

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Pendahuluan

Pada bab ini akan dijelaskan beberapa analisis, perhitungan, dan hasil serta pembahasan elemen struktur kolom, dan balok, serta dijelaskan secara mendetail mengenai perhitungan beban gempa.

4.2. Penyesuaian dengan DED (Detail of Engineering Design)

Pada gambar perencanaan yang telah direncanakan, dilakukan pembuatan desain gedung tipe menengah (*Middle-Rise*) sesuai dengan perencanaan awal, namun terjadi perlakuan yaitu perubahan dimensi (optimasi) agar struktur penampang beton disesuaikan dengan kebutuhan parameter *displacement* yang diharapkan akan ada beberapa kota besar di Indonesia mengalami *collapse* akibat beban gempa yang dimasukkan ke dalam desain struktur gedung. Gambar perencanaan dapat dilihat pada Lampiran 1. Gambar Rencana Kerja (*Shop Drawing*) yaitu as bangunan.

4.3. Prakata Pembebanan

Berbagai macam pembebanan yang diinput ke dalam model struktur disesuaikan dengan SNI 1726:2012 dan SNI 1727:2013. Pada penelitian ini diberikan pembebanan berupa beban hidup, beban mati, dan beban gempa. Syarat-syarat yang digunakan disesuaikan dengan peraturan pada SNI 2487:2013.

4.3.1. Beban Mati (Dead Load, DL)

Beban mati merupakan beban yang tetap dan konstan/tidak berpindah-pindah. Beban Mati dibagi menjadi dua, yaitu beban sendiri dan beban tambahan yang melekat pada struktur secara permanen. Beban Mati termasuk didalamnya terletak pada rangka struktur, lantai, dinding, plafon, atap, dan sebagainya. Pada penelitian ini, digunakan perhitungan beban mati secara otomatis melalui program SAP2000 dengan menginput data sesuai dengan SNI 1727:2013. Berikut data beban mati yang dimasukkan ke program SAP2000.

- a. Beban mati pada lantai gedung

$$\text{Beban keramik} = 24 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned}
 \text{Spesi (tebal 2 cm)} &= 0,02 \text{ m} \times 2100 \text{ kg/m}^2 \\
 &= 42 \text{ kg/m} \\
 \text{Pasir urug (tebal 5 cm)} &= 0,05 \times 1600 \text{ kg/m}^2 \\
 &= 80 \text{ kg/m} \\
 \text{Total} &= 146 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

b. Beban mati pada atap

Pada penelitian ini pembebanan pada atap disederhanakan sesuai dengan analisis perhitungan dan perencanaan pada atap tersebut. Atap yang dimodelkan pada program SAP2000 pada struktur portal dijadikan sebagai beban. Asumsi tumpuan pada atap adalah sendi dan rol. Detail pada struktur atap dapat dilihat pada Lampiran I merupakan *Shop Drawing* (gambar rencana kerja). Berikut merupakan informasi data pada atap.

- 1) Struktur Rangka Atap : Struktur Rangka Atap Baja
- 2) Penutup Atap : Genteng Beton
- 3) Tipe Rangka Kuda-kuda : Tipe I

c. Beban dinding yang diterima pada balok

$$\begin{aligned}
 \text{Berat dinding (} rb \text{)} &= 250 \text{ kg/m}^2 \text{ (PPURG-1987)} \\
 \text{Tinggi balok anak} &= 300 \text{ mm} = 30 \text{ cm} \\
 \text{Tinggi balok Induk} &= 450 \text{ mm} = 45 \text{ cm} \\
 \text{Tinggi balok sloof} &= 350 \text{ mm} = 35 \text{ cm} \\
 \text{Tinggi balok ring} &= 300 \text{ mm} = 30 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

1) Lantai dasar ke lantai 2

Ketinggian lantai dasar (lantai 1) sampai lantai 2 = 4 m

Tie beam – balok induk

$$\begin{aligned}
 t' &= 4 - 0,45 \\
 &= 3,55 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\text{Berat dinding (} rb \text{)} = 250 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned}
 qd &= rb \times t' \\
 &= 250 \times 3,55 \\
 &= 887,5 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

2) Lantai 2 ke lantai 5

Ketinggian lantai 2 sampai lantai 5 = 3 m

Balok induk – balok induk

$$\begin{aligned} t' &= 3 - 0,45 \\ &= 2,55 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\text{Berat dinding } (rb) = 250 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned} qd &= rb \times t' \\ &= 250 \times 2,55 \\ &= 637,5 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Dengan keterangan :

t = Tinggi dinding

h = Tinggi balok

t' = Tinggi efektif dinding

rb = berat pasangan batu bata

qd = berat dinding

4.3.2. Beban Hidup (Live Load, LL)

Beban Hidup (*Live Load, LL*) adalah beban yang tidak tetap, artinya beban hidup merupakan beban yang dapat berubah-ubah maupun berpindah-pindah. Beban Hidup memiliki beberapa jenis, mulai dari beban hidup yang dapat berpindah dengan tenaganya sendiri seperti manusia, kendaraan, *crane*, dan beban hidup yang tidak dapat bergerak sendiri/ dipindahkan, seperti material dalam gudang, furniture, dan sebagainya. Pada penelitian ini, beban hidup yang diberikan pada pemodelan mengacu pada SNI 1727:2013 pasal 4.10. sebagai berikut ini.

1. Beban Hidup pada lantai gedung

Menggunakan hunian atau penggunaan apartemen. Lobi, Kursi dapat dipindahkan, panggung pertemuan, ruang komputer sebesar $4,79 \text{ kN/m}^2$

2. Beban Hidup pada atap

Beban hidup pada atap dan atau bagian atap serta pada struktur tudung (*canopy*) yang dapat dicapai dan dibebani oleh orang, harus diambil minimum sebesar $0,96 \text{ kN/m}^2$ bidang datar.

4.3.3. Beban Gempa (Earthquake, E)

Pada pemodelan ini, digunakan beban gempa yang disesuaikan dengan SNI 03-1726-2012. Dibawah ini akan dijelaskan contoh tahapan perhitungan beban gempa Jakarta Pusat dengan jenis tanah keras (*SC*) untuk pemodelan struktur tersebut. Berikut adalah penjelasannya.

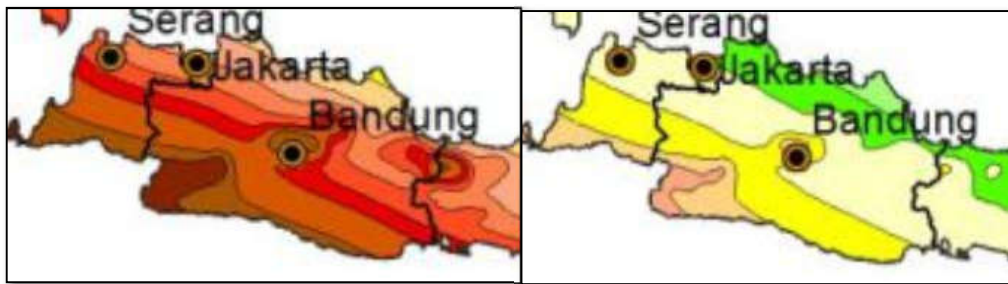
1. Pengolahan dan perhitungan beban gempa sesuai dengan SNI gempa 2012
 - a. Data teknis struktur :

Tinggi gedung	= 16 m
Jumlah lantai gedung, n	= 5
Tinggi lantai gedung	= 4 m (lantai 1)
	= 3 m (lantai 2-5)
 - b. Pemilihan faktor keutamaan beban gempa dan kategori risiko bangunan struktur gedung

Fungsi gedung	= Gedung perkantoran
Faktor keutamaan gempa, I_e	= 1,0 (sesuai pasal 4.1.2.)
Kategori risiko bangunan	= II (sesuai pasal 4.1.2.)
 - d. Penentuan kelas situs

Pada penelitian ini sesuai dengan SNI gempa 2012 menggunakan tiga jenis tanah, yaitu tanah keras (*SC*), tanah sedang (*SD*), dan tanah lunak (*SE*). Pada tahapan ini diberikan contoh pemilihan kelas situs yaitu tanah keras (*SC*).
 - e. Penentuan parameter respon spektra periode 1 detik dan periode pendek

Dalam menentukan parameter respon spektra periode 1 detik dan periode pendek dapat ditentukan dengan melihat pada Buku Peta Gempa 2017 (halaman 13-14). Berikut merupakan potongan peta gempa 2017 dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Potongan Peta Gempa 2017 untuk menentukan parameter percepatan periode 1 detik (kiri, S_I), dan periode pendek (kanan, S_s) (Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017)

Dengan menentukan koordinat Jakarta Pusat pada Google Maps, dilanjutkan dengan pembacaan peta dengan bantuan program AutoCAD untuk mendapatkan data batas atas dan batas bawah, didapatkan nilai sebagai berikut ini.

Percepatan periode 1 detik (S_I)

Batas atas = 0,4

Batas bawah = 0,3

Percepatan periode pendek (S_s)

Batas atas = 0,8

Batas bawah = 0,7

serta program Excel sebagai pengolah data batas atas dan bawah yang di interpolasikan agar mendapatkan nilai S_I dan S_s yang akurat. Berikut nilai percepatan periode 1 detik dan periode pendek sebagai berikut ini.

Percepatan periode 1 detik, S_I = 0,307 g

Percepatan periode pendek, S_s = 0,714 g

f. Menentukan koefisien situs F_a dan F_v

Dalam menentukan koefisien situs F_a ditentukan dari nilai S_s (Percepatan periode pendek), dan koefisien situs F_v ditentukan dari nilai S_I (Percepatan periode 1 detik) disesuaikan dengan pasal 6.2. Berikut merupakan nilai yang didapat yaitu sebesar :

F_a = 1,1144 (hasil perhitungan interpolasi)

F_v = 1,4930 (hasil perhitungan interpolasi)

- g. Perhitungan respons spektrum percepatan

$$\begin{aligned} S_{MS} &= F_a \times S_s \\ &= 0,7957 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{MI} &= F_v \times S_I \\ &= 0,4584 \text{ g} \end{aligned}$$

- h. Menentukan respons spektrum desain

Menentukan respons spektrum desain berdasarkan respons spektrum percepatan. Berikut respons spektrum desain sebesar.

$$\begin{aligned} S_{DS} &= 2/3 \times S_{MS} \\ &= 0,5305 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{DI} &= 2/3 \times S_{MI} \\ &= 0,3056 \text{ g} \end{aligned}$$

- i. Menentukan tipe kategori desain seismik

Berdasarkan pasal 6.5. dari hubungan parameter nilai S_{DS} dan S_{DI} dengan kategori risiko didapatkan kategori desain seismik tipe D

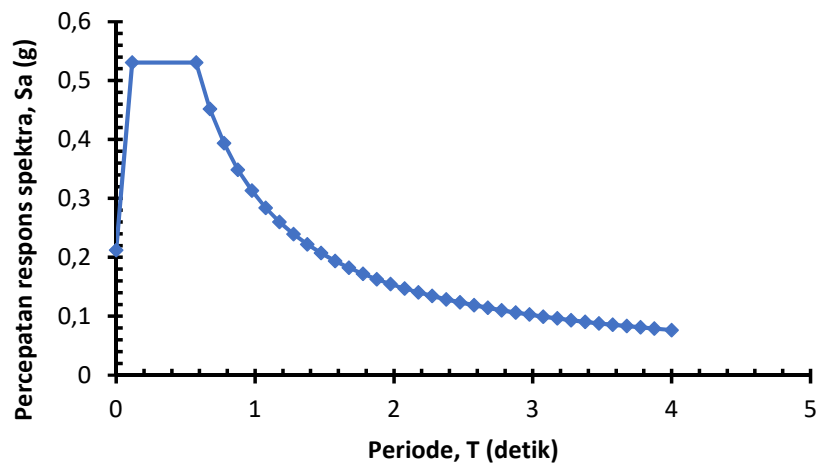
- j. Penentuan nilai respons spektrum berdasarkan SNI 1726:2012

Setelah mendapatkan nilai S_{DS} dan S_{DI} yang kemudian dapat menggambarkan grafik respons spektrum sesuai dengan SNI 1726:2012 dengan data titik acuan yang dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Titik Acuan dalam Menggambar Respons Spektrum Sesuai SNI Gempa 2012

T (Detik)	Keterangan	Sa	Keterangan
0,00	awal	0,21	$0,4 \times S_{DS}$
0,12	$T_0 = 0,2 \times S_{DI} / S_{DS}$	0,53	S_{DS}
0,58	$T_s = S_{DI} / S_{DS}$	0,53	S_{DS}
0,68	$T_s + 0,1$	0,45	$S_a = S_{DI} / T$
4,00	$T = 4$	0,08	$S_a = S_{DI} / T$

Setelah mendapatkan titik acuan respons spektrum, kemudian digambarkan grafik respons spektrum sesuai dengan SNI 1726:2012. Berikut digambarkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Grafik Respons Spektrum Gedung Tipikal *Middle-Rise* di Jakarta Pusat dengan kelas situs SC

k. Menentukan parameter sistem struktur

Menentukan nilai R (faktor reduksi) dan C_d (faktor pembesaran defleksi) untuk SRPMK (Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus), dengan kategori desain seismik tipe D, maka tidak dibatasi (TB), artinya diijinkan tidak adanya batasan ketinggian. Sesuai dengan SNI 1726:2012 Pasal 7.2.2 dengan sistem gaya penahan gaya seismik tersebut digunakan nilai faktor pembesaran defleksi dan faktor reduksi adalah sebagai berikut.

$$\text{Faktor Pembesaran Defleksi } (C_d) = 5,5$$

$$\text{Faktor Reduksi } (R) = 8$$

l. Pemilihan analisis pembebanan gempa secara prosedural

Dalam menentukan prosedur analisis pembebanan gempa disesuaikan dengan SNI 1726:2012 pada pasal 7.7.3. untuk kategori desain seismik tipe D, dengan memilih prosedur riwayat respons seismik (*time history*) dikarenakan ruang lingkup penelitian ini analisis pembebanan gempa diharuskan menggunakan *time history analysis* (riwayat respons seismik).

m. Menentukan pendekatan periode alami fundamental struktur

Periode alami fundamental yang digunakan merupakan hasil analisis struktur dari program SAP2000. Periode dari hasil analisis struktur yang digunakan lebih besar dari periode pendekatan dan kurang dari periode

pendekatan yang dikalikan dengan batas atas periode. Pada pasal 7.8.2.1 sesuai dengan tabel 14 pada SNI gempa 2012, untuk nilai $S_{DI} > 0,3$ maka koefisien batas atas yang dipilih adalah 1,4 (C_u). Dari analisis secara otomatis menggunakan program SAP2000 didapatkan hasil *running* nilai periode (T) sebagai berikut ini.

$$T_X = 0,7846 \text{ detik}$$

$$T_Y = 0,6667 \text{ detik}$$

Dari data tersebut kemudian menentukan periode getar maksimum dan periode getar minimum untuk mengetahui pendekatan arah gempa X dan arah gempa Y . Data yang didapatkan adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} T_{a \text{ min}} &= C_t \times H^{0,9} \\ &= 0,0466 \times 16^{0,9} \\ &= 0,5651 \text{ detik} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_{a \text{ maks}} &= C_u \times T_{a \text{ min}} \\ &= 1,4 \times 0,5651 \\ &= 0,7911 \text{ detik, } T_{a \text{ maks}} > T_X \text{ dan } T_Y, \text{ Aman} \end{aligned}$$

n. Perhitungan gaya geser rencana akibat beban gempa

Pada perhitungan ini diwakili dengan parameter-parameter dari data Jakarta Pusat dengan kelas situs SC. Berikut adalah parameter yang didapatkan.

$$\text{Lokasi} = \text{Jakarta Pusat}$$

$$\text{Kelas situs} = \text{Tanah keras (SC)}$$

$$S_S = 0,714 \text{ g}$$

$$S_I = 0,307 \text{ g}$$

$$F_a = 1,114 \text{ g}$$

$$F_v = 1,493 \text{ g}$$

$$S_{DS} = 0,530 \text{ g}$$

$$S_{DI} = 0,306 \text{ g}$$

$$R = 8$$

$$I_e = 1$$

$$T_X = 0,7846 \text{ detik}$$

$$T_Y = 0,6667 \text{ detik}$$

- o. Perhitungan *base shear* (gaya geser dasar seismik)

$$\begin{aligned} C_s &= \frac{SDS}{\frac{R}{I_e}} \\ &= \frac{0,530}{\frac{8}{1}} \\ &= 0,066 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{s \text{ maks}} &= \frac{SD1}{T \times \frac{R}{I_e}} \\ &= \frac{0,306}{0,7846 \times \frac{8}{1}} \\ &= 0,049 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{s \text{ min}} &= 0,044 \times SDS \\ &= 0,044 \times 0,530 \\ &= 0,023 \end{aligned}$$

Sehingga nilai C_s yang dipilih adalah 0,049

Setelah mendapatkan koefisien gaya geser kemudian dihitung gaya geser dasar seismik.

$$\begin{aligned} V &= C_s \times W_t \\ &= 0,049 \times 16,014.5 \text{ kN} \\ &= 779,6 \text{ kN} \end{aligned}$$

Setelah mendapatkan parameter gaya geser dasar seismik kemudian dilakukan pengecekan nilai hasil gaya geser dari analisis *time history* yang didapat dari hasil output SAP2000. Menurut SNI 1726:2012 Apabila nilai gaya geser dasar maksimum hasil analisis kurang dari $0,85V$, maka simpangan antar lantai harus dikalian dengan $0,85V$.

4.4. Analisis Displacement

Perpindahan (*Displacement*) merupakan seberapa besar bangunan struktur khususnya gedung bergerak/berpindah pada setiap lantainya. Setelah proses *running* pada SAP2000 kemudian didapatkan parameter *displacement U1* dan *U2* dari catatan rekaman gempa yang sudah dipilih seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.3.

Joint Displacements

File View Edit Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted Joint Displacements

Filter:

	Joint Text	OutputCase	CaseType Text	StepType Text	U1 mm	U2 mm	U3 mm	R1 Radians	R2 Radians	R3 Radians
▶	1	TH SC-2X	LinModHist	Max	6.551644	1.403728	0.066479	3.172E-06	0.000135	2.2E-05
	1	TH SC-2X	LinModHist	Min	-6.422213	-1.516255	-0.069627	-3.246E-06	-0.000127	-2.1E-05
	1	TH SC-2Y	LinModHist	Max	2.27669	4.088208	0.03155	3.609E-06	6E-05	4.7E-05
	1	TH SC-2Y	LinModHist	Min	-2.611686	-4.040772	-0.027383	-2.866E-06	-7.1E-05	-5E-05
	1	TH SC-3X	LinModHist	Max	7.761592	5.207557	0.068286	3.857E-06	0.000163	7E-05
	1	TH SC-3X	LinModHist	Min	-6.178324	-5.306374	-0.085544	-4.764E-06	-0.000125	-7.2E-05
	1	TH SC-3Y	LinModHist	Max	5.602152	4.251399	0.071953	3.835E-06	0.000117	7.2E-05
	1	TH SC-3Y	LinModHist	Min	-5.990822	-4.247882	-0.062839	-3.196E-06	-0.000123	-7.5E-05
	1	TH SC-1X	LinModHist	Max	6.551311	1.403863	0.067602	2.828E-06	0.000136	2.2E-05
	1	TH SC-1X	LinModHist	Min	-6.422906	-1.516624	-0.069817	-3.496E-06	-0.000127	-2.1E-05
	1	TH SC-1Y	LinModHist	Max	2.276123	4.089116	0.040915	3.033E-06	6.2E-05	4.7E-05
	1	TH SC-1Y	LinModHist	Min	-2.610995	-4.041767	-0.037753	-3.161E-06	-7E-05	-5E-05
	2	TH SC-2X	LinModHist	Max	6.551644	1.396224	0.1132	6.36E-06	6.1E-05	2.2E-05
	2	TH SC-2X	LinModHist	Min	-6.422213	-1.510469	-0.106867	-6.122E-06	-5.8E-05	-2.1E-05
	2	TH SC-2Y	LinModHist	Max	2.27669	4.163961	0.054469	1E-05	2.7E-05	4.7E-05
	2	TH SC-2Y	LinModHist	Min	-2.611686	-4.092923	-0.064168	-9.838E-06	-3.1E-05	-5E-05

Record: << < 1 > >> of 26184 Add Tables... Done

Gambar 4.3 Parameter *displacement* dari hasil *running* program SAP2000

Dari parameter tersebut kemudian dilakukan pemilahan nilai *displacement* pada setiap catatan rekaman gempa sebagai pengelompokan dari parameter tersebut pada setiap joint per tiap lantai. Setelah pengelompokan tersebut kemudian dilakukan pengecekan terhadap setiap sudut struktur untuk mendapatkan parameter *displacement* terbesar yang diterima oleh struktur gedung *middle rise* ini.

4.4.1. Simpangan Antar Lantai

Sesuai dengan SNI 03-1726:2012 Pasal 7.12.1 batasan simpangan antar lantai tingkat dengan kategori risiko II dengan struktur rangka pemikul momen khusus, dipilih jenis struktur Semua Struktur Lainnya dengan $0,020h_x$ setiap tinggi per lantai tingkat. pada penelitian ini batas simpangan izin menggunakan hasil perhitungan pada 2% tiap lantai. Pada Tabel 4.2 merupakan hasil perhitungan dari batas simpangan izin antar lantai tersebut. Berikut perhitungan batasan antar lantai dari penjelasan tersebut.

Batas simpangan izin antar lantai = $0,020 \times$ tinggi per lantai

Lantai dasar = 2 m = 2000 mm
 = $0,020 \times 2000$
 = 40 mm

Lantai 1 = 4 m = 4000 mm
 = $0,020 \times 4000$

	= 80 mm
Lantai 2	= 3 m = 3000 mm
	= $0,020 \times 3000$
	= 60 mm
Lantai 3	= 3 m = 3000 mm
	= $0,020 \times 3000$
	= 60 mm
Lantai 4	= 3 m = 3000 mm
	= $0,020 \times 3000$
	= 60 mm
Lantai 5	= 3 m = 3000 mm
	= $0,020 \times 3000$
	= 60 mm

Tabel 4.2 Simpangan izin antar lantai

No	Lantai	Simpangan Izin (mm)
1	Dasar	40
2	1	80
3	2	60
4	3	60
5	4	60
6	5	60

Dari parameter tersebut kemudian dibuat grafik hubungan antara *displacement* dengan jumlah lantai dengan batas simpangan antar lantai izin sebagai acuan dalam menentukan apakah struktur tersebut aman atau tidak. Dengan membagi per sebelas kota dalam satu grafik bertujuan untuk mempermudah dan efisiensi parameter dalam pembacaan grafik yang dapat dilihat pada Gambar 4.5-4.10. Tabel 4.3-4.8 merupakan nama kota yang telah diurutkan berdasarkan parameter perpindahan terkecil hingga besar dengan warna disesuaikan nilai perpindahan yang ditunjukkan pada Gambar 4.4. Grafik hubungan antara perpindahan dengan jumlah lantai secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran 3.

Tabel 4.3 Urutan kota kelas situs SC arah X

No	Nama Kota (Arah X)								
1	2.8545	4.774	5.071	5.2745	13.002	14.2505	15.1635	16.533	17.2535
	T.PANDAN	MAKASSAR	PANGKAL PINANG	SAMARINDA	DUMAI	PALEMBANG	JEPARA	JAMBI	KENDARI
	17.9905	18.172	20.4985	20.845	21.736	22.176	22.649	22.748	22.7645
2	SINGKANG	PEKANBARU	TUBAN	INDRAMAYU	PEMALANG	FAKFAK	SITUBONDO	PEKALONGAN	PAMEKASAN
	22.803	23.5455	24.1065	24.5905	25.3275	26.3285	26.378	26.444	26.51
3	BLORA	KUDUS	PASURUAN	TEGAL	KUPANG	SURABAYA	CIREBON	PROBOLINGGO	BREBES
	26.6035	26.972	26.9775	26.9775	27.2085	27.357	27.8245	28.0115	28.127
4	LANGSA	PURWODADI	BONDOWOSO	JAKUT	WONOSOBO	MEDAN	SEMARANG	LUMAJANG	JAKPUS
	28.3085	28.6605	28.732	28.7925	28.908	28.985	29.117	29.2325	29.2545
5	METRO	P.SIANTAR	JAKTIM	JAKBAR	TIDORE.K	JAKSEL	MOJOKERTO	TANGERANG	TANGSEL
	29.359	29.513	30.349	30.382	30.5635	30.602	30.646	30.833	31.163
6	BEKASI	DEPOK	BIMA	SALATIGA	PURWAKARTA	NGAWI	SERANG	BANYUWANGI	MANADO
	31.3225	31.4435	31.4435	31.581	31.7295	31.7625	31.889	31.9605	32.054
7	PURWOKERTO	CILEGON	SURAKARTA	MAGELANG	JEMBER	MALANG	BANJAR	MATARAM	MADIUN
	32.098	32.098	32.901	33.1375	33.6435	33.99	34.1825	34.2155	34.958
8	GENTENG	TOMOHON	KEDIRI	AMBON	KEBUMEN	DENPASAR	PONOROGO	B. LAMPUNG	LAHAT
	35.0185	35.057	35.2	35.2165	35.343	35.442	38.874	38.9565	41.03
9	TASIK	BOGOR	TULUAGUNG	CILACAP	PANDEGLANG	TRENGGELEK	KOTAMOBAGU	Lhokseumawe	SORONG
	41.6185	41.734	41.8055	42.141	42.592	46.508	46.9095	49.808	54.978
10	PACITAN	BANDUNG	CIMAHI	TUTUT	SUKABUMI	PADANG	PAGAR ALAM	GORONTALO	YOGYAKARTA
	56.9635	60.3185	69.5475	69.8775	75.7955	87.3565	87.4005	88.3355	99.3465
11	BANDA ACEH	TUAL	BENGKULU	PALU	G.SITOLI	B.TINGGI	JAYAPURA	SUNGAI PENUH	P.SIDEMPUAN

Tabel 4.4 Urutan kota kelas situs SC arah Y

No	Nama Kota (Arah Y)								
1	1.925	3.63	3.696	4.103	8.1785	8.6405	9.779	9.9715	10.8515
	T.PANDAN	MAKASSAR	PANGKAL PINANG	SAMARINDA	DUMAI	PALEMBANG	JEPARA	JAMBI	KENDARI
	11.242	11.3795	12.6225	12.9085	13.486	13.4915	13.552	13.86	14.0195
2	SINGKANG	PEKANBARU	TUBAN	INDRAMAYU	PAMEKASAN	PEKALONGAN	SITUBONDO	PEMALANG	BLORA
	14.5475	14.9765	15.389	15.455	15.5815	15.7245	15.8345	16.0435	16.214
3	KUDUS	FAKFAK	PASURUAN	TEGAL	PROBOLINGGO	LANGSA	BREBES	CIREBON	SURABAYA
	16.544	16.599	16.6155	16.687	16.6925	17.105	17.5175	17.8255	17.853
4	KUPANG	SEMARANG	BONDOWOSO	MEDAN	LUMAJANG	WONOSOBO	PURWODADI	P.SIANTAR	METRO
	17.9795	18.0125	18.1115	18.1555	18.282	18.546	18.5955	18.656	18.667
5	JAKTIM	BANYUWANGI	BEKASI	PURWAKARTA	TIDORE.K	JAKPUS	NGAWI	JAKSEL	JAKUT
	18.8375	18.8375	18.865	18.975	19.041	19.2115	19.2775	19.3325	19.3435
6	TANGERANG	PURWOKERTO	TANGSEL	JAKBAR	SERANG	SURAKARTA	MOJOKERTO	CILEGON	MAGELANG
	19.5415	19.6295	19.712	19.8	19.899	20.24	20.3005	20.3225	20.5095
7	JEMBER	MADIUN	SALATIGA	BIMA	MALANG	KEDIRI	MANADO	TOMOHON	MATARAM
	20.559	20.5865	20.603	20.6525	21.1475	21.384	21.4335	21.571	21.5765
8	DEPOK	GENTENG	BANJAR	KEBUMEN	PONOROGO	B. LAMPUNG	BOGOR	TASIK	DENPASAR
	21.868	21.912	22.022	22.0825	22.2475	23.1055	23.749	24.4035	25.124
9	CILACAP	TULUAGUNG	LAHAT	PANDEGLANG	TRENGGELEK	Lhokseumawe	AMBON	BANDUNG	KOTAMOBAGU
	25.212	25.7455	26.2955	27.2415	28.248	28.413	29.425	32.692	35.871
10	PACITAN	SUKABUMI	SORONG	CIMAHI	TUTUT	PADANG	PAGAR ALAM	GORONTALO	YOGYAKARTA
	36.6685	41.789	45.2485	46.6895	50.6825	57.112	58.267	59.2075	64.955
11	BANDA ACEH	TUAL	BENGKULU	PALU	G.SITOLI	SUNGAI PENUH	B.TINGGI	JAYAPURA	P.SIDEMPUAN

Tabel 4.5 Urutan kota kelas situs SD arah X

No	Nama Kota (Arah X)								
1	3.9875	5.522	6.2865	6.5835	15.1085	15.8565	18.04	18.227	19.833
	T.PANDAN	MAKASSAR	SAMARINDA	PANGKAL PINANG	DUMAI	PALEMBANG	JAMBI	JEPARA	PEKANBARU
	19.9705	20.3555	22.418	22.5225	23.364	23.65	23.683	24.057	24.2385
2	KENDARI	SINGKANG	INDRAMAYU	TUBAN	PEKALONGAN	PAMEKASAN	PEMALANG	SITUBONDO	BLORA
	24.4365	25.322	25.8885	26.0535	26.7465	26.906	26.9885	27.379	27.478
3	FAKFAK	KUDUS	TEGAL	PASURUAN	PROBOLINGGO	KUPANG	LANGSA	SURABAYA	CIREBON
	27.918	28.2315	28.369	28.6605	28.754	28.8255	29.0675	29.227	29.4195
4	BREBES	PURWODADI	MEDAN	BONDOWOSO	WONOSOBO	SEMARANG	LUMAJANG	METRO	JAKPUS
	29.678	29.8155	29.975	30.1345	30.2335	30.4535	30.481	30.492	30.591
5	JAKUT	TIDORE.K	JAKTIM	JAKBAR	P.SIANTAR	BEKASI	MOJOKERTO	BANYUWANGI	PURWAKARTA
	30.8715	30.9925	31.1575	31.3995	31.4985	31.581	31.636	31.7735	31.9495
6	JAKSEL	TANGSEL	TANGERANG	NGAWI	SALATIGA	BIMA	SERANG	CILEGON	JEMBER
	31.9715	32.1585	32.186	32.296	32.4225	32.5325	32.747	32.8955	32.945
7	PURWOKERTO	SURAKARTA	MANADO	DEPOK	AMBON	MAGELANG	MATARAM	GENTENG	TOMOHON
	32.978	33.077	33.5115	34.2705	34.8095	34.914	35.75	35.893	36.014
8	MALANG	MADIUN	BANJAR	KEDIRI	PONOROGO	KEBUMEN	TASIK	BOGOR	DENPASAR
	36.146	36.377	36.4925	36.5255	36.696	37.1415	38.4615	39.974	42.0255
9	B. LAMPUNG	TULUAGUNG	PANDEGLANG	CILACAP	TRENGGELEK	LAHAT	Lhokseumawe	KOTAMOBAGU	PACITAN
	42.7515	42.977	43.0265	43.7745	46.959	46.9645	49.0215	51.986	58.3275
10	SORONG	SUKABUMI	BANDUNG	CIMAHI	TUTUT	PADANG	PAGAR ALAM	GORONTALO	YOGYAKARTA
	58.5915	65.4445	73.194	74.5745	82.3405	92.246	94.2535	94.8585	105.3305
11	BANDA ACEH	TUAL	BENGKULU	PALU	G.SITOLI	SUNGAI PENUH	JAYAPURA	B.TINGGI	P.SIDEMPUAN

Tabel 4.6 Urutan kota kelas situs SD arah Y

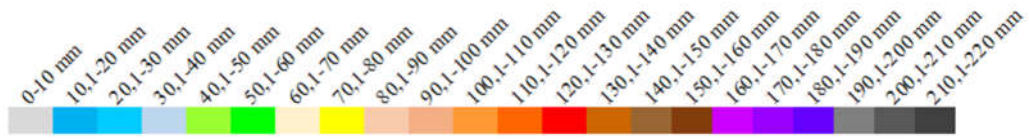
No	Nama Kota (Arah Y)								
1	2.739	3.905	4.3505	4.862	10.9395	11.6545	12.8535	13.1065	13.695
	T.PANDAN	MAKASSAR	SAMARINDA	PANGKAL PINANG	DUMAI	PALEMBANG	JEPARA	JAMBI	KENDARI
	14.311	14.6025	15.873	16.28	16.907	17.0555	17.0775	17.369	17.622
2	SINGKANG	PEKANBARU	TUBAN	INDRAMAYU	PAMEKASAN	PEKALONGAN	SITUBONDO	PEMALANG	BLORA
	17.974	18.0565	18.4635	18.744	19.1125	19.1895	19.2555	19.2885	19.514
3	FAKFAK	KUDUS	PASURUAN	TEGAL	KUPANG	BREBES	CIREBON	PROBOLINGGO	LANGSA
	19.7945	19.8275	19.888	19.9485	20.064	20.141	20.251	20.251	20.746
4	SEMARANG	LUMAJANG	BONDOWOSO	SURABAYA	MEDAN	WONOSOBO	METRO	PURWODADI	JAKBAR
	20.9055	20.955	21.0925	21.1475	21.274	21.296	21.362	21.406	21.483
5	JAKPUS	BEKASI	P.SIANTAR	JAKUT	PURWAKARTA	JAKTIM	JAKSEL	TIDORE.K	MOJOKERTO
	21.8295	21.857	21.978	22.1045	22.1155	22.1265	22.1925	22.374	22.4895
6	TANGERANG	SALATIGA	MANADO	NGAWI	TANGSEL	BANYUWANGI	BIMA	SERANG	DEPOK
	22.506	22.517	22.5225	22.5665	22.6545	22.737	22.781	22.8415	23.0835
7	CILEGON	AMBON	SURAKARTA	TOMOHOH	BANJAR	PURWOKERTO	JEMBER	MALANG	MAGELANG
	23.2045	23.375	23.419	23.5015	24.079	24.266	24.4475	24.6565	24.9755
8	MATARAM	MADIUN	PONOROGO	GENTENG	KEDIRI	KEBUMEN	BOGOR	DENPASAR	TASIK
	25.168	25.223	25.2285	25.278	25.3385	25.9655	26.521	29.931	30.0685
9	PANDEGLANG	B. LAMPUNG	TULUAGUNG	CILACAP	TRENGGELEK	LAHAT	Lhokseumawe	KOTAMOBAGU	PACITAN
	30.69	30.8385	31.8505	32.1255	32.8515	33.484	34.584	39.171	41.3325
10	BANDUNG	SUKABUMI	SORONG	TUTUT	CIMAHI	PADANG	PAGAR ALAM	GORONTALO	YOGYAKARTA
	42.064	50.7485	53.482	57.8545	60.1645	67.441	69.3605	73.1445	76.978
11	BANDA ACEH	TUAL	BENGKULU	PALU	G.SITOLI	SUNGAI PENUH	B.TINGGI	JAYAPURA	P.SIDEMPUAN

Tabel 4.7 Urutan kota kelas situs SE arah X

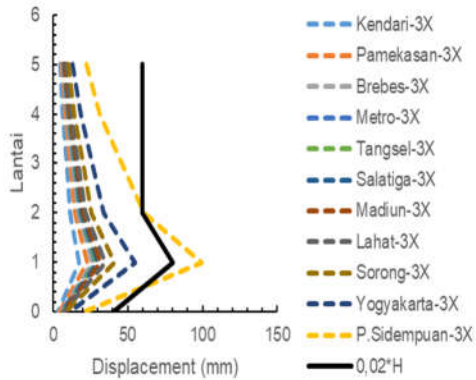
No	Nama Kota (Arah X)								
1	5.9565	8.514	9.7295	10.1255	22.3355	23.056	25.3385	26.235	27.4395
	T.PANDAN	MAKASSAR	SAMARINDA	PANGKAL PINANG	DUMAI	PALEMBANG	JAMBI	JEPARA	PEKANBARU
	29.1225	29.755	30.228	30.888	30.954	31.4765	31.823	31.8945	32.0705
2	KENDARI	INDRAMAYU	SINGKANG	FAKFAK	MADIUN	PEMALANG	PAMEKASAN	TUBAN	PEKALONGAN
	32.197	32.2245	32.2905	32.3125	32.329	32.362	32.483	32.505	32.505
3	JAKSEL	JAKTIM	TANGERANG	BLORA	JAKBAR	DEPOK	KUDUS	JAKUT	PURWODADI
	32.549	32.56	32.5875	32.5875	32.593	32.7855	32.7965	32.846	32.8625
4	TANGSEL	MANADO	MOJOKERTO	PASURUAN	CIREBON	JAKPUS	SALATIGA	BANJAR	BIMA
	32.879	32.901	32.912	33.0165	33.066	33.077	33.099	33.1045	33.165
5	TOMOHOH	TIDORE.K	WONOSOBO	MEDAN	KUPANG	MAGELANG	SURAKARTA	LANGSA	PURWOKERTO
	33.209	33.253	33.253	33.2695	33.286	33.297	33.3135	33.3355	33.341
6	BREBES	PROBOLINGGO	TEGAL	PURWAKARTA	NGAWI	METRO	MALANG	SURABAYA	BEKASI
	33.418	33.4565	33.5005	33.5005	33.506	33.5115	33.539	33.605	33.7205
7	JEMBER	CILEGON	GENTENG	P.SIANTAR	MATARAM	BONDOWOSO	SERANG	BANYUWANGI	SITUBONDO
	33.737	33.748	33.792	33.803	33.8855	33.8855	33.946	33.957	34.0285
8	KEDIRI	LUMAJANG	SEMARANG	BOGOR	B. LAMPUNG	TRENGGELEK	PANDEGLANG	LAHAT	KEBUMEN
	34.0505	34.067	34.1055	34.155	34.2265	34.2265	34.6995	39.7045	40.04
9	TASIK	TULUAGUNG	CILACAP	PONOROGO	DENPASAR	AMBON	TUTUT	Lhokseumawe	KOTAMOBAGU
	40.7	41.8	42.999	43.9175	44.847	46.541	48.3615	52.052	63.6955
10	CIMAHI	PAGAR ALAM	PACITAN	SUKABUMI	SORONG	PADANG	YOGYAKARTA	GORONTALO	BANDA ACEH
	69.0415	75.7955	123.4255	165.7535	169.136	191.8235	206.25	207.647	214.8465
11	BANDUNG	G.SITOLI	BENGKULU	PALU	B.TINGGI	JAYAPURA	SUNGAI PENUH	TUAL	P.SIDEMPUAN

Tabel 4.8 Urutan kota kelas situs SE arah Y

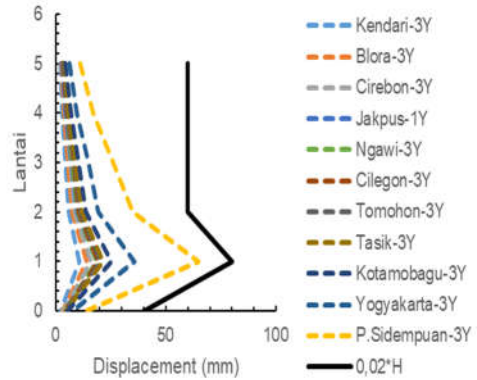
No	Nama Kota (Arah Y)								
1	4.037	6.9795	7.524	10.2245	21.1585	22.7865	22.8525	24.123	24.959
	T.PANDAN	PANGKAL PINANG	SAMARINDA	MAKASSAR	DUMAI	MADIUN	PALEMBANG	JEPARA	JAMBI
	26.2515	26.3725	26.9335	27.269	28.083	28.358	28.3745	28.6055	28.754
2	PEKANBARU	KENDARI	SINGKANG	INDRAMAYU	FAKFAK	TUBAN	PEMALANG	PAMEKASAN	PEKALONGAN
	29.1335	29.139	29.139	29.161	29.1995	29.205	29.227	29.304	29.403
3	JAKSEL	JAKTIM	PURWODADI	TANGERANG	PASURUAN	JAKBAR	BLORA	KUDUS	CIREBON
	29.601	29.601	29.656	29.6835	29.6945	29.6945	29.722	29.733	29.7385
4	JAKUT	JAKPUS	TANGSEL	MEDAN	MOJOKERTO	WONOSOBO	LANGSA	PURWOKERTO	DEPOK
	29.755	29.7825	29.854	29.9035	29.9145	30.008	30.0575	30.096	30.151
5	KUPANG	BREBES	SALATIGA	BIMA	TIDORE.K	SITUBONDO	TEGAL	PROBOLINGGO	MANADO
	30.151	30.151	30.151	30.1565	30.1565	30.184	30.2555	30.2665	30.2665
6	SURAKARTA	METRO	SURABAYA	MAGELANG	PURWAKARTA	BEKASI	BONDOWOSO	NGAWI	P.SIANTAR
	30.316	30.316	30.338	30.338	30.36	30.3655	30.382	30.393	30.393
7	BANJAR	MALANG	BANYUWANGI	TOMOHOH	CILEGON	LUMAJANG	JEMBER	SERANG	SEMARANG
	30.415	30.415	30.657	30.767	30.8165	30.8165	30.8495	30.866	30.8715
8	GENTENG	MATARAM	KEDIRI	BOGOR	B. LAMPUNG	TRENGGELEK	KEBUMEN	PANDEGLANG	TASIK
	30.8935	30.9045	30.9155	30.9265	30.965	30.976	32.7855	35.816	35.8215
9	LAHAT	TULUAGUNG	PONOROGO	CILACAP	DENPASAR	AMBON	TUTUT	KOTAMOBAGU	Lhokseumawe
	37.6585	38.005	39.1545	39.6495	40.4635	42.3555	44.638	46.3375	50.5945
10	CIMAHI	PACITAN	PAGAR ALAM	SUKABUMI	SORONG	PADANG	YOGYAKARTA	GORONTALO	BANDA ACEH
	80.6275	80.6825	89.2185	61.138	62.546	98.384	102.223	106.48	106.491
11	BANDUNG	G.SITOLI	BENGKULU	PALU	B.TINGGI	JAYAPURA	SUNGAI PENUH	P.SIDEMPUAN	TUAL



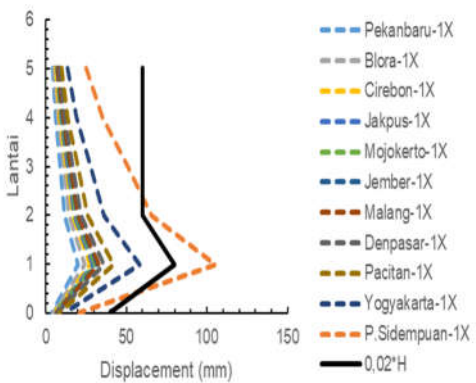
Gambar 4.4 Petunjuk warna nilai perpindahan



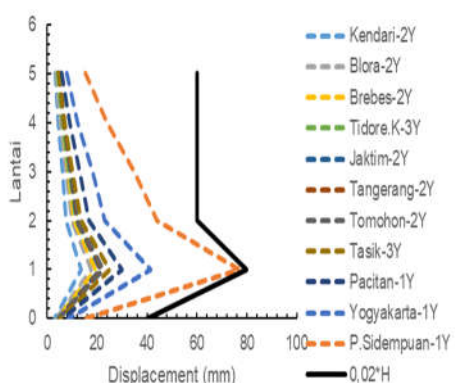
Gambar 4.5 Grafik perpindahan dengan kelas situs SC arah X



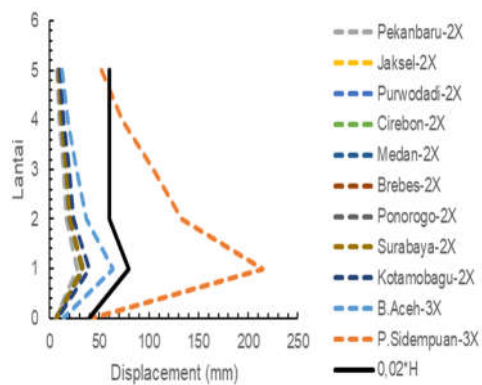
Gambar 4.6 Grafik perpindahan dengan kelas situs SC arah Y



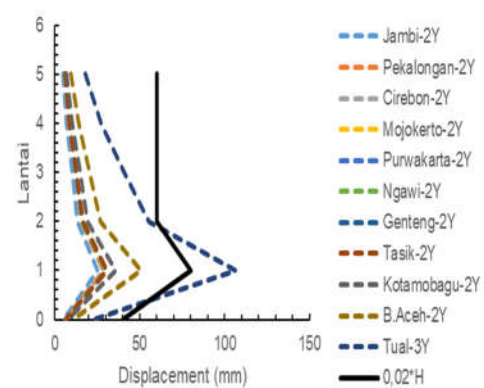
Gambar 4.7 Grafik perpindahan dengan kelas situs SD arah X



Gambar 4.8 Grafik perpindahan dengan kelas situs SD arah Y



Gambar 4.9 Grafik perpindahan dengan kelas situs *SE* arah *X*



Gambar 4.10 Grafik perpindahan dengan kelas situs *SE* arah *Y*

Dari grafik hubungan antara *displacement* dengan jumlah lantai yang ditunjukkan pada Gambar 4.4 sampai dengan Gambar 4.57 terdapat 8 dari 99 kota besar di Indonesia di mana struktur gedung tersebut mengalami *displacement* yang melebihi simpangan antar lantai izin. Berikut merupakan nama-nama dari kota tersebut yang dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Daftar nama kota yang melebihi *displacement* izin

No	Nama Kota
1	Gunung Sitoli
2	Bukittinggi
3	Padang Sidempuan
4	Sungai Penuh
5	Palu
6	Jayapura
7	Tual
8	Bengkulu

Setelah melakukan analisis *displacement* Gedung perkantoran tipikal *middle-rise* yang memiliki 5 lantai untuk 99 kota besar di Indonesia terdapat 8 kota yang telah disebutkan pada Tabel 4.3 tergolong tidak aman menggunakan struktur bangunan usulan pada kota-kota tersebut. Dengan menselisih nilai *displacement* yang melebihi batasan izin dengan batasan simpangan izin kemudian hasil tersebut dibagi dengan batasan simpangan izin kemudian dikalikan 100%. Berikut merupakan perhitungan 8 dari 99 kota besar yang

ditunjukkan pada Tabel 4.10-4.17 dan Tabel 4.18 merupakan persentase tidak aman pada 8 kota yang melebihi simpangan izin.

Tabel 4.10 Perhitungan Kota Padang Sidempuan

Lantai	Simpangan Antar Lantai Izin (Δ_a)	Parameter Perpindahan (D)	Persentase Tidak aman (%)	Keterangan
5	60	52,294	0	$\frac{(D - \Delta_a)}{\Delta_a} \times 100\%$
4	60	72,919	21,532	
3	60	104,539	74,231	
2	60	132,990	121,650	
1	80	214,847	168,558	
0	40	43,604	9,010	

Tabel 4.11 Perhitungan Kota Sungai Penuh

Lantai	Simpangan Antar Lantai Izin (Δ_a)	Parameter Perpindahan (D)	Persentase Tidak aman (%)	Keterangan
5	60	50,204	0	$\frac{(D - \Delta_a)}{\Delta_a} \times 100\%$
4	60	69,999	16,664	
3	60	100,359	67,264	
2	60	127,666	112,777	
1	80	206,25	157,813	
0	40	41,861	4,651	

Tabel 4.12 Perhitungan Kota Tual

Lantai	Simpangan Antar Lantai Izin (Δ_a)	Parameter Perpindahan (D)	Persentase Tidak aman (%)	Keterangan
5	60	51,953	0	$\frac{(D - \Delta_a)}{\Delta_a} \times 100\%$
4	60	71,335	18,892	
3	60	101,508	69,180	
2	60	128,711	114,518	
1	80	207,647	159,559	
0	40	42,136	5,339	

Tabel 4.13 Perhitungan Kota Jayapura

Lantai	Simpangan Antar Lantai Izin (Δ_a)	Parameter Perpindahan (D)	Persentase Tidak aman (%)	Keterangan
5	60	47,993	0	$\frac{(D - \Delta_a)}{\Delta_a} \times 100\%$
4	60	65,901	9,835	
3	60	93,775	56,292	
2	60	118,910	98,183	
1	80	191,824	139,779	
0	40	38,929	0	

Tabel 4.14 Perhitungan Kota Bukittinggi

Lantai	Simpangan Antar Lantai Izin (Δ_a)	Parameter Perpindahan (D)	Persentase Tidak aman (%)	Keterangan
5	60	41,745	0	$\frac{(D - \Delta_a)}{\Delta_a} \times 100\%$
4	60	58,069	0	
3	60	82,951	38,252	
2	60	101,486	69,143	
1	80	169,136	111,42	
0	40	36,608	0	

Tabel 4.15 Perhitungan Kota Palu

Lantai	Simpangan Antar Lantai Izin (Δ_a)	Parameter Perpindahan (D)	Persentase Tidak aman (%)	Keterangan
5	60	42,521	0	$\frac{(D - \Delta_a)}{\Delta_a} \times 100\%$
4	60	58,300	0	
3	60	82,753	37,922	
2	60	104,473	74,121	
1	80	165,754	107,192	
0	40	35,486	9,010	

Tabel 4.16 Perhitungan Kota Bengkulu

Lantai	Simpangan Antar Lantai Izin (Δ_a)	Parameter Perpindahan (D)	Persentase Tidak aman (%)	Keterangan
5	60	24,541	0	$\frac{(D - \Delta_a)}{\Delta_a} \times 100\%$
4	60	35,211	0	
3	60	52,729	0	
2	60	71,231	18,718	
1	80	123,426	54,282	
0	40	26,648	0	

Tabel 4.17 Perhitungan Kota Gunung Sitoli

Lantai	Simpangan Antar Lantai Izin (Δ_a)	Parameter Perpindahan (D)	Persentase Tidak aman (%)	Keterangan
5	60	19,696	0	$\frac{(D - \Delta_a)}{\Delta_a} \times 100\%$
4	60	27,291	0	
3	60	39,649	0	
2	60	51,211	0	
1	80	82,341	2,926	
0	40	16,396	0	

Keterangan :

Keterangan pada Tabel 4.10-4.17 merupakan rumus untuk mendapatkan persentase tidak aman (%).

Tabel 4.18 Presentase tidak aman terhadap beban gempa

Nama Kota	Persentase Tidak Aman (%)
Gunung Sitoli	2,926
Bengkulu	54,282
Palu	107,192
Bukittinggi	111,42
Jayapura	139,779
Sungai Penuh	157,813
Tual	159,559
Padang Sidempuan	168,558