

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Tahapan Penelitian

Dalam setiap penelitian pelaksanaan secara sistematis sangatlah diperlukan dalam melakukan tahapan –tahapan yang diperlukan. Tujuannya dilakukan secara sistematis agar memperoleh hasil yang teratur, jelas, dan mudah dipahami. Berikut ini merupakan tahapan dari penelitian yang dilaksanakan.

1. Tahapan Pengumpulan Data

Data struktur bangunan yang diperoleh merupakan data hasil dari kerja praktik. Adapun data-data yang diperoleh yaitu, denah, detail balok, kolom dan penampang elemen struktur). Bangunan gedung bertingkat tinggi ini memiliki 1 *basement* dan 8 lantai dengan ketinggian 35 meter.

2. Tahapan Studi Literatur

Studi literatur perlu dilakukan bertujuan untuk memperoleh ilmu tambahan yang berkaitan dengan penelitian. Penulis memahami konsep dan langkah-langkah penelitian terdahulu yang mengacu pada peraturan tentang “Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung” dalam SNI Gempa dan pada penelitian yang mengacu tentang metode pendekatan *Time History Analysis*.

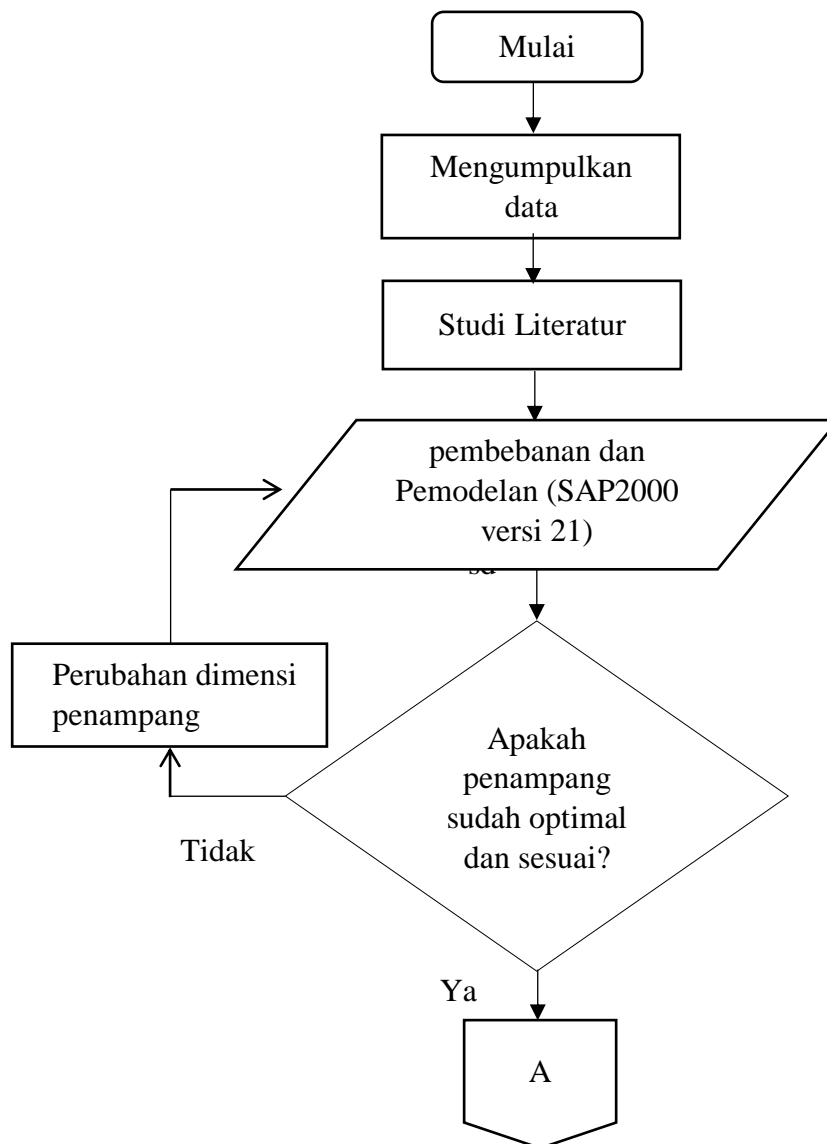
3. Tahapan Pembebanan dan Permodelan

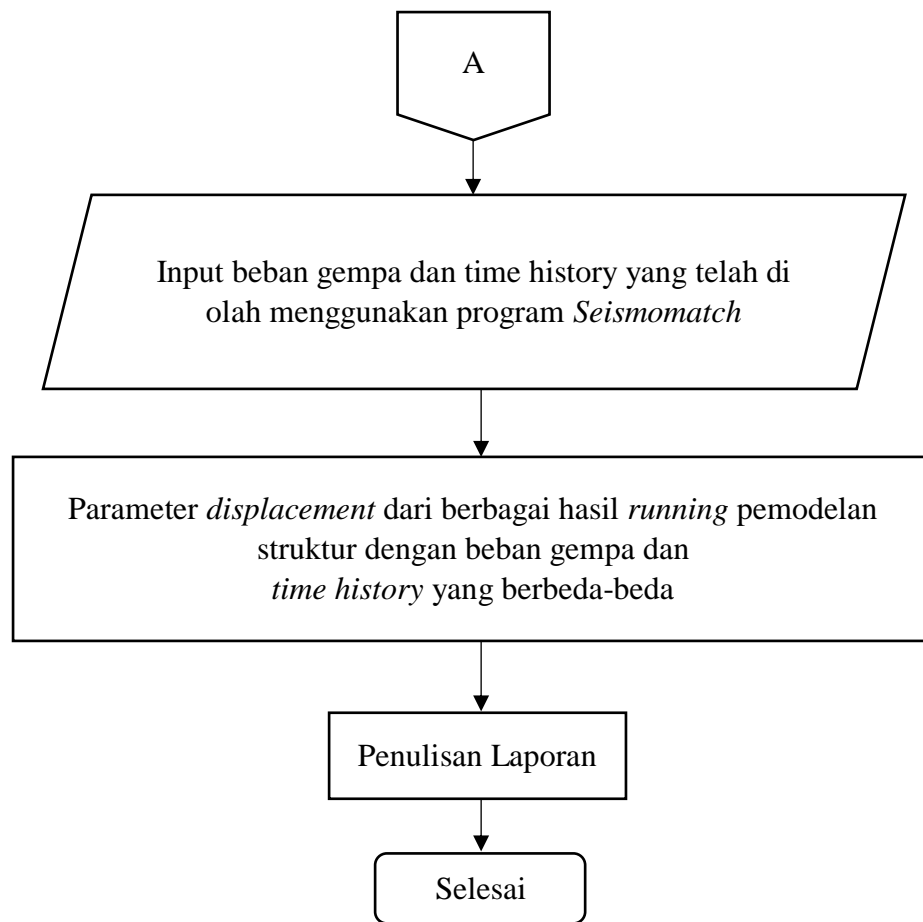
Data gambar kerja yang diperoleh lalu dimodelkan dalam bentuk 3D menggunakan program *SAP2000 V 21*. Data yang diperoleh ada sedikit perubahan dalam bentuk bangunan sehingga bangunan tersebut menjadi tipikal karena bangunan tersebut akan di uji coba dan diletakkan di 99 kota di Indonesia. Pembebanan seperti beban mati, beban hidup, dan beban gempa sesuai dengan SNI 1726:2012 tentang “Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung”, SNI 1727:2013 “Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung

dan Struktur Lain”, SNI 2847:2013 “Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung”.

4. Tahapan Perbandingan Hasil Elemen Struktur dan Penulisan Laporan

Jika permodelan dan pembebanan telah selesai dan hasil output *Joint Displacement* dan *Joint Constrain* dari program *SAP2000* telah muncul, maka dapat di olah dengan program *Microsoft Excel* sehingga dapat diketahui seberapa besar *displacement* yang terjadi. Setelah didapatkan hasil, kemudian dilakukan penulisan laporan. Adapun bagan alir penelitian sebagai berikut.





Gambar 3.1 Diagram Alir (*Flow Chart*) pelaksanaan penelitian secara umum

3.2 Data Teknis Bangunan

Struktur gedung bangunan bertingkat tinggi yang akan diuji memiliki spesifikasi, dan data perencanaan tersendiri. Lokasi gedung ini diuji coba di 99 kota besar di Indonesia.

3.2.1 Lokasi Bangunan

Lokasi uji coba bangunan ini terletak di 99 kota besar terpilih di Indonesia. Daftar dan gambar koordinat kota dapat dilihat pada Tabel 3.1 dan Gambar 3.1.

Tabel 3.1 Daftar Lokasi 99 Kota Terpilih 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	Jebara	94	Sungai Penuh

Tabel 3.2 Lanjutan Daftar Lokasi 99 Kota Terpilih di Indonesia

NO	NAMA KOTA	NO	NAMA KOTA	NO	NAMA KOTA
29	Tangerang Selatan	62	Pekalongan	95	Tanjung Pandan
30	Tidore Kepulauan	63	Kebumen	96	Trenggelek
31	Tomohon	64	Tegal	97	Taban
32	Tual	65	Indramayu	98	Tuluagung
33	Wonosobo	66	Mataram	99	Tutut



Gambar 3.2 Peta lokasi perencanaan bangunan bertingkat tinggi

3.2.2 Fungsi Bangunan

Gedung ini berfungsi sebagai gedung administrasi, ruang dosen, dan ruang perkuliahan. Gedung ini memiliki jumlah 8 lantai dan 1 basement dengan atap merupakan dak beton.

3.2.3 Data Perencanaan

Berikut ini merupakan data-data yang diperoleh mengenai parameter struktur dan material yang digunakan dalam penelitian, yaitu ;

1. Gambar rencana kerja
2. Mutu beton (f_c') = 25 MPa
3. Mutu tulangan baja = Tulangan baja < 12 mm = 400 MPa
= Tulangan baja > 12 mm = 240 MPa
4. Adapun data dimensi yang diberikan yaitu, balok, kolom, plat lantai, dan dinding geser.

Dimensi balok yang digunakan sebagai berikut ini.

- 1). Balok B1, dan B2 = 900 x 800 mm
- 2). Balok B3 = 700 x 300 mm
- 3). Balok B6 = 700 x 200 mm

- 4). Balok B13 = 800 x 600 mm
- 5). Balok S1 = 300 x 600 mm
- 6). Balok S2 = 1000 x 800 mm
- 7). Balok S3 = 800 x 500 mm

Dimensi kolom yang digunakan sebagai berikut ini.

- 1). Kolom K1 = 1200 x 1200 mm
- 2). Kolom KL = L200 x 500 x 500 mm

Dimensi plat lantai yang digunakan sebagai berikut ini.

- 1). Plat lantai A1 = 120 mm
- 2). Dinding geser = 250 mm

- 5. Pada penelitian ini kondisi tanah yang akan di uji ada 3 jenis tanah yaitu tanah keras (SC), Tanah sedang (SD), Tanah lunak (SE).
- 6. Parameter respons spektrum mengacu pada SNI gempa yaitu nilai S_S , S_I , F_a , dan F_v .

3.3 Pembebanan

Pembebanan yaitu merupakan beban yang akan terjadi atau beban yang akan direncanakan seperti kondisi kenyataan. Dasar peraturan pembebanan ini mengikuti ketentuan SNI 1726:2012 “Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung” SNI 2847:2013 “Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung”, dan SNI 1727:2013 “Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain”.

3.3.1 Beban Mati

Beban mati merupakan berat dari suatu bagian struktur bangunan yang bersifat tetap. Beban mati meliputi beban pada plat lantai, dinding balok, dan atap.

1. Beban Mati Tambahan pada Plat Lantai

- a. P_{Spesi} = 2100 kg/m³
- b. $P_{Urugan\ pasir}$ = 1600 kg/m³
- c. $P_{Keramik}$ = 2400 kg/m³
- d. Tebal spesi = 2 cm
- e. Tebal urugan pasir = 5 cm

$$\begin{aligned}
 \text{f. Tebal keramik} &= 1 \text{ cm} \\
 \text{g. } Q_{\text{Spesi}} &= 2100 \text{ kg/m}^3 \times 0,002 \text{ m} \\
 &= 42 \text{ kg/m}^2 \\
 \text{h. } Q_{\text{Keramik}} &= 2400 \text{ kg/m}^3 \times 0,001 \text{ m} \\
 &= 24 \text{ kg/m}^2 \\
 \text{i. } Q_{\text{Urugan}} &= 1600 \text{ kg/m}^3 \times 0,005 \text{ m} \\
 &= 80 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Total beban mati} &= Q_{\text{Spesi}} + Q_{\text{Keramik}} + Q_{\text{Urugan}} \\
 &= 42 \text{ kg/m}^2 + 24 \text{ kg/m}^2 + 80 \text{ kg/m}^2 \\
 &= 146 \text{ kg/m}^2 \\
 &= 1,43 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

2. Beban Mati Dinding pada Balok

Dinding merupakan pasangan setengah batu 250 kg/m^2 .

a. Elevasi lantai *basement* – lantai 1 = 3.1 meter

Balok S1 – balok B1

$$(t' = t - h) \dots \dots \dots (3.1)$$

$$\begin{aligned}
 t' &= 3,1 - 0,6 \\
 &= 0,5 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$rb = 200 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned}
 qd &= rb \times t' \\
 &= 250 \text{ kg/m}^2 \times 2,5 \text{ m} \\
 &= 625 \text{ kg/m} \\
 &= 6,14 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

Balok S2 – balok B1

$$(t' = t - h) \dots \dots \dots (3.2)$$

$$\begin{aligned}
 t' &= 3,1 - 1 \\
 &= 2,1 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$rb = 250 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned}
 qd &= rb \times t' \\
 &= 250 \text{ kg/m}^2 \times 2,5 \text{ m} \\
 &= 525 \text{ kg/m} \\
 &= 5,15 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

b. Elevasi lantai 1 – lantai 9 = 4 meter

$$h \text{ (B1, B2, B3)} = 0.6 \text{ meter}$$

Balok B1 – balok B1

$$(t' = t - h) \dots \dots \dots (3. 3)$$

$$t' = 4 - 0,6$$

$$= 3,4 \text{ m}$$

$$rb = 250 \text{ kg/m}^2$$

$$qd = rb \times t'$$

$$= 250 \text{ kg/m}^2 \times 3.4 \text{ m}$$

$$= 850 \text{ kg/m}$$

$$= 8,34 \text{ kN/ m}$$

Balok B2 – balok B2

$$(t' = t - h \text{ balok induk}) \dots \dots \dots (3.4)$$

$$t' = 4 - 0,6$$

$$= 3,4 \text{ m}$$

$$rb = 250 \text{ kg/m}^2$$

$$qd = rb \times t'$$

$$= 250 \text{ kg/m}^2 \times 3,4 \text{ m}$$

$$= 850 \text{ kg/m}$$

$$= 8,34 \text{ kN/ m}$$

Balok B3 – balok B3

$$(t' = t - h \text{ balok induk}) \dots \dots \dots (3. 5)$$

$$t' = 4 - 0.6$$

$$= 3,4 \text{ m}$$

$$rb = 250 \text{ kg/m}^2$$

$$qd = rb \times t'$$

$$= 250 \text{ kg/m}^2 \times 3,4 \text{ m}$$

$$= 850 \text{ kg/m}$$

$$= 8,34 \text{ kN/ m}$$

Keterangan :

t	= Tinggi dinding
t'	= Tinggi efektif dinding
h	= Tinggi balok
rb	= berat pasangan batu bata ringan
qd	= berat dinding pasangan batu bata ringan

3. Beban Mati pada Atap

Pada beban mati pada atap menggunakan dak beton dengan beban sebesar 122 kg/m^2 .

3.3.2 Beban Hidup

Berdasarkan SNI 1727:2013 dan SNI 03-1727-1989 untuk beban hidup plat lantai dapat dilihat pada Tabel 3.3 sebagai berikut.

Tabel 3.3 Beban Hidup Fungsi Ruang Terdistribusi Merata

No	Fungsi Ruang	Beban Hidup kN/m^2
1	Ruang Kelas/perkuliahan	1.92
2	Ruang dosen	1.92
3	Ruang tata usaha	1.92
4	Ruang registrasi	1.92
6	<i>Mushola</i>	1.92
7	<i>Lobby</i> lantai dasar	4.79
8	<i>Lobby</i> di atas lantai dasar	3.83
9	Ruang Parkir	1.92

Beban hidup yang terjadi pada atap merupakan beban manusia sebesar 0.96 kN/m^2 .

3.3.3 Beban Gempa

Pada struktur bangunan ini beban gempa yang dibebankan kepada struktur bangunan mengikuti peraturan yang berlaku yaitu SNI 1726:2012.

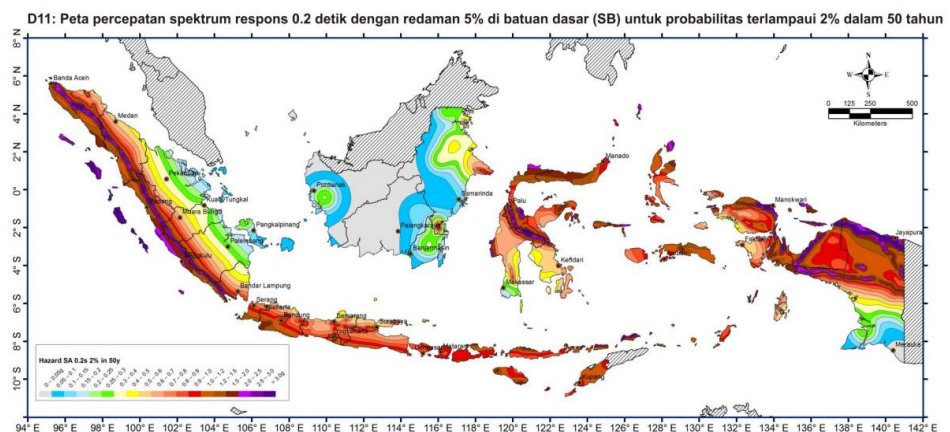
1. Berikut ini perhitungan beban gempa berdasarkan SNI 1726:2012

a. Data Teknis.

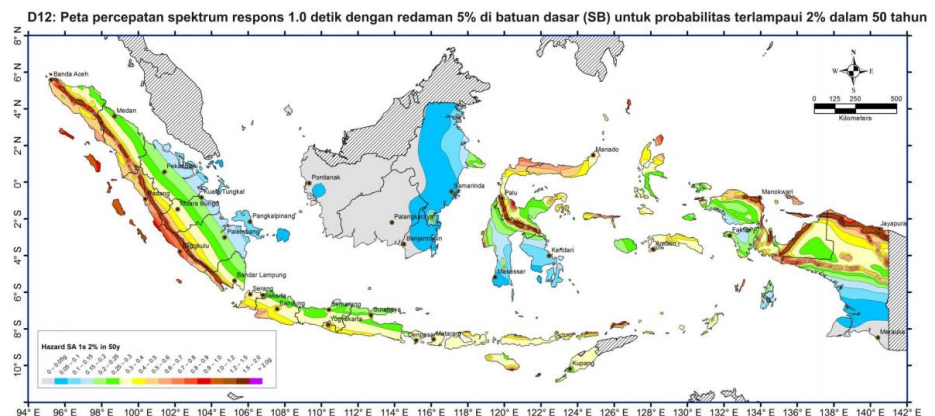
Jumlah lantai, n = 9

Tinggi setiap lantai = 4 meter

- b. Menentukan Kategori resiko dan faktor keutamaan beban gempa.
- Fungsi bangunan = Gedung perkuliahan
- Kategori resiko bangunan = IV
- Faktor keutamaan gempa (I_e) = 1.5
- c. Menentukan kelas situs.
- Bangunan bertingkat ini diuji di 3 kelas situs yaitu, tanah keras (SC), tanah sedang (SD), dan tanah lunak (SE) yang diuji coba di Jakarta pusat sebagai kota acuan.
- d. Menentukan parameter respons spektra gempa periode pendek 0.2 detik dan periode 1 detik.
- 1). Untuk penentuan parameter respons spektra ini dengan cara melihat Peta Gempa Indonesia 2017.



Gambar 3.3 Peta gempa Indonesia 2017 Percepatan Respons spektral percepatan perioda pendek (F_a) 0,2 detik. (Pusat Studi Gempa Nasional,2017)



Gambar 3.4 Peta gempa Indonesia 2017 Respons spektral percepatan getaran perioda (F_v) 1 detik (Pusat Studi Gempa Nasional, 2017)

2). Mengambil lokasi dengan bantuan *Google Maps*.

Pada pengambilan lokasi dipermudah dengan bantuan *Google Maps*. Gambar peta lokasi yang telah diambil dari *Google Maps* digunakan sebagai petunjuk dari perencanaan pembangunan struktur gedung. Pada Gambar 3.5 merupakan hasil potongan gambar dari *Google Maps*.



Gambar 3.5 pengambilan lokasi dengan bantuan *Google Maps*

3). Penggabungan gambar lokasi dari *Google Maps* dengan gambar dari Buku Peta Gempa 2017.

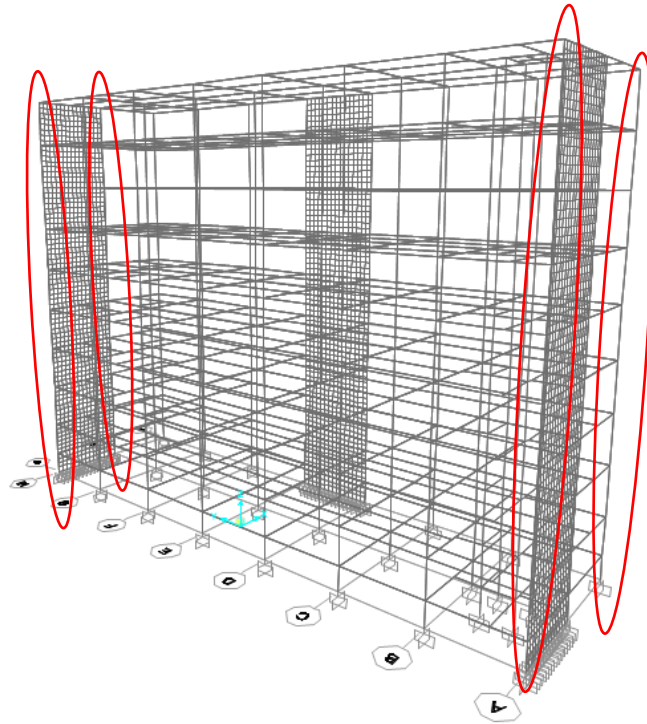
Hasil gambar potongan lokasi yang sudah didapat dari *Google Maps* selanjutnya digabungkan dengan gambar potongan lokasi yang diperoleh dari Peta Percepatan Spektrum Respons Pendek dan Peta Percepatan Spektrum Respons 1 detik. Pada Gambar 3.6 merupakan contoh dari penggabungan gambar potongan antara peta *Google Maps* dan Buku Peta Gempa 2017.



Gambar 3.6 penggabungan gambar potongan antara peta *Google Maps* dan Buku Peta Gempa 2017

e. Pengambilan tinjauan *Joint Displacement* pada gedung di *SAP2000*

Nilai perpindahan pada gedung ditinjau dari setiap sisi sudut gedung seperti tanda yang dilingkari dan dapat dilihat pada Gambar 3.7 berikut ini.



Gambar 3.7 Desain 3D bangunan dengan bantuan program *SAP2000*

Tabel 3.4 Parameter nilai S_s dan S_1 pada masing-masing kota

NO	NAMA KOTA	S_s (g)	S_1 (g)	NO	NAMA KOTA	S_s (g)	S_1 (g)	NO	NAMA KOTA	S_s (g)	S_1 (g)	NO	NAMA KOTA	S_s (g)	S_1 (g)	NO	NAMA KOTA	S_s (g)	S_1 (g)
1	Ambon	0,93	0,35	23	Bandar Lampung	0,80	0,39	45	Lumajang	0,83	0,28	67	Pekanbaru	0,35	0,24	89	Ngawi	0,70	0,32
2	Jember	0,82	0,33	24	Gorontalo	1,57	0,61	46	Madiun	0,75	0,35	68	Pemalang	0,54	0,23	90	Tegal	0,62	0,25
3	Jepara	0,43	0,15	25	Gunung Sitoli	2,0	0,90	47	Magelang	0,73	0,34	69	Yogyakarta	1,45	0,65	91	Genteng	0,92	0,34
4	Langsa	0,60	0,26	26	Indramayu	0,41	0,21	48	Makassar	0,22	0,07	70	Ponorogo	0,84	0,38	92	Cilegon	0,82	0,33
5	Banjar	0,82	0,37	27	Jakarta Barat	0,74	0,32	49	Malang	0,80	0,34	71	Probolinggo	0,62	0,26	93	Cirebon	0,57	0,27
6	Lahat	0,81	0,41	28	Jakarta Pusat	0,71	0,31	50	Manado	0,96	0,35	72	Purwakarta	0,77	0,31	94	Tual	3,0	0,75
7	Bekasi	0,72	0,31	29	Jakarta Selatan	0,75	0,33	51	Mataram	0,92	0,34	73	Purwodadi	0,75	0,29	95	Tuban	0,52	0,20
8	Jambi	0,31	0,22	30	Jakarta Timur	0,76	0,32	52	Banyuwangi	0,81	0,31	74	Purwokerto	0,74	0,33	96	Tuluagung	0,93	0,39
9	Bima	0,90	0,34	31	Jakarta Utara	0,64	0,32	53	Bondowoso	0,68	0,28	75	Salatiga	0,92	0,34	97	Tutut	1,04	0,53
10	Blora	0,54	0,23	32	Pangkal Pinang	0,11	0,11	54	Mojokerto	0,96	0,32	76	Samarinda	0,11	0,08	98	Kebumen	0,82	0,37
11	Bogor	0,96	0,38	33	Padang Sidempuan	2,92	1,14	55	Tasikmalaya	0,93	0,38	77	Semarang	0,84	0,28	99	Bengkulu	2,0	0,80
12	Kudus	0,56	0,24	34	Banda Aceh	1,68	0,65	56	Pacitan	1,28	0,47	78	Serang	0,83	0,32				
13	Brebes	0,74	0,26	35	Tanjung Pandan	0,06	0,06	57	Padang	1,41	0,53	79	Singkang	0,57	0,18				
14	Kediri	0,78	0,36	36	Tidore Kepulauan	0,86	0,31	58	Situbondo	0,62	0,22	80	Wonosobo	0,68	0,29				
15	Cilacap	0,92	0,39	37	Pagar Alam	1,27	0,55	59	Bukittinggi	2,18	1,05	81	Sorong	1,36	0,50				
16	Metro	0,72	0,29	38	Tangerang Selatan	0,79	0,33	60	Palembang	0,26	0,21	82	Tomohon	0,92	0,36				
17	Cimahi	1,25	0,52	39	Kotamobagu	1,22	0,47	61	Sukabumi	1,34	0,48	83	Jayapura	2,61	1,08				
18	Palu	2,17	0,86	40	Sungai Penuh	2,80	1,0	62	Pamekasan	0,52	0,22	84	Surabaya	0,72	0,27				
19	Medan	0,59	0,28	41	Denpasar	0,87	0,38	63	Pandeglang	0,94	0,39	85	Kupang	0,93	0,27				
20	Depok	0,74	0,35	42	Trenggalek	0,95	0,39	64	Surakarta	0,77	0,33	86	Tangerang	0,76	0,33				
21	Dumai	0,25	0,15	43	Pematang Siantar	0,66	0,31	65	Pasuruan	0,61	0,26	87	Kendari	0,63	0,17				
22	Fakfak	0,51	0,24	44	Lhokseumawe	1,20	0,41	66	Pekalongan	0,53	0,22	88	Bandung	1,90	0,46				

- f. Menentukan faktor koefisien situs F_a dan F_v

Didapatkan koefisien situs yaitu sebesar:

Pada tanah keras (SC)

$$F_a = 1,1144 \text{ (hasil interpolasi)}$$

$$F_v = 1,493 \text{ (hasil interpolasi)}$$

Pada tanah keras (SD)

$$F_a = 1,2288 \text{ (hasil interpolasi)}$$

$$F_v = 1,786 \text{ (hasil interpolasi)}$$

Pada tanah keras (SE)

$$F_a = 1,272 \text{ (hasil interpolasi)}$$

$$F_v = 2,586 \text{ (hasil interpolasi)}$$

- g. Menentukan nilai respon spektrum desain

Respons spektrum percepatan

Pada tanah keras (SC)

$$S_{MS} = F_a \times S_s = 1,1144 \times 0,714 = 0,796 \text{ g}$$

$$S_{MI} = F_v \times S_l = 1,493 \times 0,307 = 0,458 \text{ g}$$

Pada tanah keras (SD)

$$S_{MS} = F_a \times S_s = 1,2288 \times 0,714 = 0,877 \text{ g}$$

$$S_{MI} = F_v \times S_l = 1,786 \times 0,307 = 0,548 \text{ g}$$

Pada tanah keras (SE)

$$S_{MS} = F_a \times S_s = 1,272 \times 0,714 = 0,908 \text{ g}$$

$$S_{MI} = F_v \times S_l = 2,586 \times 0,307 = 0,794 \text{ g}$$

Respons Spektrum Desain

Pada tanah keras (SC)

$$S_{DS} = 2/3 \times S_{MS} = 2/3 \times 0,796 \text{ g} = 0,5305 \text{ g}$$

$$S_{DI} = 2/3 \times S_{MI} = 2/3 \times 0,458 \text{ g} = 0,3056 \text{ g}$$

Pada tanah keras (SD)

$$S_{DS} = 2/3 \times S_{MS} = 2/3 \times 0,877 \text{ g} = 0,5849 \text{ g}$$

$$S_{DI} = 2/3 \times S_{MI} = 2/3 \times 0,548 \text{ g} = 0,3655 \text{ g}$$

Pada tanah keras (SE)

$$S_{DS} = 2/3 \times S_{MS} = 2/3 \times 0,908 \text{ g} = 0,6055 \text{ g}$$

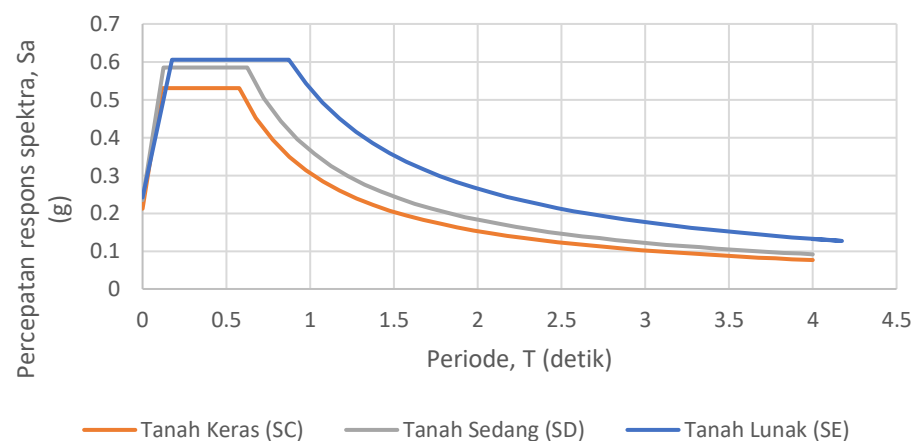
$$S_{DI} = 2/3 \times S_{MI} = 2/3 \times 0,794 \text{ g} = 0,5293 \text{ g}$$

h. Menentukan Kategori Desain Seismik (KDS)

Dari hasil yang diperoleh, untuk S_{Ds} memiliki hasil lebih besar dari 0,5 g dan S_{D1} memiliki nilai lebih besar dari 0,2 g, maka diperoleh Kategori Desain Seismik tipe D Besar Respons Spektrum Berdasarkan SNI 1726:2012.

i. Respons spektrum berdasarkan SNI 1726:2012

Setelah semua parameter percepatan respons spektrum dan percepatan spektrum desain telah didapatkan langkah selanjutnya yaitu membuat grafik respons spektrum seperti Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Grafik Respons Spektra Jakarta Pusat

j. Penentuan faktor reduksi beban gempa R dan faktor pembesaran defleksi C_d .

Untuk struktur bangunan ini berupa sistem ganda rangka pemikul momen khusus (dinding geser beton bertulang khusus), dengan kategori desain seismic termasuk kategori D. Diiijinkan dignakan tanpa batasan ketinggian. Dalam SNI 1726:2012 yang dapat dilihat pada tabel 2.12 digunakan nilai faktor reduksi dan faktor pembesaran defleksi sebagai berikut :

$$R = 7$$

$$C_d = 5,5$$

k. Penentuan Periode alami fundamental pendekatan

Berdasarkan Tabel 2.12, koefisien batas atas periode, $C_u=1,4$

Pendekatan periode fundamental alami :

$$T_a = 0,0466 \times H^{0,9}$$

$$= 1.146 \text{ detik}$$

Batas atas periode fundamental alami:

$$C_u \times T_a = 0,835 \text{ detik}$$

Periode struktur hasil analisis modal SAP2000 sebagai berikut:

$$T_c = 0,706 \text{ detik untuk arah x}$$

l. Penentuan gaya geser akibat beban gempa berdasarkan metode statik ekuivalen.

1. Penentuan koefisien respons seismik

Pada tanah keras (SC)

$$C_S = \frac{SDS}{\frac{R}{I_e}} = \frac{0,5305}{\frac{7}{1,5}} = 0,1137$$

$$C_{S \text{ maks}} = \frac{SD1}{T \times \frac{R}{I_e}} = \frac{0,3056}{0,706 \times \frac{7}{1,5}} = 0,0926$$

$$C_{S \text{ min}} = 0,044 \times SDS \times I_e = 0,044 \times 0,5305 \times 1,5 = 0,035$$

$$C_{S \text{ min}} > 0.01$$

Pada tanah keras (SD)

$$C_S = \frac{SDS}{\frac{R}{I_e}} = \frac{0,5849}{\frac{7}{1,5}} = 0,1253$$

$$C_{S \text{ maks}} = \frac{SD1}{T \times \frac{R}{I_e}} = \frac{0,3655}{0,706 \times \frac{7}{1,5}} = 0,112$$

$$C_{S \text{ min}} = 0,044 \times SDS \times I_e = 0,044 \times 0,5849 \times 1,5 = 0,0386$$

$$C_{S \text{ min}} > 0.01$$

Pada tanah keras (SE)

$$C_S = \frac{SDS}{\frac{R}{I_e}} = \frac{0,6055}{\frac{7}{1,5}} = 0,1297$$

$$C_{S \text{ maks}} = \frac{SD1}{T \times \frac{R}{I_e}} = \frac{0,529}{0,709 \times \frac{7}{1,5}} = 0,16$$

$$C_{S \text{ min}} = 0,044 \times SDS \times I_e = 0,044 \times 0,6055 \times 1,5 = 0,03996$$

$$C_{S \text{ min}} > 0.01$$

Maka dari perhitungan diatas dapat disimpulkan koefisien yang digunakan adalah untuk tanah SC sebesar 0,09275, tanah SD sebesar 0,11095, dan tanah SE sebesar 0,12974.

2. Perhitungan *base shear*

Berat struktur, $W = 80.121,8$ kN

Pada tanah keras (SC)

$$V = C_s \times W = 0,09275 \times 80.121,8 = 7.431 \text{ kN}$$

Pada tanah keras (SD)

$$V = C_s \times W = 0,11095 \times 80.121,8 = 8.889,3 \text{ kN}$$

Pada tanah keras (SE)

$$V = C_s \times W = 0,12974 \times 80.121,8 = 10385.486 \text{ kN}$$

m. Pengecekan partisipasi massa

Persyaratan jumlah ragam dalam analisis respons spektrum ragam, analisis diharuskan memiliki jumlah ragam yang cukup dengan tujuan mendapatkan partisipasi massa yang sesuai dengan persyaratan yaitu minimal 90% dari massa aktual pada setiap arah horisontal ortogonal pada respons yang akan ditinjau.

Tabel 3.5 Partisipasi massa pada permodelan gedung bertingkat 9 lantai

OutputCase Text	SumUX Unitless	SumUY Unitless
MODAL	0,86755	0,86997
MODAL	0,86756	0,87296
MODAL	0,86757	0,91775
MODAL	0,86757	0,91777
MODAL	0,86757	0,91777
MODAL	0,86757	0,91777
MODAL	0,86757	0,91777
MODAL	0,86757	0,91777
MODAL	0,86757	0,91777
MODAL	0,86757	0,91777
MODAL	0,86763	0,91782
MODAL	0,86763	0,91782
MODAL	0,86763	0,91782
MODAL	0,86767	0,91782
MODAL	0,91694	0,91783
MODAL	0,91708	0,91783
MODAL	0,91733	0,91783

n. Gempa masukan

Gempa masukan digunakan 3 rekaman gempa untuk setiap jenis tanah dalam penelitian ini.

1) Tanah keras (SC)

Cholame, San Luis Obispo, dan Southern Calif

2) Tanah sedang (SD)

Humbolt Bay, Imperial Valley, dan Northwest Calif

3) Tanah lunak (SE)

Imperial Valley (06), Imperial Valley (07), dan Yountville

Data gempa masukan tersebut dapat dilihat pada Lampiran 3.

o. Modifikasi Akselogram

Pada penelitian ini pergerakan tanah harus diskalakan sedemikian rupa sehingga nilai rata-rata spektrum respons dengan redaman 5 persen dari semua gerak tanah yang sesuai di situs tersebut tidak boleh kurang dari spektrum respons desain setempat untuk rentang perioda dari $0,2T$ hingga $1,5T$, di mana T adalah perioda getar alami struktur dalam ragam getar fundamental untuk arah respons yang dianalisis (SNI 03-1726-2012).

Dengan menggunakan program *Seismomatch* yang bertujuan untuk mendapatkan rekaman gempa yang konvergen dengan nilai respons spektrum desain. Dengan respons spektrum desain gempa disesuaikan sehingga pada rentang $0,2T$ hingga $1,5T$ nilai percepatannya akan mendekati.

p. Pengecekan perpindahan yang diijinkan

Simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) tidak diijinkan melewati simpangan antar lantai ijin (Δ_a) hal ini diatur dalam SNI 1726-2012 pasal 7.12.1.

Tabel 3.6 Perhitungan Simpangan Antar Lantai Izin

Lantai	Tinggi Lantai (mm)	0.01 x tinggi lantai	Simpangan antar lantai izin (mm)
9	4000	40	371
8	4000	40	331
7	4000	40	291
6	4000	40	251
5	4000	40	211
4	4000	40	171
3	4000	40	131
2	4000	40	91
1	3100	31	51
0	2000	20	20

q. Kombinasi Pembebanan Gempa

Berdasarkan SNI 03-1726-2012 untuk kombinasi beban seismik terkait faktor redundansi pada struktur bangunan yang dirancang tergolong kategori seismik desain D, memiliki nilai sebesar 1,3.

1) Tanah keras (SC)

a) Kombinasi beban mati (D), beban hidup (L), dan beban gempa (Q).

$$(1,2+0,2S_{DS}) + \rho Q_E + L$$

$$(1,2 + 0,2 \times 0,5304) D + 1,3 Q + L$$

$$1,3061 D + 1,3 Q + L$$

b) Kombinasi beban mati (D), dan beban gempa (Q).

$$(0,9-0,2S_{DS}) D + \rho Q_E$$

$$(0,9- (0,2 \times 0,5304)) D + 1,3Q_E$$

$$0,7939 D + 1,3 Q_E$$

2) Tanah keras (SD) :

a) Kombinasi beban mati (D), beban hidup (L), dan beban gempa (Q).

$$(1,2+0,2S_{DS}) + \rho Q_E + L$$

$$(1,2 + 0,2 \times 0,5849) D + 1,3 Q + L$$

$$1,917 D + 1,3 Q + L$$

b) Kombinasi beban mati (D), dan beban gempa (Q).

$$(0,9-0,2S_{DS}) D + \rho Q_E$$

$$(0,9- (0,2 \times 0,5849)) D + 1,3Q_E$$

$$0,783 D + 1,3 Q_E$$

3) Tanah keras (SE) :

a) Kombinasi beban mati (D), beban hidup (L), dan beban gempa (Q).

$$(1,2+0,2S_{DS}) + \rho Q_E + L$$

$$(1,2 + 0,2 \times 0,605) D + 1,3 Q + L$$

$$1,321 D + 1,3 Q + L$$

b) Kombinasi beban mati (D), dan beban gempa (Q).

$$(0,9-0,2S_{DS}) D + \rho Q_E$$

$$(0,9- (0,2 \times 0,605)) D + 1,3Q_E$$

$$0,7789 D + 1,3 Q_E$$

Kedua jenis kombinasi tersebut akan ditinjau dari kedua arah yaitu arah x dan y agar menghasilkan beberapa jenis kombinasi beban yang lebih rinci.

3.3.4 Faktor Skala Akibat Pengaruh *Base Shear*

Berdasarkan SNI 03-1726-2012 memberikan persyaratan nilai geser dasar nilai hasil analisis dinamik (V_d) $\geq 85\%$ dari hasil analisis statik (V_s) berdasarkan SNI 1726:2012. Tabel 5.1 adalah hasil perhitungan rasio antara analisis dinamik (V_d) dengan analisis statik (V_s). Setelah dihitung semua data akselogram memenuhi rasio minimum.

Tabel 3.7 Rasio Gaya Geser Dasar Tanah Keras (SC)

Beban Gempa (SC)	$V_{dinamik}, V_d$ (kN)	V_{statik}, V_s (kN)	Faktor pengali	<i>Input SAP2000</i>
TH SC 1X	6103.691	6289.609	1.03046	2.1661
TH SC 1Y	6026.074	6289.609	1.043732	2.1940
TH SC 2X	6531.197	6289.609	0.96301	2.0243
TH SC 2Y	6538.77	6289.609	0.961895	2.0220
TH SC 3X	6745.862	6289.609	0.932365	1.9599
TH SC 3Y	6898.15	6289.609	0.911782	1.9167

Tabel 3.8 Rasio Gaya Geser Dasar Tanah Keras (SD)

Beban Gempa (SD)	V_{dinamik}, V_d (kN)	V_{statik}, V_s (kN)	Faktor pengali	<i>Input</i> <i>SAP2000</i>
TH SD 1X	7466.547	7523.939	2.11836	2.1184
TH SD 1Y	7206.534	7523.939	2.19479	2.1948
TH SD 2X	4235.246	7523.939	3.73457	3.7346
TH SD 2Y	4925.769	7523.939	3.211037	3.2111
TH SD 3X	9134.7	7523.939	1.73151	1.7316
TH SD 3Y	9288.337	7523.939	1.702869	1.7029

Tabel 3.9 Rasio Gaya Geser Dasar Tanah Keras (SE)

Beban Gempa (SE)	V_{dinamik}, V_d (kN)	V_{statik}, V_s (kN)	Faktor pengali	<i>Input</i> <i>SAP2000</i>
TH SE 1X	6760.76	8827.663	2.744886	2.7449
TH SE 1Y	6071.108	8827.663	3.056693	3.0567
TH SE 2X	7012.49	8827.663	2.646352	2.6464
TH SE 2Y	5937.724	8827.663	3.125358	3.1254
TH SE 3X	3611.951	8827.663	5.137809	5.1379
TH SE 3Y	3895.015	8827.663	4.764427	4.7645