ &= 73965.24625 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_h \text{ tanah SD} &= \frac{60000}{0.79 (1-0,15^2) \cdot 1.692568751} \\ &= 45905.11447 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_h \text{ tanah SE} &= \frac{60000}{0.79 (1-0,25^2) \cdot 1.692568751} \\ &= 31909.15512 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Nilai konstanta pegas vertikal (K_p) dan konstanta pegas horizontal (K_h) digunakan sebagai data *joint springs* pada SAP2000. Nilai K_p digunakan sebagai data *spring* arah X dan Y, sedangkan nilai K_h sebagai data *spring* arah Z. Gambar 3.4 berikut ini merupakan input data konstanta pegas pada SAP2000.

The screenshot shows the 'Assign Joint Springs' dialog box with the following settings:

- Spring Type: Simple
- Spring Coordinate System: Direction: GLOBAL
- Simple Spring Stiffness:

Translation Global X	31909.16	kN/m
Translation Global Y	31909.16	kN/m
Translation Global Z	367386.93	kN/m
Rotation about Global X	0	kN-m/rad
Rotation about Global Y	0	kN-m/rad
Rotation about Global Z	0	kN-m/rad
- Options: Add to Existing Springs

Red and blue arrows point from the Translation Global X and Z values to labels 'Nilai Kp' and 'Nilai Kh' respectively.

Gambar 3.4 Input data *joint springs* pada SAP2000

3.4. Pembebanan

Pembebanan yang diberikan pada struktur yang diteliti ini sesuai dengan peraturan SNI 1726:2012, SNI 1727:2013, SNI 2847:2013 serta SNI PPURG 1989.

3.4.1. Beban Mati

a. Beban Dinding pada Balok

Pada penelitian ini digunakan dinding setengah batu pasangan bata merah yaitu dengan berat (γ_b) 2,45 kN/m².

$$\text{Elevasi lantai tiap lantai} = 4,3 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi balok 1 (h)} = 0,65 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi balok 2 (h)} = 0,45 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi balok sloof (h)} = 0,5 \text{ m}$$

1) B1 – Balok Sloof 1

$$\begin{aligned} P &= \gamma_b \times (4,3 - (\frac{1}{2} h_{B1} + \frac{1}{2} h_{BS})) \dots\dots\dots (3.1) \\ &= 2,45 \times (4,3 - (\frac{1}{2} 0,65 + \frac{1}{2} 0,5)) \\ &= 9,13 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

2) B2 – Balok Sloof 1

$$\begin{aligned} P &= \gamma_b \times (4,3 - (\frac{1}{2} h_{B2} + \frac{1}{2} h_{BS})) \dots\dots\dots (3.2) \\ &= 2,45 \times (4,3 - (\frac{1}{2} 0,45 + \frac{1}{2} 0,5)) \\ &= 9,37 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

b. Beban Mati pada Plat Lantai

$$P_{\text{Keramik}} = 2400 \text{ kg/m}^3$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{keramik}} &= 2400 \text{ kg/m}^3 \times 0,001 \text{ m} \\ &= 24 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$P_{\text{Spesi}} = 2100 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Dimensi spesi} = 0,002 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{spesi}} &= 2100 \text{ kg/m}^3 \times 0,002 \text{ m} \\ &= 42 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$P_{\text{Urugan pasir}} = 1600 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Dimensi urugan pasir} = 0,005 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{Urugan pasir}} &= 1600 \text{ kg/m}^3 \times 0,005 \text{ m} \\ &= 80 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Total beban mati pada pelat lantai} &= Q_{\text{Keramik}} + Q_{\text{Spesi}} + Q_{\text{Urugan pasir}} \\
 &= 24 + 42 + 80 \\
 &= 146 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

3.4.2. Beban Hidup

Beban hidup yang digunakan untuk pembebanan plat lantai didapatkan dari SNI 1727:2013 seperti pada Tabel berikut.

Tabel 3.2 Beban Hidup Merata pada Plat Lantai (BSN, 2013)

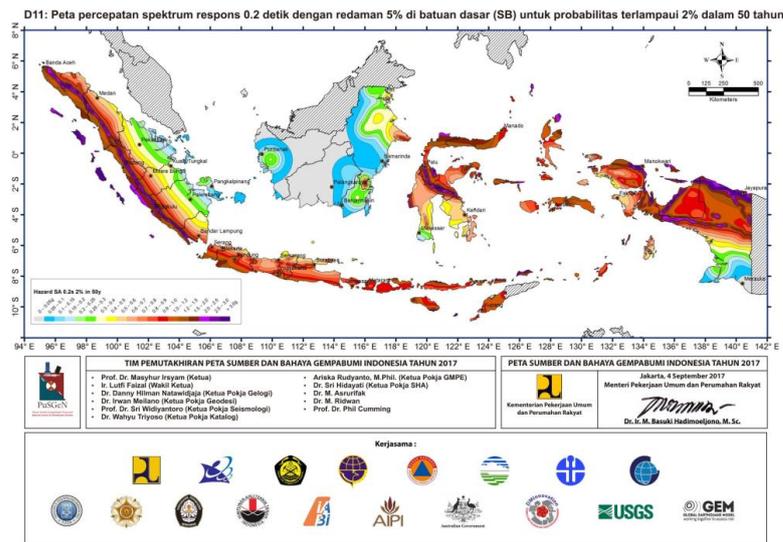
No.	Fungsi Ruang	Beban Hidup (kN/m ²)
1	Ruang Kantor	2,4
2	Lobi	4,79
3	Koridor lantai pertama	4,79
4	Koridor diatas lantai pertama	3,83
6	Dak atap	0,96

3.4.3. Beban Gempa

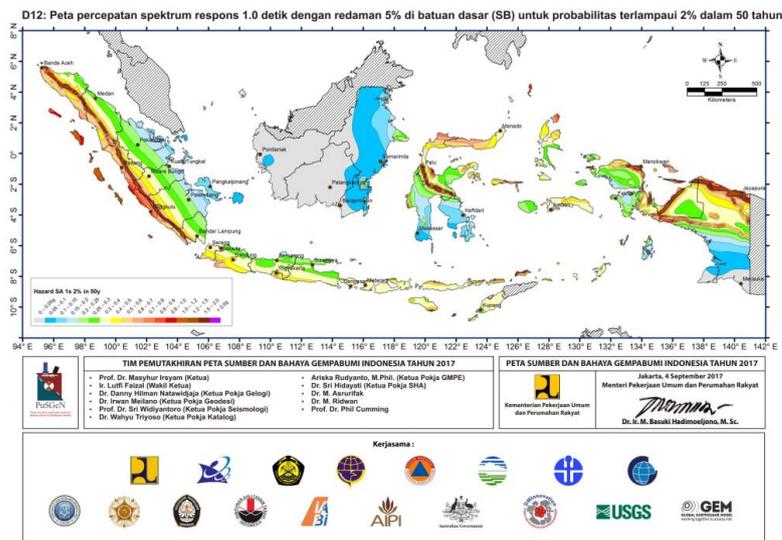
Beban gempa yang akan diinput pada pemodelan struktur penelitian ini ditentukan berdasarkan SNI 1726:2012. Berikut ini akan dijabarkan langkah-langkah yang dilakukan untuk mendapatkan beban gempa.

a. Penentuan nilai S_s dan S_1

Nilai S_s (percepatan respons spektral perioda pendek) dan S_1 (percepatan respons spektral perioda 1 detik) didapatkan dengan cara pembacaan Peta Gempa Indonesia 2017 secara manual.



Gambar 3.5 Peta percepatan spektrum respons 0.2 detik
(Pusgen,2017)



Gambar 3.6 Peta percepatan spektrum respons 1.0 detik
(Pusgen,2017)

Berikut ini merupakan tahapan yang dilakukakn untuk mendapatkan nilai S_s dan S_I berdasarkan Peta Gempa 2017.

a. Penentuan Lokasi Menggunakan Google Maps

Tahap pertama yang dilakukan untuk mendapatkan nilai S_s dan S_I yaitu dengan cara menentukan kota-kota mana saja yang akan dipilih sebagai

lokasi penelitian ini, kemudian mengambil gambar lokasi untuk kota yang telah ditentukan pada Google Maps. Contoh gambar lokasi pada Google Maps dapat dilihat pada Gambar 3.7 berikut ini.



Gambar 3.7 Contoh Gambar Lokasi pada Google Maps
(Google Maps)

b. Penggabungan Gambar Peta Gempa 2017 dengan Gambar Lokasi pada Google Maps

Gambar Peta Gempa 2017 dan gambar lokasi dari Google Maps yang telah didapatkan digabungkan sesuai dengan lokasi yang diinginkan. Penggabungan dari kedua gambar tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.8 dibawah ini.

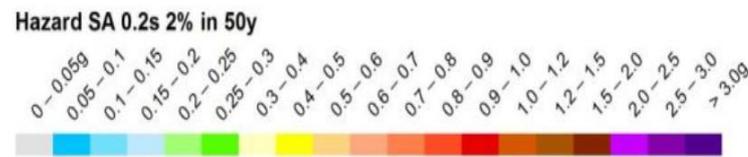


Gambar 3.8 Penggabungan gambar kota pada Google Maps dan pada Peta Gempa 2017
(Google Maps dan Pusgen, 2017)

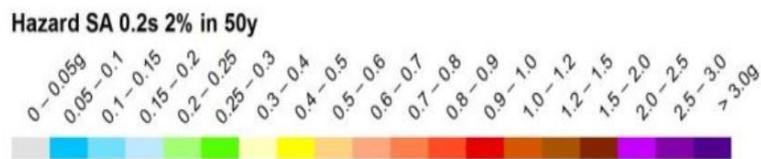
c. Pembacaan Peta Gempa 2017

Gambar yang dihasilkan dari penggabungan gambar Peta Gempa 2017 dan gambar lokasi dari Google Maps memperlihatkan lokasi yang ditinjau terletak pada gradasi warna coklat tua, dari warna tersebut dapat ditentukan

nilai S_s dan S_I berdasarkan interpolasi dari nilai yang terdapat pada keterangan gradasi warna Peta Gempa 2017 seperti pada Gambar 3.9 dan Gambar 3.10 berikut.



Gambar 3.9 Nilai Percepatan Spektrum Respons Pendek Berdasarkan Gradasi Warna (Pusgen, 2017)



Gambar 3.10 Nilai Percepatan Spektrum Respons 1 Detik Berdasarkan Gradasi Warna (Pusgen, 2017)

Setelah melakukan tahapan-tahapan sesuai dengan penjabaran diatas, maka didapatkan nilai S_s dan S_I pada setiap kota yang dapat dilihat pada Tabel 3.3 sampai dengan Tabel 3.5 berikut.

Tabel 3.3 Nilai S_s dan S_I pada setiap kota

NO	NAMA KOTA	S_s (g)	S_I (g)	NO	NAMA KOTA	S_s (g)	S_I (g)
1	Ambon	0,93	0,35	11	Bogor	0,96	0,38
2	Banda Aceh	1,68	0,65	12	Bondowoso	0,68	0,28
3	Bandar Lampung	0,80	0,39	13	Brebes	0,74	0,26
4	Bandung	1,90	0,46	14	Bukittinggi	2,18	1,05
5	Banjar	0,82	0,37	15	Cilacap	0,92	0,39
6	Banyuwangi	0,81	0,31	16	Cilegon	0,82	0,33
7	Bekasi	0,72	0,31	17	Cimahi	1,25	0,52
8	Bengkulu	2,0	0,80	18	Cirebon	0,57	0,27
9	Bima	0,90	0,34	19	Denpasar	0,87	0,38
10	Blora	0,54	0,23	20	Depok	0,74	0,35

Tabel 3.4 Nilai S_s dan S_I pada setiap kota (Lanjutan)

NO	NAMA KOTA	S_s (g)	S_I (g)	NO	NAMA KOTA	S_s (g)	S_I (g)
21	Dumai	0,25	0,15	50	Manado	0,96	0,35
22	Fakfak	0,51	0,24	51	Mataram	0,92	0,34
23	Genteng	0,92	0,34	52	Medan	0,59	0,28
24	Gorontalo	1,57	0,61	53	Metro	0,72	0,29
25	Gunung Sitoli	2,0	0,90	54	Mojokerto	0,96	0,32
26	Indramayu	0,41	0,21	55	Ngawi	0,70	0,32
27	Jakarta Barat	0,74	0,32	56	Pacitan	1,28	0,47
28	Jakarta Pusat	0,71	0,31	57	Padang	1,41	0,53
29	Jakarta Selatan	0,75	0,33	58	Padang Sidempuan	2,92	1,14
30	Jakarta Timur	0,76	0,32	59	Pagar Alam	1,27	0,55
31	Jakarta Utara	0,64	0,32	60	Palembang	0,26	0,21
32	Jambi	0,31	0,22	61	Palu	2,17	0,86
33	Jayapura	2,61	1,08	62	Pamekasan	0,52	0,22
34	Jember	0,82	0,33	63	Pandeglang	0,94	0,39
35	Jepara	0,43	0,15	64	Pangkal Pinang	0,11	0,11
36	Kebumen	0,82	0,37	65	Pasuruan	0,61	0,26
37	Kediri	0,78	0,36	66	Pekalongan	0,53	0,22
38	Kendari	0,63	0,17	67	Pekanbaru	0,35	0,24
39	Kotamobagu	1,22	0,47	68	Pemalang	0,54	0,23
40	Kudus	0,56	0,24	69	Pematang Siantar	0,66	0,31
41	Kupang	0,93	0,27	70	Ponorogo	0,84	0,38
42	Lahat	0,81	0,41	71	Probolinggo	0,62	0,26
43	Langsa	0,60	0,26	72	Purwakarta	0,77	0,31
44	Lhokseumawe	1,20	0,41	73	Purwodadi	0,75	0,29
45	Lumajang	0,83	0,28	74	Purwokerto	0,74	0,33
46	Madiun	0,75	0,35	75	Salatiga	0,92	0,34
47	Magelang	0,73	0,34	76	Samarinda	0,11	0,08
48	Makassar	0,22	0,07	77	Semarang	0,84	0,28
49	Malang	0,80	0,34	78	Serang	0,83	0,32

Tabel 3.5 Nilai S_s dan S_I pada setiap kota (Lanjutan)

NO	NAMA KOTA	S_s (g)	S_I (g)	NO	NAMA KOTA	S_s (g)	S_I (g)
79	Singkang	0,57	0,18	90	Tegal	0,62	0,25
80	Situbondo	0,62	0,22	91	Tidore Kepulauan	0,86	0,31
81	Sorong	1,36	0,50	92	Tomohon	0,92	0,36
82	Sukabumi	1,34	0,48	93	Trenggalek	0,95	0,39
83	Sungai Penuh	2,80	1,0	94	Tual	3,0	0,75
84	Surabaya	0,72	0,27	95	Tuban	0,52	0,20
85	Surakarta	0,77	0,33	96	Tuluagung	0,93	0,39
86	Tangerang	0,76	0,33	97	Tutut	1,04	0,53
87	Tangerang Selatan	0,79	0,33	98	Wonosobo	0,68	0,29
88	Tanjung Pandan	0,06	0,06	99	Yogyakarta	1,45	0,65
89	Tasikmalaya	0,93	0,38				

Nilai S_s dan S_I tersebut digunakan untuk menentukan faktor amplifikasi pada getaran perioda pendek (F_a) dan pada perioda 1 detik (F_v) berdasarkan Tabel 3.6 dan Tabel 3.7 berikut.

Tabel 3.6 Koefisien Situs, F_a (SNI 1726:2012)

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa terpetakan pada perioda pendek, $T = 0,2$ detik, S_s				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1$	$S_s > 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF			SS		

Tabel 3.7 Koefisien Situs, F_v (SNI 1726:2012)

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa terpetakan pada perioda 1 detik, $T = 1$ detik, S_I				
	$S_I \leq 0,1$	$S_I = 0,2$	$S_I = 0,3$	$S_I = 0,4$	$S_I > 0,25$
SA	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
SB	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
SC	1,70	1,60	1,50	1,40	1,30
SD	2,40	2,00	1,80	1,60	1,50
SE	3,50	3,20	2,80	2,40	2,40
SF			SS		

Dari nilai $S_s = 1,683$ dan $S_I = 0,654$ didapatkan nilai F_a dan F_v untuk tanah SC

$$F_a \text{ tanah SC} = 1$$

$$F_v \text{ tanah SC} = 1,3$$

- b. Faktor amplifikasi yang telah diperoleh digunakan untuk menghitung parameter spektrum respons percepatan perioda pendek (S_{MS}), parameter spektrum respons percepatan perioda 1 detik (S_{MI}), parameter percepatan spektral desain perioda pendek (S_{DS}) dan parameter percepatan spektral desain perioda 1 detik (S_{DI}) sesuai dengan persamaan (2.2) sampai dengan (2.5).

$$\begin{aligned} S_{MS} &= F_a \times S_s \\ &= 1 \times 1,683 = 1,683 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{MI} &= F_v \times S_I \\ &= 1,3 \times 0,654 = 0,8502 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{DS} &= \frac{2}{3} \times S_{MS} \\ &= \frac{2}{3} \times 1,683 = 1,122 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{DI} &= \frac{2}{3} \times S_{MI} \\ &= \frac{2}{3} \times 0,8502 = 0,5668 \text{ g} \end{aligned}$$

- c. Menentukan Perioda Getar Fundamental

Penentuan periode getar fundamental dihitung sesuai dengan persamaan (2.9) dan (2.10) sebagai berikut.

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

$$= 0,2 \times \frac{0,5668}{1,122} = 0,101 \text{ detik}$$

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

$$= \frac{0,5668}{1,122} = 0,505 \text{ detik}$$

d. Menentukan Spektrum Respons Desain

Untuk menentukan spektrum respons desain dihitung sesuai dengan persamaan (2.6) sebagai berikut.

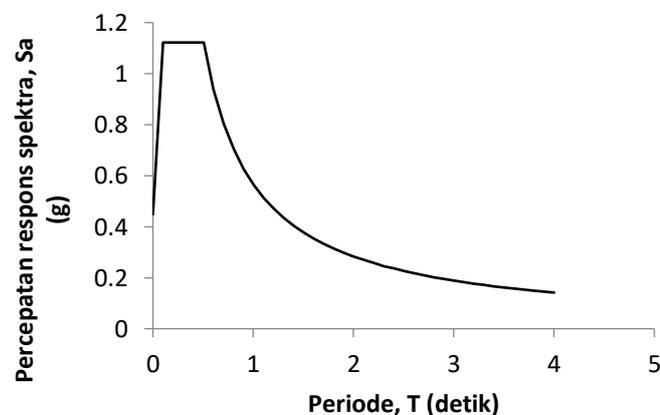
a. Untuk perioda $\geq T_0$ dan $\leq T_s$ maka spektrum respons desain (S_a) sama dengan S_{DS} .

b. Untuk perioda \geq dari T_s , maka spektrum respons desain (S_a) sebagai berikut.

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

$$S_a = \frac{0,5668}{0,605} = 0,937 \text{ g}$$

e. Dari perhitungan-perhitungan diatas didapatkan grafik respons spektrum seperti pada gambar 3.11 dibawah ini.



Gambar 3.11 Grafik respons spektrum

f. Penentuan Kategori Desain Seismik

Kategori desain seismik ini ditentukan menggunakan nilai S_{DS} berdasarkan pada Tabel 2.8. Dari tabel tersebut didapatkan dengan nilai S_{DS} 1,122 g maka didapatkan kategori desain seismik tipe D.

g. Penentuan Parameter Sistem Struktur

Sistem penahan gaya seismik bangunan ini yaitu sistem rangka pemikul momen (rangka beton bertulang pemikul momen khusus) dengan batasan sistem struktur tidak dibatasi. Dari sistem penahan gaya seismik tersebut didapatkan nilai koefisien modifikasi respons (R) sebesar 8, faktor kuat-lebih sistem (C_d) sebesar 5,5 dan factor pembesaran defleksi (Ω_0) sebesar 3.

h. Penentuan Periode Fundamental Pendekatan

Periode fundamental pendekatan (T_a) ditentukan sesuai dengan persamaan (2.14) dengan perhitungan sebagai berikut.

$$\text{Diketahui: } C_t = 0.0466 \quad (\text{dari Tabel 2.13})$$

$$x = 0.9 \quad (\text{dari Tabel 2.13})$$

$$\text{Tinggi gedung (h)} = 12.9 \text{ m}$$

Periode fundamental pendekatan:

$$\begin{aligned} T_a &= C_t \times h^x \\ &= 0,0466 \times 12.9^{0,9} = 0,4655 \text{ detik} \end{aligned}$$

Batas atas periode fundamental struktur:

$$\begin{aligned} T_a &= C_u \times T_a \\ &= 1,4 \times 0,4655 \\ &= 0,6517 \text{ detik} \end{aligned}$$

Dari hasil analisis struktur pada SAP2000 didapatkan periode alami struktur sebesar 0,47023 untuk tanah SC, 0.50772 untuk tanah SD, dan 0,5549 untuk tanah SE.

i. Penentuan Koefisien Respons Gempa

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

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1,122}{\frac{8}{1}} = 0,14025 \\
 C_{S \text{ maks}} &= \frac{SD1}{T \times \frac{R}{I_e}} \\
 &= \frac{0,5668}{0,50772 \times \frac{8}{1}} = 0,1395 \\
 C_{S \text{ min}} &= 0,044 \times S_{DS} \times I_e \\
 &= 0,044 \times 1,122 \times 1 \\
 &= 0,0494
 \end{aligned}$$

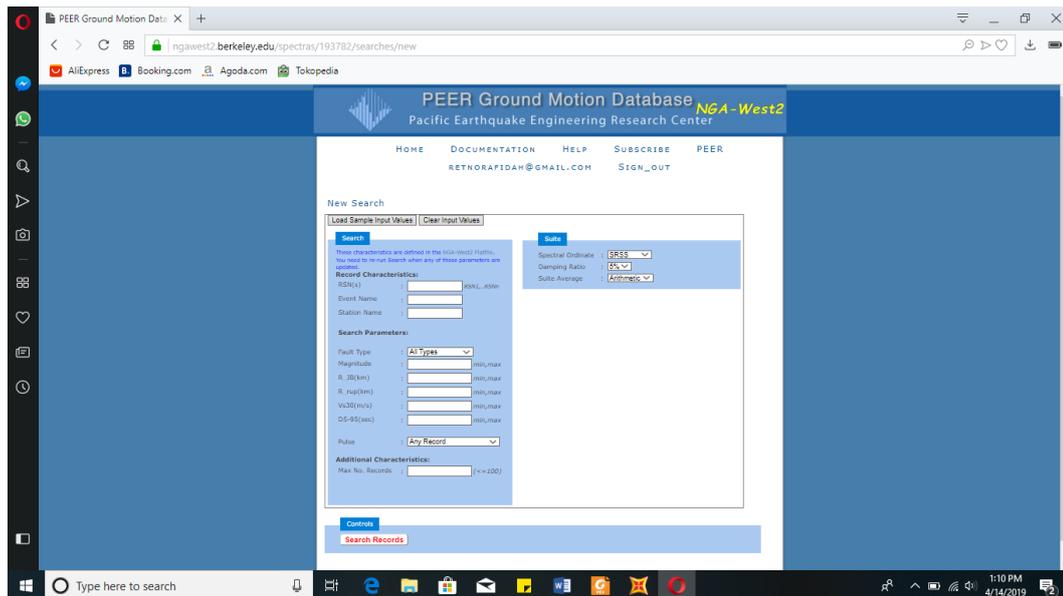
Dari perhitungan-perhitungan diatas, maka diambil nilai koefisien respons gempa sebesar 0,1395.

j. Perhitungan Gaya Geser Seismik

$$\begin{aligned}
 V &= C_S \times W_t \\
 &= 0,1395 \times 107751,7 \\
 &= 15031,3 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

3.5. Analisis Riwayat waktu

Analisis riwayat waktu didapatkan dengan beberapa tahapan dimulai dari pengumpulan data gempa yang didapatkan dari Buku Peta Gempa 2017 serta dari berita-berita gempa yang diinformasikan oleh media massa yang akurat dan terpercaya. Data yang dicari dari sumber-sumber tersebut meliputi wilayah terjadinya gempa, waktu terjadinya gempa, koordinat, kedalaman gempa, magnitude, dan durasi gempa. Data-data yang sudah didapatkan tersebut kemudian dimasukkan kedalam *website peer.berkeley.edu* seperti pada Gambar 3.12 meliputi data *magnitude*, jarak *epicenter*, jarak *hypocenter*, V_s dari 3 kelas situs tanah, durasi gempa, dan menginput jumlah riwayat waktu yang dibutuhkan pada *Search Parameters*.



Gambar 3.12 Tampilan Website Peerberkeley (*peer.berkeley.edu*)

Setelah penginputan data pada *website peer.berkeley.edu* selesai, kemudian dihasilkan parameter riwayat waktu yang dipilih secara otomatis sesuai dengan data-data yang telah diinput sebelumnya. Data yang diambil dari *website peer.berkeley.edu* diambil 3 rekaman gempa untuk setiap kelas situs tanah, antara lain rekaman gempa Parkfield (1966) San Luis Obispo, Parkfield (1966) Cholame Shandon Array, dan Southern Calif (1952) San Luis Obispo untuk tanah SC, untuk tanah SD didapatkan rekaman gempa Humbolt Bay (1937) Fernade City Hall, Imperial Valley (1938) El Centro Array, dan Northwest Calif (1941) Fernande City Hall, dan untuk tanah SE didapatkan rekaman gempa Imperial Valley-06 (1979) El Centro Array, Youtnville (2000) Lakspur Ferry Terminal, dan Imperial Valley-07 (1979) El Centro Array, rekaman-rekaman gempa per kelas situs tanah tersebut dapat dilihat pada Lampiran 3. Rekaman gempa yang telah didapatkan pada setiap kelas situs tanah, kemudian dilakukan analisis riwayat waktu menggunakan program *Seismomatch* untuk mengkonvergenkan antara rekaman gempa yang telah didapatkan dengan respon spektrum pada 99 kota besar di Indonesia. Pada program *Seismomatch* ini respon spektrum dari gempa aktual, nilai rata-rata percepatannya diharuskan mendekati respon spektrum dari gempa rencana pada periode $0,2T-1,5T$, dimana T adalah perioda getar alami struktur (SNI 1726:2012). Data yang diinput pada program

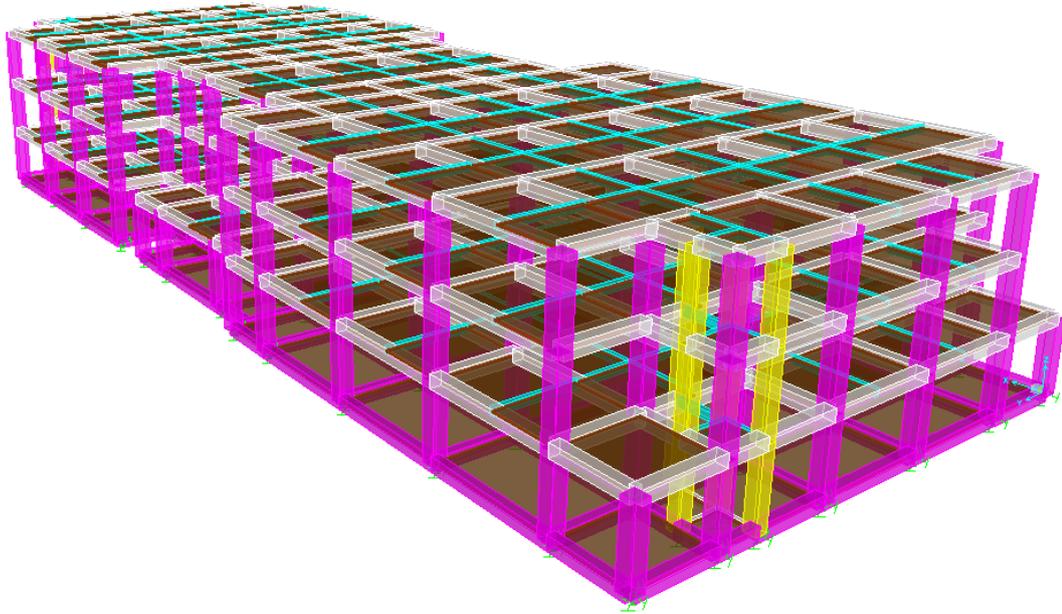
seismomatch ini berupa respon spektrum setiap kota dan kelas situs tanah, periode alami struktur pada setiap kelas situs tanah, dan 3 rekaman gempa pada setiap kelas situs tanah yang telah didapatkan dari *website peer.berkeley.edu*.

3.6. Analisis Struktur pada SAP2000

Penelitian ini menggunakan program SAP2000 versi 21 untuk menganalisis struktur bangunan, sebelum melakukan analisis struktur terlebih dahulu melakukan pemodelan struktur pada program tersebut. Berikut ini merupakan tahapan pemodelan dan analisis struktur.

- a. Struktur pondasi dimodelkan sebagai *joint springs* (tumpuan pegas) dengan koefisien *springs* yang berbeda pada setiap kelas situs tanah. Pemilihan *joint springs* sebagai pemodelan fondasi ini karena menyesuaikan ketinggian gedung dan jenis fondasi telapak di lapangan yang tidak tetap/memiliki perlawanan dari arah horizontal maupun vertikal.
- b. Struktur kolom dan balok dimodelkan dengan elemen *frame*.
- c. Struktur pelat lantai dimodelkan dengan elemen *sheel*.
- d. Beban mati diberikan pada balok dan pelat lantai, dan beban hidup diberikan pada pelat lantai menggunakan fitur *assign* kemudian *frame loads* untuk balok, dan *area loads* untuk pelat lantai.
- e. Beban gempa diinput melalui menu *define* kemudian *function* lalu riwayat waktu.
- f. Setelah menginput semua beban maka input lokasi pembebanan pada menu *define* kemudia *load combinations*.
- g. Kemudian lakukan analisis struktur, jika analisis telah selesai lakukan *scale factor base shear*, karena mengikuti SNI 1726:2012 dimana persyaratan nilai geser dasar hasil analisis dinamik (V_d) harus lebih besar ataupun sama dengan 85%. Hasil *scala factor base shear* ini diinput ke fitur *load case* pada *scale factor* yang terdapat pada menu *define*. Setelah itu kembali melakukan analisis.
- h. Dari analisis struktur tersebut didapatkan output yang diinginkan berupa perpindahan pada setiap joint struktur.

Pada Gambar 3.13 berikut ditampilkan model struktur bertingkat rendah (*low rise*) pada program SAP2000 versi 21.



Gambar 3.13 Model Struktur pada Program SAP2000 (SAP2000 versi 21)