

Studi Perancangan Bangunan Tahan Gempa dan Tsunami di Kota Mataram, Lombok, Nusa Tenggara Barat

Patricia Mayang Putri, dan Faimun

Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

e-mail: faimun@ce.its.ac.id

Abstrak—Mataram sebagai salah satu kota di Indonesia tempat dua lempeng aktif dunia bertemu memiliki potensi gempa bumi tinggi yang menyebabkan tsunami terjadi. Berdasarkan data yang ada, Nusa Tenggara Barat (NTB) telah mengalami dua kali peristiwa gempa dengan diikuti datangnya tsunami, tepatnya pada tanggal 10 April 1815 dengan air laut naik setinggi 3,5 meter dan pada tanggal 19 Agustus 1977 dengan air laut naik setinggi 15 meter. Dimana bencana yang terjadi pada tanggal 19 Agustus 1977 tersebut memakan banyak korban, seperti 107 orang meninggal, 54 orang menghilang, 1125 orang terluka, serta total kerugian akibat kerusakan yang terjadi sebesar Rp 239.474.000,-. Kemudian berdasarkan peraturan yang ada, evakuasi penyelamatan terhadap bencana tersebut dapat dilakukan secara horizontal maupun vertikal. Dimana evakuasi vertikal merupakan suatu bentuk penyelamatan dalam waktu singkat tetapi belum banyak digunakan karena bangunan harus memenuhi kriteria bangunan evakuasi sesuai peraturan yang berlaku, seperti *performance level* bangunannya harus berada pada *Immediate Occupancy* yang didapatkan melalui analisa statik non-linear dengan menggunakan analisis *pushover*. Kemudian dari analisa yang telah dilakukan diperoleh hasil, yaitu: tebal pelat lantai atap 12 cm, tebal pelat lantai 15 cm, dimensi BA 250x350, dimensi BI1 dan BI5 400x600, dimensi BI2 dan BI3 350x500, dimensi BI4 300x350, dimensi BI6 450x650, dimensi BI7 300x400, dimensi K1 1000x1000, dimensi K2 900x900, dimensi K3 800x800, tebal dinding geser 30 cm, diameter *bored pile* 80 cm dengan kedalaman 20 m, dan dimensi sloof 300x400.

Kata Kunci—Kota Mataram, Bangunan Tahan Gempa dan Tsunami, Analisis *Pushover*, *Performance Level*, *Immediate Occupancy*.

I. PENDAHULUAN

INDONESIA merupakan sebuah negara yang terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik besar aktif, yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Pasifik, dan Lempeng Hindia-Australia; serta satu lempeng tektonik mikro, yaitu Lempeng Philipina dan berada pada Cincin Api Pasifik (*Ring of Fire*) [1]. Kondisi geologis Indonesia tersebut menyebabkan Indonesia sering mengalami bencana alam, khususnya gempa bumi. Salah satu wilayah di Indonesia yang memiliki potensi gempa bumi tinggi adalah Nusa Tenggara Barat (NTB). Hal ini disebabkan dua lempeng aktif dunia bertemu di wilayah tersebut, Lempeng Hindia-Australia dan Lempeng Eurasia. Dari pertemuan ini terbentuklah palung dan sesar aktif yang menyebabkan wilayah NTB rawan terjadi gempa bahkan berpotensi tsunami [2].

Berdasarkan Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), wilayah NTB tercatat mengalami dua kali gempa yang diikuti dengan datangnya tsunami, yaitu pada tanggal 10 April 1815 dengan air laut naik setinggi 3,5 meter dan pada tanggal 19 Agustus 1977 dengan air laut naik



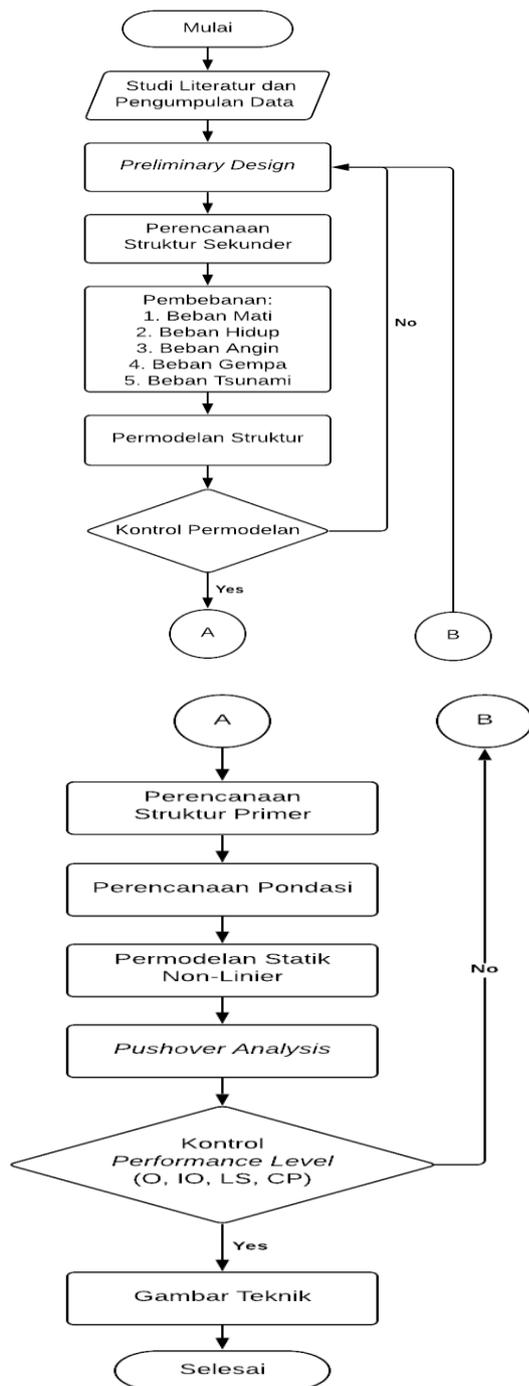
Gambar 1. Performance Level Bangunan Evakuasi Vertikal Berdasarkan FEMA P646.

setinggi 15 meter [3]. Catatan terakhir, gempa bumi dirasakan kembali oleh masyarakat NTB khususnya di Pulau Lombok pada tahun 2018. Walaupun tidak berpotensi tsunami, gempa yang terjadi sebanyak lima kali pada periode waktu antara 29 Juli 2018 hingga 19 Agustus 2018 ini cukup menyebabkan banyak bangunan khususnya rumah tinggal, fasilitas sosial, dan fasilitas umum mengalami kerusakan. Berdasarkan hasil survei yang dilakukan Maskapai Asuransi Indonesia dan Perusahaan Asuransi Risiko Khusus (MAIPARK) di Pulau Lombok, salah satu faktor kerusakan bangunan rumah tinggal tersebut adalah karena mayoritas bangunannya dibangun dengan bata tanpa tulangan [4]. Tentunya kondisi ini berbahaya bagi orang-orang yang tinggal di dalamnya.

Selain itu di tahun 2019, BMKG Mataram mengatakan bahwa dari hasil simulasi dan permodelan tsunami, wilayah Lombok Selatan mempunyai potensi gempa berkekuatan 8,5 magnitudo dan gelombang tsunami setinggi 5 sampai dengan 20 meter. Topografi Kota Mataram yang cenderung datar dengan elevasi yang rendah membuat kota ini mempunyai kerentanan tinggi terhadap bencana tersebut. Selain itu wilayah dengan topografi tinggi hanya berada di wilayah utara Kota Mataram yang tentunya membutuhkan waktu apabila harus melakukan evakuasi [5].

Berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 06/PRT/M/2009 tentang Pedoman Perencanaan Umum Pembangunan Infrastruktur di Kawasan Rawan Tsunami, evakuasi penyelamatan sebelum gelombang tsunami tiba dapat dilakukan secara horizontal maupun vertikal [6]. Dimana evakuasi vertikal merupakan salah satu bentuk evakuasi penyelamatan dengan waktu singkat tetapi belum banyak digunakan. Sebab bangunan tersebut harus memenuhi kriteria bangunan evakuasi sesuai peraturan yang berlaku.

Oleh karena itu, berdasarkan riwayat dan potensi gempa bumi yang dibarengi dengan tsunami di wilayah NTB. Serta kondisi topografi Kota Mataram dengan tingkat kerawannya yang tinggi terhadap kedua bencana tersebut,



Gambar 2. Diagram Alir Penyelesaian.

maka untuk mengatasinya perlu dibuat sebuah bangunan tahan gempa dan tsunami yang sesuai dengan aturan yang berlaku khususnya di Kota Mataram, Lombok, Nusa Tenggara Barat. Dimana bangunan akan menjadi tempat evakuasi vertikal ketika bencana terjadi, serta gedung perkantoran saat kondisi normal. Dengan harapan wilayah lain dengan potensi yang sama dapat menjadikan hal ini sebagai acuan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Bangunan tahan gempa dan tsunami merupakan suatu bentuk mitigasi bencana karena dapat digunakan sebagai bangunan evakuasi. Dimana bangunan tersebut direncanakan agar mampu mengurangi risiko tsunami, khususnya untuk

Tabel 1.
Dimensi Balok Induk dan Balok Anak

Nama Balok	Bentang (mm)	Dimensi (mm)	Tulangan (mm)	
			Tumpuan / Lapangan	
BA1	5.300	250 × 350	4D19	2D19
			2D19	2D19
BA2	4.750	250 × 350	2D10-150	
			4D19	2D19
			2D10-150	

Tabel 2.
Tebal Pelat Lantai dan Pelat Lantai Atap

Nama Pelat	Dimensi (mm)	Tebal (mm)	Tulangan (mm)
S1	4.750 × 3.500	150	D10-150
S2	5.300 × 3.500	150	D10-150
S3	4.750 × 2.500	150	D10-150
S4	5.300 × 2.500	150	D10-150
S5	4.750 × 3.500	120	D10-150
S6	5.300 × 3.500	120	D10-150
S7	4.750 × 2.500	120	D10-150
S8	5.300 × 2.500	120	D10-150

Tabel 3.
Tulangan Tangga

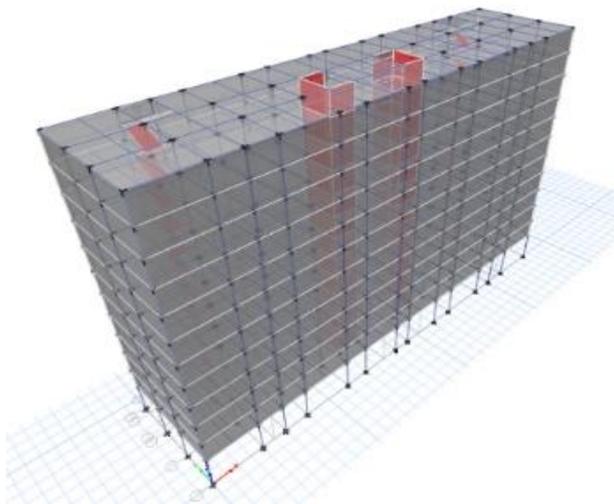
Jenis Pelat	Tulangan (mm)		
	Longitudinal Positif	Longitudinal Negatif	Transversal
Anak Tangga	D19-100	D19-250	D13-250
Bordes	D19-200	D19-250	D13-150

masyarakat di pesisir yang tidak memiliki dataran tinggi sebagai tempat evakuasi [7]. Berdasarkan pernyataan tersebut, maka bangunan harus memiliki ketinggian cukup diatas tinggi genangan maksimum dan kuat dalam menahan efek gelombang tsunami. Berikut ini juga merupakan kriteria bangunan evakuasi vertikal yang baik menurut J.A Heintz dan M. Mahoney [8], yaitu:

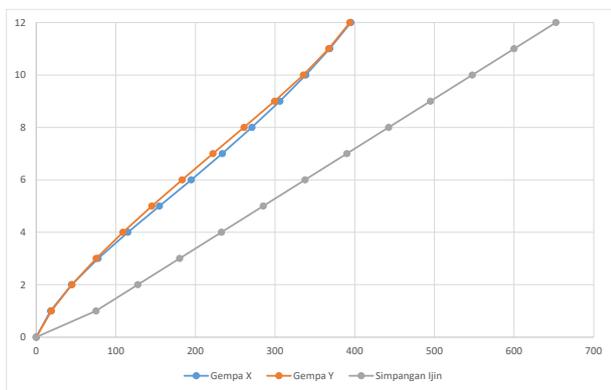
- 1) Memiliki sistem yang kuat dengan kapasitas yang cukup untuk menahan beban ekstrim.
- 2) Desain bangunan terbuka sehingga memungkinkan air mengalir dengan hambatan yang minimal.
- 3) Bersifat daktail sehingga kuat dalam menahan beban ekstrim tanpa mengalami kegagalan struktur.
- 4) Diperbolehkan mengalami kegagalan parsial tetapi tidak sampai roboh.
- 5) Desain bangunan menggunakan dinding penahan dan pondasi dalam untuk meminimalkan beban hidrodinamik dan mencegah gerusan akibat tsunami.

Selain beberapa kriteria diatas, bangunan juga harus tersusun atas material beton bertulang atau material komposit beton-baja, serta memenuhi persyaratan ketinggian minimum sesuai perkiraan kedalaman genangan maksimum. Sebab dari hasil penelitian yang dilakukan Stuart Fraser, Graham S. Leonard, Hitomi Murakami, dan Ichiro Matsuo, 80% bangunan evakuasi vertikal adalah beton bertulang dan 20% adalah baja [9]. Sedangkan untuk ketinggian minimumnya, 31% bangunan memiliki ketinggian tiga lantai lebih tinggi dari kedalaman genangan dan 69% adalah empat lantai lebih tinggi atau lebih. Selain itu dari hasil survei kerusakan bangunan pada daerah pasca bencana diperoleh kesimpulan bahwa, bangunan beton bertulang masih dapat memberikan performa yang baik karena hanya mengalami kerusakan pada elemen non-struktural dan tidak sampai roboh [10].

Dalam perencanaan bangunan tahan gempa dan tsunami digunakan juga metode perencanaan *performance based*



Gambar 3. Permodelan Bangunan Tahan Gempa dan Tsunami.



Gambar 4. Grafik Perbandingan Simpangan Bangunan dan Simpangan Ijin Akibat Gempa.

design, yaitu suatu proses dalam merencanakan sebuah bangunan baru maupun memperkuat bangunan lama dengan pemahaman yang realistis terhadap risiko keselamatan (*life*), kesiapan pakai (*occupancy*), dan kerugian harta benda (*economic loss*) yang mungkin terjadi akibat gaya gempa yang datang [11]. Proses perencanaan ini dimulai dengan membuat model rencana bangunan yang dilanjutkan dengan simulasi kinerja terhadap berbagai kejadian gempa. Dimana hasil dari simulasi tersebut akan memberikan informasi tingkat kerusakan (*level of damage*) dan ketahanan struktur dalam bentuk titik kinerja (*performance point*), sehingga besar (*life*), kesiapan pakai (*occupancy*), dan kerugian harta benda (*economic loss*) dapat diperkirakan.

Bangunan tahan gempa dan tsunami sendiri sebagai bangunan evakuasi vertikal, menurut SNI 1727:2020 termasuk ke dalam suatu struktur dengan Kategori Risiko Tsunami IV [12]. Sebuah kategori risiko dengan level kinerja *Damage Control* atau *Life Safety*. Akan tetapi menurut *Federal Emergency Management Agency P646*, level kinerja untuk bangunan evakuasi vertikal harus ditingkatkan menjadi *Immediately Occupancy* untuk memperoleh kinerja struktur yang lebih baik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 [13].

III. METODOLOGI

Susunan tahan perencanaan bangunan tahan gempa dan tsunami di Kota Mataram, Lombok, Nusa Tenggara Barat akan dilaksanakan sesuai dengan began alir pada Gambar 2.

Tabel 4. Modal Partisipasi Massa

Case	Mode	SumUX	SumUY
Modal	8	0,870	0,927
Modal	9	0,931	0,927

Tabel 5. Modal Periode dan Frekuensi

Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ
Modal	1	1,736	0,109	0,000	0,000
Modal	2	1,594	0,613	0,000	0,000
Modal	3	1,444	0,000	0,704	0,000

Tabel 6. Perbandingan Gaya Geser Statik (V) dan Dinamik (Vi)

	Gempa X	Gempa Y
V (kg)	1.479.544,052	1.633.236,301
Vi (kg)	1.125.172,690	1.301.514,190
Vi/V	76%	80%
Cek	NOT OK	NOT OK

Tabel 7. Perbandingan Gaya Geser Statik (V) dan Dinamik (Vi) Terskala

	Gempa X	Gempa Y
V (kg)	1.479.544,052	1.633.236,301
Vi (kg)	1.479.584,790	1.631.471,180
Vi/V	100%	100%
Cek	OK	OK

Tabel 8. Total Reaksi Perletakan SRPM dan Dinding Geser

Pemikul Gaya Geser	Gempa X		Gempa Y	
	Fx (kN)	%	Fy (kN)	%
Dinding Geser	10.263,78	40,96%	12.155,15	41,53%
SRPM	14.795,85	59,04%	17.114,71	58,47%
Total	25.059,63	100,00%	29.269,87	100,00%

Adapun data umum dari perencanaan bangunan tahan gempa dan tsunami adalah sebagai berikut:

- Nama Bangunan : Bangunan Tahan Gempa dan Tsunami
- Lokasi Bangunan : Mataram, Lombok, Nusa Tenggara Barat
- Fungsi Bangunan : Gedung Perkantoran
- Jumlah Lantai : 12 Lantai
- Tinggi Antar Lantai : 5 m dan 3,5 m
- Tinggi Bangunan : 43,5 m
- Ketinggian Tsunami : 8,5 m
- Luas Tiap Lantai : 974,725 m²
- Struktur Bangunan : Struktur Beton Bertulang
- Sistem Struktur : Sistem Ganda
- Kelas Situs : SD
- Kuat Tekan Beton : 35 Mpa
- Tegangan Leleh Baja: 420 MPa

Sedangkan kriteria desain dari perencanaan bangunan tahan gempa dan tsunami didasarkan pada peraturan yang ada, yaitu SNI 2847:2019, SNI 1727:2020, SNI 1726:2020, AASHTO LRFD *Bridge Design Specification 2010 Chapter 10*, dan PPIUG 1983 [12], [14-16].

- Dimensi balok : SNI 2847:2019 pasal 6.6.3, pasal 9.3.1, dan pasal 18.6.2.
- Dimensi pelat : SNI 2847:2019 pasal 6.3.2, pasal 6.6.3, pasal 7.3.1, dan pasal 8.3.1.
- Dimensi kolom : SNI 2847:2019 pasal 6.6.3, pasal 10.3.1, dan pasal 18.7.2.
- Dimensi dinding geser : SNI 2847:2019 pasal 11.3.1.

Tabel 9.
Dimensi dan Tulangan Balok Induk

Nama Balok	Bentang (mm)	Dimensi (mm)	Tulangan (mm)	
			Tumpuan	Lapangan
B11	7.000	400 × 600	6D25	3D25
			3D25	3D25
			2D13-100	2D13-200
			5D25	3D25
B12	5.300	350 × 500	2D25	2D25
			3D25	3D25
			3D13-50	3D13-100
			4D25	2D25
B13	4.750	350 × 500	2D25	2D25
			2D13-100	2D13-150
			4D22	2D22
			-	-
B14	2.500	300 × 350	2D22	2D22
			2D13-75	2D13-75
			5D25	3D25
			2D25	2D25
B15	6.000	400 × 600	3D25	3D25
			3D13-50	3D13-100
			6D25	3D25
			-	-
B16	7.500	450 × 650	3D25	3D25
			2D13-100	2D13-200
			4D25	2D25
			-	-
B17	3.500	300 × 400	2D25	2D25
			2D13-75	2D13-150
			-	-

- e. Dimensi pondasi : AASHTO LRFD *Bridge Design Specifications* 2010 Chapter 10.
- f. Beban mati : SNI 1727:2020 pasal 3.1.2 dan PPIUG 1983.
- g. Beban hidup : SNI 1727:2020 pasal 4.3.1.
- h. Beban angin : SNI 1727:2020 pasal 26.
- i. Beban gempa : SNI 1726:2019.
- j. Beban tsunami : SNI 1727:2020 pasal 6.
- k. Kontrol permodelan struktur: SNI 1726:2019 pasal 7.2.5, pasal 7.8.2, pasal 7.8.6, dan pasal 7.9.1.
- l. Penulangan balok: SNI 2847:2019 pasal 6.3.2.1, pasal 9.3.1, pasal 9.6.1, pasal 18.6.3, pasal 18.6.4, pasal 18.6.5, pasal 22.7.4, pasal 22.7.5, pasal 22.7.6, dan pasal 22.9.3.
- m. Penulangan kolom: SNI 2847:2019 pasal 10.7.3, pasal 10.7.6, pasal 18.6.5, pasal 18.7.2, pasal 18.7.3, pasal 18.7.4, pasal 18.7.5, pasal 18.10.6, pasal 18.10.7, pasal 22.4.2, dan pasal 22.7.4.
- n. Penulangan pelat: SNI 2847:2019 pasal 7.7.2, pasal 24.3.2, pasal 24.4.3, dan PBI 1971.
- o. Penulangan dinding geser : SNI 2847:2019 pasal 11.3.1, pasal 11.6.1, pasal 11.6.2, paal 11.7.2, pasal 11.7.3, pasal 18.10.2, pasal 18.10.4, pasal 18.10.6, dan pasal 18.12.9.
- p. Penulangan pondasi: SNI 2847:2019 pasal 22.6.5.2.

Kemudian kombinasi pembebanan yang digunakan dalam perencanaan bangunan tahan gempa dan tsunami adalah sebagai berikut:

$$U = 1,4D$$

$$U = 1,2D + 1,6L + 0,5(Lr \text{ atau } S \text{ atau } R) \quad (1)$$

$$U = 1,2D + 1,6L(Lr \text{ atau } S \text{ atau } R) + (1,0L \text{ atau } 0,5W)$$

$$U = 1,2D + 1,0W + 1,0L + 0,5(Lr \text{ atau } S \text{ atau } R)$$

$$U = 0,9D + 1,0W$$

$$U = 1,2D + 1,0Ev + 1,0Eh + 1,0L$$

$$U = 0,9D - 1,0Ev + 1,0Eh$$

$$U = 0,9D + F_{TSU} + H_{TSU}$$

$$U = 1,2D + F_{TSU} + 0,5L + 0,2S + H_{TSU}$$

Dimana:

U = Beban ultimate

D = Beban mati

L = Beban hidup

Lr = Beban hidup atap

S = Beban salju

R = Beban hujan

W = Beban angin

Ev = Beban gempa vertikal

Eh = Beban gempa horizontal

F_{TSU} = Efek beban tsunami untuk arah aliran masuk dan keluar

H_{TSU} = Beban yang disebabkan oleh tekanan fondasi lateral yang diinduksi tsunami yang timbul/berkembang di bawah kondisi terendam.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perencanaan Struktur Sekunder

1) Perencanaan Balok Anak

Balok anak direncanakan sebagai material beton bertulang dengan kuat tekan beton sebesar 35 MPa. Besar dimensi dan jumlah tulangan dari balok anak yang direncanakan seperti yang tersaji dalam Tabel 1.

2) Perencanaan Pelat

Pelat lantai dan pelat lantai atap direncanakan sebagai material beton bertulang dengan kuat tekan beton sebesar 35 MPa. Tebal dan jumlah tulangan dari pelat lantai maupun pelat lantai atap yang direncanakan seperti yang tersaji dalam Tabel 2.

3) Perencanaan Tangga

Tangga direncanakan sebagai material beton bertulang dengan kuat tekan beton sebesar 35 MPa seperti yang ditunjukkan Tabel 3 dan data perencanaan sebagai berikut:

- a. Tangga Lt. GF
- b. Panjang tangga = 5.300 mm
- c. Lebar tangga = 3.500 mm
- d. Tinggi lantai = 5.000 mm
- e. Tinggi injakan = 200 mm
- f. Lebar injakan = 250 mm
- g. Tebal pelat anak tangga = 150 mm
- h. Tebal pelat bordes = 150 mm
- i. Jumlah injakan = 13 buah
- j. Jumlah tanjakan = 12 buah
- k. Panjang horizontal tangga = 3.250 mm
- l. Lebar horizontal tangga = 1.750 mm
- m. Panjang bordes = 3.500 mm
- n. Lebar bordes = 1.025 mm
- o. Kemiringan tangga = 37,56°
- p. Tebal anak tangga rata-rata = 76.21 mm

Tabel 10.
Dimensi dan Tulangan Kolom

Nama Kolom	Bentang (mm)	Dimensi (mm)	Tulangan (mm) Tumpuan / Lapangan
K1	5.000	1.000 × 1.000	28D32 8D13-100 8D13-150
K1	3.500	1.000 × 1.000	28D32 8D13-100 8D13-150
K2	3.500	900 × 900	24D32 7D13-100 7D13-150
K3	3.500	800 × 800	20D32 6D13-100 6D13-150

Tabel 11.
Dimensi dan Tulangan Pilecap

Nama Pilecap	Dimensi (mm)	Tebal (mm)	Jumlah Tiang (buah)	Tulangan
PC1	3.200 × 3.200	1500	4	D29-100
PC2	3.200 × 6.400	1500	8	D29-100
PC3	8.000 × 11.200	1500	35	D29-100

- q. Tebal pelat tangga rata-rata= 230 mm
- r. Tangga Lt. 1-11
- s. Panjang tangga = 5.300 mm
- t. Lebar tangga = 3.500 mm
- u. Tinggi lantai = 3.500 mm
- v. Tinggi injakan = 170 mm
- w. Lebar injakan = 300 mm
- x. Tebal pelat anak tangga = 150 mm
- y. Tebal pelat bordes = 150 mm
- z. Jumlah injakan = 11 buah
- aa. Jumlah tanjakan = 10 buah
- bb. Panjang horizontal tangga = 3.300 mm
- cc. Lebar horizontal tangga = 1.750 mm
- dd. Panjang bordes = 3.500 mm
- ee. Lebar bordes = 1.000 mm
- ff. Kemiringan tangga = 27,93°
- gg. Tebal anak tangga rata-rata= 70.27 mm
- hh. Tebal pelat tangga rata-rata= 230 mm

B. Permodelan Struktur

Bangunan tahan gempa dan tsunami dimodelkan dengan menggunakan aplikasi permodelan seperti pada Gambar 3.

Pada bangunan, elemen struktur yang dimodelkan terdiri dari balok, kolom, peat, dan dinding geser. Dimana balok dan kolom dimodelkan sebagai *frame* dengan *rigid joint* di kedua ujungnya sebesar 0,5 dan *material properties* pada balok digunakan *momen of inertia about 3 axis* sebesar 0,35 dan pada kolom digunakan *moment of inertia about 3 axis* sebesar 0,7 sesuai yang disyaratkan dalam SNI 2847:2019 [17]. Kemudian untuk perletakan kolom dimodelkan sebagai jepit, pelat sebagai *slab shell thin*, dan dinding geser sebagai *wall layered* agar bersifat non-linear. Sedangkan pada *mass source* beban yang diperhitungkan adalah beban mati, beban mati tambahan, dan beban hidup. Dimana untuk beban mati dan beban mati tambahan digunakan koefisien 1, beban hidup digunakan koefisien sebesar 0,25 sesuai yang disyaratkan dalam SNI 1726:2019 [15].

Beban gempa dimodelkan menggunakan *respon spectrum* dengan lokasi di Kota Mataram, kategori risiko IV, faktor

keutamaan gempa 1,5, nilai N-SPT rata-rata sebesar 23, kelas situs SD, S_{DS} sebesar 0,7492 g, S_{D1} sebesar 0,5114 g, dan kategori desain seismik D. Kemudian dikarenakan bangunan direncanakan dengan menggunakan sistem ganda, maka dalam perencanaannya digunakan koefisien-koefisien berikut ini:

$$R = 5$$

$$\Omega = 2,5$$

$$C_d = 5,5$$

Beban tsunami yang dimodelkan pada bangunan terdiri dari, beban akibat gaya hidrostatis, gaya apung, gaya hidrodinamik, gaya angkat, dan gaya tumbukan debris. Dimana besar gaya terjadi dihitung berdasarkan persamaan yang ada pada SNI 1727:2020 pasal 6 [12].

C. Kontrol Permodelan

1) Kontrol Berat Bangunan

$$\text{Berat total struktur manual} = 17.963.467,15 \text{ kg}$$

$$\text{Berat total struktur permodelan} = 17.760.227,06 \text{ kg}$$

$$\text{Selisih} = 203.240,09 \text{ kg}$$

Perbedaan berat total struktur manual dengan permodelan adalah sebesar 1,14% atau masih kurang dari 5% sehingga dapat dikatakan permodelan yang dilakukan sudah benar.

2) Kontrol Partisipasi Massa

Dengan penjumlahan 9 respon ragam diperoleh respon total sebesar 93,1% dan arah y sebesar 92,7%. Karena keduanya sudah melebihi 90%, maka permodelan bangunan telah memenuhi persyaratan yang ada seperti yang ditunjukkan Tabel 4.

3) Kontrol Periode Fundamental Struktur

$$\text{Arah X} = T_a < T_x < T \tag{2}$$

$$\text{Arah X} = 1,390 < 1,594 < 1,946(\text{OK})$$

$$\text{Arah Y} = T_a < T_y < T \tag{3}$$

$$\text{Arah Y} = 1,390 < 1,444 < 1,946(\text{OK})$$

Periode fundamental struktur arah x dan arah y memiliki nilai lebih besar dari T_a dan kurang dari T, maka permodelan bangunan telah memenuhi persyaratan yang ada seperti yang ditunjukkan Tabel 5.

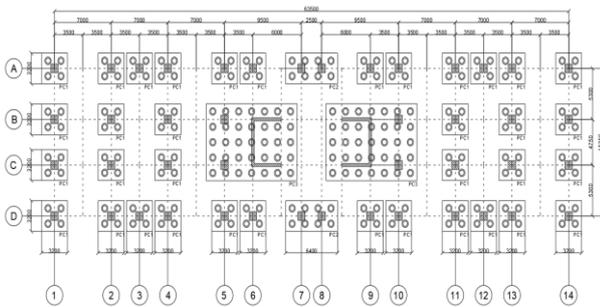
4) Kontrol Skala Gaya Dinamis

Karena besar gaya geser dinamik kurang daripada gaya geser statik sehingga faktor skala perlu diberikan untuk mengoreksi gaya pada permodelan bangunan seperti yang ditunjukkan Tabel 6. Dimana faktor skala diatas dimasukkan ke dalam *scale factor* untuk *define respons spectra* maupun *load cases response spectrum* pada kedua gempa, baik arah x maupun arah y. Dimana kemudian diperoleh hasil analisa yang telah ditambahkan faktor skala seperti yang dapat dilihat pada Tabel 7.

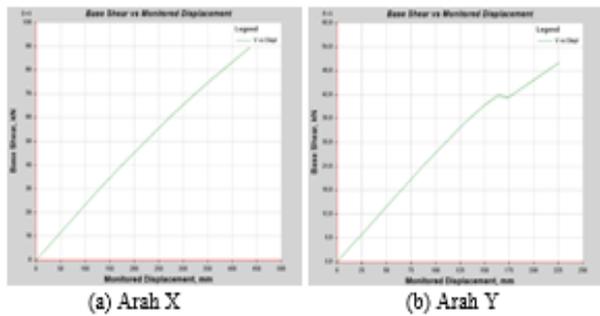
Berdasarkan Tabel 7, didapatkan besar gaya geser dinamik sama dengan gaya geser statik, maka permodelan bangunan telah memenuhi persyaratan yang ada.

5) Kontrol Simpangan Bangunan

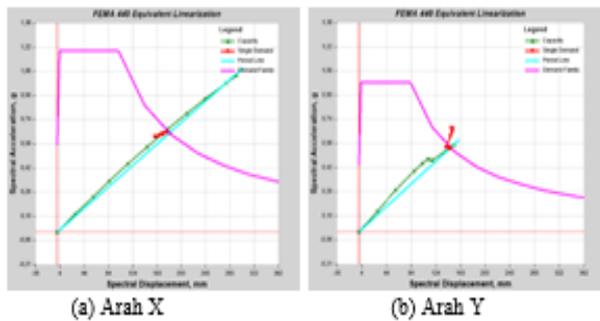
Berdasarkan Gambar 4, simpangan bangunan yang terjadi tidak melebihi simpangan ijin bangunan yang disyaratkan, yaitu pada lantai 1 sebesar 75 mm dan pada lantai 2-12 sebesar 52,5 mm, maka permodelan bangunan telah memenuhi persyaratan yang ada.



Gambar 5. Denah Pondasi.



Gambar 6. Gaya Geser Dasar Terhadap Perpindahan.



Gambar 7. Hasil Analisa Pushover.

6) *Kontrol Sistem Ganda*

Sistem Struktur Rangka Pemikul Momen (SRPM) disyaratkan memikul momen minimum 25% dari beban geser nominal total yang bekerja sehingga berdasarkan hasil perhitungan Tabel 8, maka permodelan bangunan telah memenuhi persyaratan yang ada.

D. *Perencanaan Struktur Primer*

1) *Perencanaan Balok Induk*

Balok induk direncanakan sebagai material beton bertulang dengan kuat tekan beton sebesar 35 MPa. Besar dimensi dan jumlah tulangan dari balok induk yang direncanakan seperti yang tersaji dalam Tabel 9.

2) *Perencanaan Kolom*

Kolom direncanakan sebagai material beton bertulang dengan kuat tekan beton sebesar 35 MPa. Besar dimensi dan jumlah tulangan dari kolom yang direncanakan seperti yang tersaji dalam Tabel 10.

3) *Perencanaan Dinding Geser*

Dinding geser direncanakan sebagai material beton bertulang dengan ketebalan 300 mm dan kuat tekan beton sebesar 35 MPa. Dimana jumlah tulangan dari dinding geser yang direncanakan adalah sebagai berikut:

- ii. Tulangan longitudinal = 2D25-100 mm

- jj. Tulangan transversal = 2D16-100 mm

- kk. Panjang komponen batas = 2.100 mm

E. *Perencanaan Struktur Bawah*

1) *Perencanaan Bored Pile*

Struktur bawah bangunan tahan gempa dan tsunami direncanakan dengan menghitung kapasitas daya dukung tanah saat kondisi *ultimate* berdasarkan AASHTO LRFD *Bridge Design Specifications 2010 Chapter 10*, yaitu dengan mengalikan daya dukung tanah hasil analisa N-SPT dengan suatu *resistance factor* sebesar 0.3. Dimana hasil tersebut akan dibandingkan dengan besar reaksi yang diterima oleh struktur atas yang dikalikan dengan suatu faktor pembesar hasil analisa Xtract sebesar 1.44.

Kemudian karena kondisi tanah disekitar daerah perencanaan cenderung keras, maka diputuskan penggunaan pondasi tipe *bored pile* berdiameter 800 mm sampai kedalaman 20 m dengan daya dukung tanah 2.973,97 kN. Dimana denah pondasi dari bangunan dapat dilihat pada Gambar 5.

2) *Perencanaan Pilecap*

Dalam perencanaan *pilecap*, analisa dilakukan dengan memodelkan *pilecap* sebagai balok kantilever dengan perletakan jepit pada kolom. Sedangkan beban yang diperhitungkan bekerja pada *pilecap* terdiri dari beban terpusat di tiang kolom yang menyebabkan reaksi pada tanah, berat sendiri poer, dan beban *uplift*. Besar dimensi dan jumlah tulangan dari *pilecap* yang direncanakan seperti yang tersaji dalam Tabel 11.

3) *Perencanaan Pile Head Treatment*

Tulangan dari *Pile Head Treatment* (PHT) direncanakan dengan menggunakan program bantu dengan rasio tulangan tidak boleh kurang dari 1% atau lebih dari 6%. Kemudian dari hasil analisa didapatkan jumlah longitudinal sebesar 10D29 mm dengan rasio tulangan sebesar 2.62%. Selain itu dari hasil perencanaan digunakan juga tulangan sengkang spiral sebesar D19-75 mm.

4) *Perencanaan Sloof*

Sloof direncanakan untuk membuat penurunan pondasi terjadi secara bersamaan dan sebagai pengaku antar pondasi. Besar dimensi dan tulangan dari sloof yang direncanakan adalah sebagai berikut:

- a. Dimensi sloof = 300 × 400 mm
- b. Tulangan longitudinal = 8D25 mm
- c. Tulangan transversal = 2D13-150 mm

F. *Permodelan Statik Non-Linear*

Struktur bangunan tahan gempa dan tsunami diharapkan memiliki kapasitas cadangan yang memadai untuk menahan dampak tsunami setelah terjadinya gempa. Sesuai dengan FEMA P-646 untuk memastikan kekuatan dan daktilitas yang memadai dalam menahan beban tsunami, *performance level* struktur gempa harus berada pada level *Immediate Occupancy* (IO) [13].

Dalam mendapatkan *performance level Immediate Occupancy* tersebut struktur bangunan perlu dilakukan analisa dengan menggunakan Metode *Pushover Analysis*. Dimana sebelum dilakukan analisa, elemen-elemen struktur bangunan perlu dimodelkan sebagai elemen non-linear. Begitu juga dengan beban yang bekerja pada bangunan

dimodelkan sebagai beban non-linear statik. Balok dan kolom dimodelkan dengan membuat sendi plastis pada ujung-ujungnya, sedangkan dinding geser dimodelkan dengan membuat sendi plastis berdasarkan tulangan yang digunakan. Tipe sendi balok adalah M3, kolom adalah P-M2-M3, dan dinding geser menggunakan *layered nonlinear*.

Sendi plastis pada balok dan kolom ditentukan berdasarkan hasil analisa kedua elemen struktur tersebut dengan menggunakan program bantu Xtract dan FEMA 356 [18]. Dimana dari hasil analisa dengan program bantu Xtract didapatkan besaran nilai momen dan *curvature* dari elemen struktur terkait saat *ultimate* dan pertama kali leleh. Hasil tersebut kemudian dimasukkan ke dalam program bantu ETABS dengan kriteria penerimaan disesuaikan persyaratan pada FEMA 356 [18].

Hasil analisa *pushover* bangunan diarah x maupun arah y dapat dilihat pada Gambar 6 dan Gambar 7.

Berdasarkan hasil analisa diatas, didapatkan *performance point* dari hasil analisa *pushover* x sebesar 255,342 mm dan *pushover* y sebesar 214,737 mm. Apabila hasil tersebut dibandingkan dengan batas perpindahan menurut ATC 40 untuk *performance level Immediate Occupancy* (IO) sebesar 0.01H atau sama dengan 435 mm, maka bangunan dapat digolongkan berada pada *performance Immediate Occupancy* (IO) [19].

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa yang telah dilakukan dalam perencanaan bangunan tahan gempa dan tsunami di Kota Mataram, Lombok, Nusa Tenggara Barat dapat diambil kesimpulan sebagai berikut: (1) Bangunan yang di desain untuk dapat tahan terhadap beban gempa dan tsunami harus memperhitungkan kriteria penerimaan struktur. (2) Kriteria penerimaan struktur dapat dilakukan dengan melakukan analisa *pushover* pada program bantu ETABS atau analisa struktur lainnya sehingga didapatkan *performance level* bangunan. (3) *Performance level* untuk bangunan tahan gempa dan tsunami sesuai dengan yang disyaratkan FEMA P-646, yaitu berada pada level *Immediate Occupancy* (IO). (4) Dalam perencanaan bangunan tahan gempa dan tsunami, beban gempa direncanakan sesuai SNI 1726:2019 dan beban tsunami direncanakan sesuai SNI 1727:2020. (5) Bangunan tahan gempa dan tsunami di desain dengan kategori risiko gempa IV, faktor keutamaan (I_e) 1.5, dan faktor modifikasi respon (R) 5. (6) Beban tsunami yang diperhitungkan dalam perencanaan adalah beban yang disebabkan oleh gaya hidrostatis, gaya apung, gaya hidrodinamik, gaya angkat, dan gaya tumbukan debris.

B. Saran

Saran yang dapat diberikan berdasarkan hasil analisis dalam tugas akhir ini diantaranya: (1) Perencanaan bangunan tahan gempa dan tsunami atau perkuatan terhadap bangunan lama agar dapat tahan terhadap gempa dan tsunami perlu dilakukan sebagai salah satu upaya pencegahan dini. (2) Pedoman dalam permodelan bangunan untuk analisa non-linear perlu dibuat sebagai acuan dalam permodelan selanjutnya. (3) Pedoman dalam menentukan spesifikasi

sendi plastis yang digunakan dalam analisa non-linear juga perlu dibuat sebagai acuan dalam permodelan selanjutnya. (4) Analisa lebih lanjut dalam menentukan spesifikasi sendi plastis pada dinding geser perlu dilakukan untuk dapat lebih menyesuaikan dengan kondisi yang ada. (5) Analisa lebih lanjut dalam menentukan nilai faktor modifikasi respon (R) yang akan digunakan dalam perencanaan bangunan tahan gempa dan tsunami pada beberapa sistem struktur perlu dilakukan untuk dapat lebih menyesuaikan dengan kondisi yang ada.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. Setyonegoro, B. Sunardi, S. Sulastri, J. Nugraha, and P. Susilanto, "Analisis sumber gempabumi pada segmen Mentawai (studi kasus: gempabumi 25 oktober 2010)," *J. Meteorol. dan Geofis.*, vol. 13, no. 2, 2012.
- [2] G. Sudiarta and K. Dwi Santoso, *Rekomendasi Pengembangan Sistem Peringatan Dini Tsunami di Lombok Nusa Tenggara Barat*, no. November. Kota Mataram, Indonesia: BDBD-NTB, 2011.
- [3] R. Triyono *et al.*, *Katalog Tsunami Indonesia Per-Wilayah Tahun 416-2018*. Indonesia: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, 2019.
- [4] H. Eko Putra *et al.*, *Gemuruh di Lombok, Palu, dan Donggala, Senyap di Selat Sunda. Ulasan 3 Bencana Alam Merusak di 2018*. Indonesia: PT Reasuransi MAIPARK Indonesia, 2018.
- [5] D. P. B. Direktorat Kesiapsiagaan, *Rencana Kontingensi Gempabumi dan Tsunami*. Kota Mataram, Indonesia: Badan Nasional Penanggulangan Bencana, 2019.
- [6] K. P. Umum, "Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 06/PRT/M/2009 tentang Pedoman Perencanaan Umum Pembangunan Infrastruktur di Kawasan Rawan Tsunami." Kementerian Pekerjaan Umum, Jakarta, 2009.
- [7] N. Wood, J. Jones, J. Schelling, and M. Schmidlein, "Tsunami vertical-evacuation planning in the U.S. Pacific Northwest as a Geospatial, Multi-Criteria Decision Problem," *Int. J. Disaster Risk Reduct.*, vol. 9, pp. 68–83, 2014, doi: 10.1016/j.ijdrr.2014.04.009.
- [8] J. A. Heintz and I. N. Robertson, "Guidelines for design of structures for vertical evacuation from tsunamis," *Solut. to Coast. Disasters Congr. 2008 Tsunamis - Proc. Solut. to Coast. Disasters Congr. 2008 Tsunamis*, pp. 1–8, doi: 10.1061/40978(313)7.
- [9] S. Fraser, G. S. Leonard, H. Murakami, and I. Matsuo, "Tsunami vertical evacuation buildings – lessons for international preparedness following the 2011 great East Japan tsunami," *J. Disaster Res.*, vol. 7, pp. 446–457, 2012, doi: 10.20965/jdr.2012.p0446.
- [10] T. Rossetto *et al.*, "The Indian ocean tsunami of December 26, 2004: observations in Sri Lanka and Thailand," *Nat. Hazards*, pp. 1–20, 2006, doi: 10.1007/s11069-006-9064-3.
- [11] W. Dewobroto, "Evaluasi Kinerja Struktur Baja Tahan Gempa dengan Analisa Pushover," Universitas Pelita Harapan.
- [12] S. 1727:2020 Badan Standardisasi Nasional, "Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain," *Badan Standardisasi Nasional*. Badan Standardisasi Nasional (BSN), Jakarta, pp. 1–331, 2020.
- [13] Applied Technology Council, *FEMA P646, Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation from Tsunamis*, no. August. California: Federal Emergency Management Agency, 2019.
- [14] Badan Standar Nasional, "SNI 03-2847-2013 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung," Badan Standar Nasional Jakarta, 2013.
- [15] Badan Standardisasi Nasional, "SNI 1726:2019, Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung," Badan Standar Nasional, Jakarta, pp. 1–254, 2019.
- [16] Departemen Pekerjaan Umum, *Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung 1983*. Bandung: Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan, 1983.
- [17] "Badan Standar Nasional SNI 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta, Sipilpedia." <https://sipilpedia.com/sni-28472019-persyaratan-beton-struktural-untuk-bangunan-gedung-dan-penjelasan/>.
- [18] FEMA and ASCE, *FEMA 356, Prestandard and Commentary for The Seismic Rehabilitation of Buildings*. Washington D.C.: BSS Council, 2000.
- [19] Applied Technology Council, *ATC 40, Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*. California: Applied Technology Council, 1996.