

Analisis Ketidakberaturan Struktur Horizontal dan Vertikal Tower Mesjid Rahmah Kota Langsa Menggunakan SNI 1726:2019

Muhammad Riswandy^{1*}, Haikal Fajri², Muhammad Zacky Ardhyani³, Awal Rahman⁴

^{1,2,3,4}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Samudra, Langsa, Indonesia

Email: ¹riswandy@unsam.ac.id

Abstract

This study aims to analyze the response of a high-rise building to horizontal and vertical structural irregularities in a multi-story structure. The subject of the study is the Rahmah Mosque Tower, located at Jl. Lilawangsa, Gampong Paya Bujuk Tunong, Langsa Baro District, Langsa City, Aceh. This tower exhibits both horizontal and vertical irregularities, which can influence its behavior under applied lateral and vertical loads. The structural behavior is evaluated by examining the building's response to horizontal and vertical irregularities effect induced by seismic loading. The method for seismic loads are analyzed using dynamic response spectrum analysis in accordance with SNI 1726:2019, implemented in ETABS v18.1.1. Results indicate that failure in the Rahmah Mosque Tower is governed by beam collapse due to insufficient flexural capacity under seismic forces, whereas the columns are adequate to resist earthquake loads. Horizontally, the tower exhibits Type 1b and Type 1a irregularities, as well as Horizontal-Torsional Irregularity. Type 1a. Vertically, it displays Mass (weight) Irregularity and Vertical Geometric Irregularity. These irregularities could significantly affect a building's safety, stability, and structural efficiency. Designs that fail to calculate these irregularities may pose serious risks of damage, both under static and dynamic conditions.

Keywords: Earthquake, Horizontal and Vertical Structural Irregularities, Mosque Tower.

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis respon bangunan tinggi terhadap ketidakberaturan struktur horizontal dan vertikal pada bangunan bertingkat. Objek pada penelitian adalah Tower Mesjid Rahmah yang terletak di Jl. Lilawangsa, Gampong Paya Bujuk Tunong Kec. Langsa Baro, Kota Langsa, Aceh. Menara ini menunjukkan adanya ketidakberaturan horizontal dan vertikal, yang dapat mempengaruhi perilakunya struktur di bawah beban lateral dan vertikal yang bekerja. Perilaku struktural dievaluasi dengan memeriksa respons bangunan terhadap efek ketidakberaturan horizontal dan vertikal yang diinduksi oleh beban gempa. Metode terhadap beban gempa dianalisis menggunakan analisis dinamis respon spektrum sesuai dengan SNI 1726:2019, yang diterapkan dalam ETABS v18.1.1. Hasil analisis menunjukkan bahwa kegagalan pada Tower Masjid Rahmah disebabkan oleh keruntuhan balok akibat kapasitas lentur yang tidak memadai di bawah pengaruh gaya gempa, sementara kolom cukup mampu dalam menahan beban gempa. Secara horizontal, tower ini menunjukkan ketidakberaturan Tipe 1b dan Tipe 1a, serta Ketidakberaturan Horizontal-Torsional Tipe 1a. Secara vertikal, menara ini menunjukkan Ketidakberaturan Massa (berat) dan Ketidakberaturan Geometrik Vertikal. Ketidakberaturan ini berpotensi memberikan dampak yang besar terhadap keselamatan, kestabilan, dan efisiensi struktural bangunan. Perancangan yang tidak memperhitungkan ketidakberaturan ini bisa mengarah pada risiko kerusakan bangunan yang serius, baik pada kondisi statis maupun dinamis.

Kata Kunci: Gempa Bumi, Ketidakberaturan Struktural Horizontal dan Vertikal, Tower Masjid.

1. PENDAHULUAN

Aktivitas gempa bumi di Indonesia sangat rentan menyebabkan kerusakan, terutama pada tempat tinggal. Gempa bumi disebabkan beberapa hal, seperti pergeseran lempeng bumi, aktivitas vulkanik gunung berapi (Nursyamsi et al., 2022). Implikasi dari bencana alam tersebut sangat besar, karena sering kali menyebabkan kerusakan parah pada infrastruktur permukiman, yang mengakibatkan korban jiwa dan kerugian ekonomi (Sumiaty et al., 2023) (Pamungkas et al., 2022). Kota Langsa merupakan salah satu kota di wilayah provinsi Aceh yang berdekatan dengan wilayah provinsi Sumatra utara. Kota Langsa adalah perkotaan yang mempunyai luas wilayah 262,41 km² dengan jumlah penduduk ditahun 2019 sebanyak 176.811 jiwa dan penduduk semakin bertambah di setiap tahunnya (Penempatan et al., 2021). Kota Langsa memiliki banyak bangunan bertingkat yang di dominasi oleh rumah sakit, gedung perkantoran, bangunan ruko, bangunan sekolah, dan terdapat juga beberapa bangunan yang tinggi seperti tower mesjid, gedung pemerintahan dan lain - lain. Dalam perencanaan struktural bangunan, penting untuk memperhatikan beban-beban yang akan bekerja pada struktur tersebut, termasuk beban gempa. Gempa bumi adalah salah satu faktor eksternal yang dapat menyebabkan kerusakan parah pada bangunan, sehingga perencanaan yang cermat sangatlah penting (Karimi & Sarem, 2021).



Gambar 1. Gambar Tower Mesjid Rahmah

Bangunan – bangunan yang tinggi setidaknya harus dilakukan pengujian terhadap ketidakberaturan vertikal dan horizontal untuk mengetahui ketahanan bangunan tersebut terhadap gempa bumi. Ketidakberaturan struktural, baik vertikal maupun horizontal, dapat menyebabkan kerentanan terhadap dampak gempa bumi. Misalnya, bangunan yang memiliki ketidakberaturan dalam bentuk atau distribusi massa dapat mengalami

peningkatan dislokasi horizontal dan vertikal ketika terkena gaya seismik (Pechorskaya et al., 2021) (Xu et al., 2024). Gaya horizontal yang terjadi saat gempa bumi dapat menyebabkan struktur gedung mengalami simpangan horizontal (drift), yang berpotensi melebihi syarat yang ditetapkan dalam peraturan, sehingga mengakibatkan keruntuhan struktur. Gempa bumi menciptakan gaya lateral yang menginduksi simpangan pada bangunan, dan jika simpangan ini melebihi batas aman, maka kerugian struktural dapat terjadi (Alfredo et al., 2024). Penggunaan bahan ringan dalam konstruksi juga dapat menjadi alternatif untuk meningkatkan ketahanan terhadap gempa tanpa menambah beban yang tidak perlu (Kurniati et al., 2022). Kontradiksi dalam desain bangunan tinggi yang tidak teratur dapat mengakibatkan meningkatnya kemungkinan kerusakan ketika terkena gempa bumi, sehingga penting untuk mematuhi standar desain yang relevan, seperti yang diamanatkan dalam standar nasional (Huang et al., 2021).

Pada suatu planning struktur gedung beton bertulang, gaya-gaya lateral sangat penting untuk diperhitungkan dalam perencanaan. Hal ini bertujuan agar bangunan tersebut dapat menahan gaya lateral yang bekerja pada gedung tersebut baik gaya akibat angin, maupun gaya gempa. Maka dalam prakteknya dituntut dalam membangun suatu gedung sebaiknya mengikuti prosedur SNI yang berlaku sehingga bangunan tersebut dan bermanfaat dengan baik dan secara cost mengungari biaya pemeliharaan (Tjahjono, 2022). Dalam perencanaan struktur gedung bertingkat tinggi, kekuatan merupakan faktor utama yang harus diperhatikan, terutama pada bangunan yang berada di daerah rawan gempa, desain struktural yang cukup kuat untuk menghadapi gaya seismik adalah wajib. Beberapa sistem tahan gempa sedang dipelajari untuk memastikan bahwa bangunan memiliki ketahanan yang memadai terhadap gempa yang mungkin terjadi (Sobuz et al., 2024).

Selama proses desain ini melibatkan penggunaan model analitis untuk mengevaluasi perilaku struktural bangunan selama kejadian seismik, serta penerapan pedoman terkini untuk desain berbasis kinerja (Suquillo et al., 2024). Bangunan tower mesjid merupakan salah satu jenis bangunan yang memiliki karakteristik khusus dan memerlukan perhatian yang lebih dalam dalam analisis strukturnya. Ketidakberaturan struktur horizontal dan vertikal pada bangunan tower mesjid dapat mempengaruhi perilaku struktur terhadap beban lateral dan vertikal yang bekerja. Oleh karena itu, analisis ketidakberaturan struktur pada bangunan tower mesjid menjadi hal yang penting untuk dilakukan guna memastikan keamanan dan keandalan struktur. Dengan peningkatan kemampuan komputer dan kemajuan dalam desain matematika, analisis struktur dapat diselesaikan dengan menggunakan program komputer (Ginting et al., 2022). Lokasi penelitian berada di Jl. Lilawangsa, Gampong Paya Bujuk Tunong Kec. Langsa Baro, Kota Langsa, Aceh. Respons bangunan akibat gempa yang terjadi dapat dianalisis secara statik maupun dinamik (Orchidentus et al., 2016).

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis data dengan menggunakan metode numerik. Analisis data dengan melakukan analisis struktur bangunan dan pemodelan desain bangunan menggunakan software Etabs (Nadiar et al., 2024). Struktur tidak beraturan mengacu pada bangunan atau struktur lain yang menyimpang dari prinsip desain standar dan bentuk geometris. Berdasarkan penelitian sebelumnya, salah satu faktor yang menyebabkan kegagalan struktur tidak beraturan adalah bentuk asimetris, yang menyebabkan distribusi beban tidak merata dalam struktur (Hidayat & Andryan, 2024). Dalam SNI 1726:2019, yang mengatur perancangan bangunan gedung dan struktur untuk menghadapi beban gempa, dijelaskan bahwa struktur dengan bentuk dan distribusi massa yang tidak beraturan cenderung menunjukkan perilaku dinamis yang berbeda dibandingkan dengan struktur beraturan. Hal ini disebabkan oleh distribusi massa dan kekakuan yang tidak merata, yang mengarah

pada respons dinamis yang lebih kompleks dan tidak stabil ketika menerima beban seismik (Badan Standardisasi Nasional, 2019). Oleh karena itu, perancangan struktur semacam ini memerlukan pendekatan analisis dinamis untuk memastikan kestabilan dan keselamatan bangunan di bawah pengaruh beban gempa. Saat ini, banyak bangunan memiliki konfigurasi yang tidak teratur baik pada denah maupun elevasi karena perbedaan persyaratan fungsional dan estetika (Bekele, 2022). Oleh karena itu, evaluasi perilaku seismik bangunan beton bertulang dengan ketidakaturan denah dan elevasi diperlukan (Netsanet Bekele, 2022). Evaluasi ketidakberaturan struktural yang mendalam dapat membantu meminimalkan risiko bencana di masa mendatang, seperti yang ditampilkan pada kasus-kasus setelah gempa bumi, di mana kerusakan lebih banyak terjadi pada bangunan dengan ketidakberaturan desain (Reinoso et al., 2021) (Suranto et al., 2024).

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini berfokus pada analisis ketidakberaturan struktur kolom dan balok pada arah vertikal maupun arah horizontal dengan input beban gempa yang diberikan pada pemodelan. Data penelitian didapat dari hasil pengamatan dan sumber-sumber tertentu yaitu berupa gambar struktur, mutu bahan, data sondir, dan rekaman gempa. Kemudian dilanjutkan dengan melakukan input data hasil pengamatan dalam pemodelan menggunakan bantuan software ETABS versi 18.1.1. Berikut merupakan data yang digunakan pada pemodelan.

Tabel 1. Data Struktur Bangunan

Data	Keterangan
Jumlah lantai	6 lantai
Jenis material	Beton bertulang
Mutu beton ($f'c$)	20,75 Mpa
Mutu tulangan	BJTS 420A dan BJTP 280
Lokasi Bangunan	Desa Paya Bujuk Tunong, Kota Langsa

Dimensi dan kodefikasi kolom, balok yang digunakan pada bangunan dapat dilihat pada Tabel 2, dimana dimensi kolom dan balok yang digunakan terdapat beberapa variasi pada strukturnya. Warna pada kodefikasi kolom dan balok ini menandakan kode warna pada model 3D yang digunakan pada pemodelan. Ukuran ketebalan pelat lantai yang digunakan adalah 130 mm.

Tabel 2. Dimensi dan Kodefikasi Kolom dan Balok

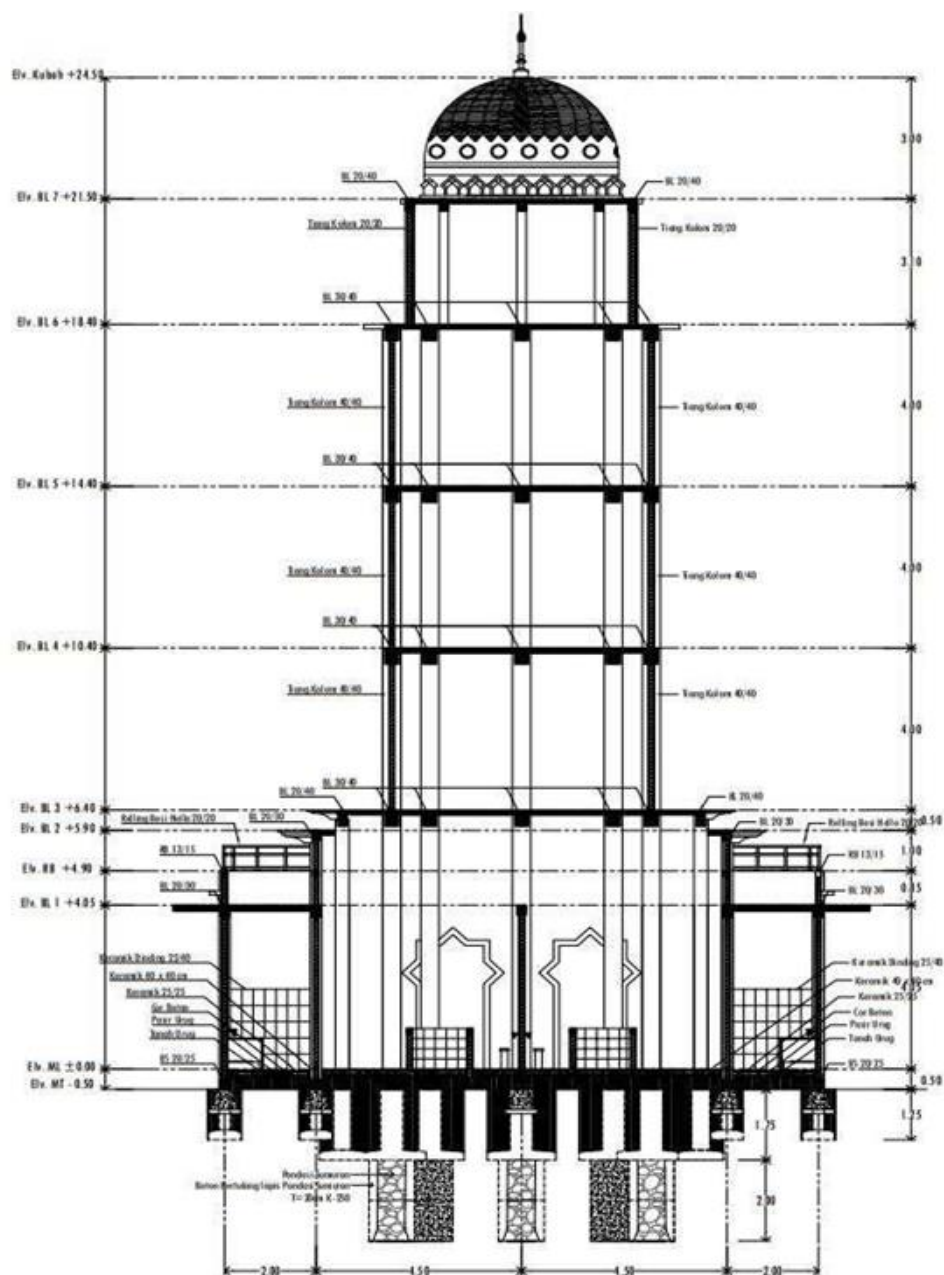
Kode Balok	Dimensi (mm)		Kode Kolom	Dimensi (mm)	
	B	H		B	H
B 20/30	200	300	K1 40/40	400	400
B 20/40	200	400	K2 20/20	200	200
B 30/40	300	400	K3 35/35	350	350
			K4 30/30	300	300
			K5 15/15	150	150

Besarnya beban gempa dalam penelitian ini akan dianalisis dengan analisis dinamis respons spektrum sesuai dengan SNI Gempa 2019 menggunakan program Analisa Struktur. Untuk menghitung beban dengan analisis respons spektrum, terlebih dahulu harus dibuat kurva respons spektrum. Kurva respons spektrum dirancang sendiri

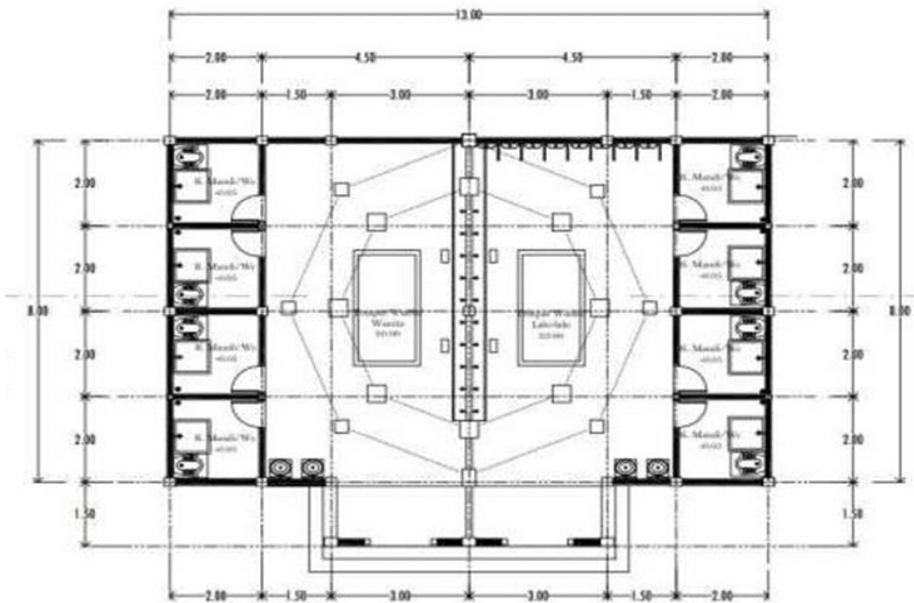
berdasarkan parameter-parameter percepatan menurut wilayah dan jenis struktur dan nantinya akan dimasukkan ke dalam program. Besarnya respons spektral dari lokasi struktur diperoleh dari peta gempa pada SNI Gempa 2019. Gambar denah dan potongan pemodelan dan parameter tersebut dapat dilihat sebagai berikut.

Tabel 3. Parameter Gempa

Data	Keterangan
Jumlah lantai	6 lantai
S_s	0,68
S_I	0,34
F_a	1,42
F_v	2,63
S_{DS}	0,642
S_{D1}	0,600
Lokasi Bangunan	Desa Paya Bujok Tunong, Kota Langsa



Gambar 2. Potongan Tower



Gambar 3. Denah Lantai 1

Data sondir untuk penelitian ini tidak menggunakan data sondir yang berasal dari wilayah Masjid Rahmah tetapi pada penelitian ini. Data sondir yang dipakai merupakan data sondir yang berasal dari wilayah yang tidak jauh dari Masjid Rahmah yaitu terletak di Jl. Tengku Yahya, Paya Bujok Tunong, Kec. Langsa Baro, Kota Langsa, Aceh.

Tabel 4. Data Sondir Yayasan Huda Wan Nur Gampong Paya Bujok Tunong

Kedalaman	Perhitungan Pondasi Dangkal									
	S.01		S.02		Daya dukung izin pondasi Pa (ton)					
	Cone Resistan	Daya Dukung	Cone Resistan	Daya Dukung	Tapak Bujur Sangkar B x B (cm)					
	ce (qc)	(Qult)	ce (qc)	(Qult)						
(m)	(kg/cm2)	(kg/cm2)	(kg/cm2)	(kg/cm2)	100	120	140	160	180	200
0,00	20,00	5,83	20,00	5,83	58,32335	83,98562	114,3138	149,3078	188,9676	233,2934
0,20	20,00	5,83	40,00	10,27	58,32335	83,98562	114,3138	149,3078	188,9676	233,2934
0,40	20,00	5,83	40,00	10,27	58,32335	83,98562	114,3138	149,3078	188,9676	233,2934
0,60	20,00	5,83	40,00	10,27	58,32335	83,98562	114,3138	149,3078	188,9676	233,2934
0,80	20,00	5,83	40,00	10,27	58,32335	83,98562	114,3138	149,3078	188,9676	233,2934
1,00	20,00	5,83	40,00	10,27	58,32335	83,98562	114,3138	149,3078	188,9676	233,2934
1,20	20,00	5,83	40,00	10,27	58,32335	83,98562	114,3138	149,3078	188,9676	233,2934
1,40	20,00	5,83	40,00	10,27	58,32335	83,98562	114,3138	149,3078	188,9676	233,2934
1,60	10,00	3,55	20,00	5,83	35,53302	51,16754	69,64471	90,96452	115,127	142,1321
1,80	10,00	3,55	20,00	5,83	35,53302	51,16754	69,64471	90,96452	115,127	142,1321
2,00	10,00	3,55	20,00	5,83	35,53302	51,16754	69,64471	90,96452	115,127	142,1321
2,20	10,00	3,55	20,00	5,83	35,53302	51,16754	69,64471	90,96452	115,127	142,1321
2,40	10,00	3,55	20,00	5,83	35,53302	51,16754	69,64471	90,96452	115,127	142,1321
2,60	5,00	2,40	35,00	9,18	23,98877	34,54384	47,018	61,41126	77,72363	95,9551
2,80	5,00	2,40	35,00	9,18	23,98877	34,54384	47,018	61,41126	77,72363	95,9551
3,00	5,00	2,40	35,00	9,18	23,98877	34,54384	47,018	61,41126	77,72363	95,9551
3,20	5,00	2,40	35,00	9,18	23,98877	34,54384	47,018	61,41126	77,72363	95,9551
3,40	5,00	2,40	35,00	9,18	23,98877	34,54384	47,018	61,41126	77,72363	95,9551
3,60	10,00	3,55	35,00	9,18	35,53302	51,16754	69,64471	90,96452	115,127	142,1321
3,80	10,00	3,55	35,00	9,18	35,53302	51,16754	69,64471	90,96452	115,127	142,1321
4,00	10,00	3,55	35,00	9,18	35,53302	51,16754	69,64471	90,96452	115,127	142,1321
4,20	10,00	3,55	35,00	9,18	35,53302	51,16754	69,64471	90,96452	115,127	142,1321
4,40	10,00	3,55	35,00	9,18	35,53302	51,16754	69,64471	90,96452	115,127	142,1321
4,60	20,00	5,83	35,00	9,18	58,32335	83,98562	114,3138	149,3078	188,9676	233,2934
4,80	20,00	5,83	35,00	9,18	58,32335	83,98562	114,3138	149,3078	188,9676	233,2934
5,00	20,00	5,83	35,00	9,18	58,32335	83,98562	114,3138	149,3078	188,9676	233,2934
5,20	20,00	5,83	35,00	9,18	58,32335	83,98562	114,3138	149,3078	188,9676	233,2934
5,40	20,00	5,83	50,00	12,42	58,32335	83,98562	114,3138	149,3078	188,9676	233,2934
5,60	30,00	8,07	60,00	14,54	80,71026	116,2228	158,1921	206,6183	261,5012	322,841
5,80	30,00	8,07	80,00	18,63	80,71026	116,2228	158,1921	206,6183	261,5012	322,841

6,00	30,00	8,07	90,00	20,61	80,71026	116,2228	158,1921	206,6183	261,5012	322,841
6,20	30,00	8,07	100,00	22,54	80,71026	116,2228	158,1921	206,6183	261,5012	322,841
6,40	50	12,42	120	26,27	124,2438	178,911	243,5178	318,064	402,5498	496,9751
6,60	60	14,54	120	26,27	145,3742	209,3389	284,9335	372,1581	471,0125	581,497
6,80	70	16,61								
7,00	75	17,63								
7,20	75	17,63								
7,40	75	17,63								
7,60	100	22,54								
7,80	100	22,54								
8,00	100	22,54								

Pemeriksaan Ketidakberaturan Horizontal dan Vertikal

Setelah dilakukan input pembebanan dan parameter gempa dilanjutkan dengan melakukan pemeriksaan ketidakberaturan horizontal dan vertikal menggunakan bantuan software ETABS versi 18.1.1 dengan berdasarkan SNI 1726:2019. Pemeriksaan ketidakberaturan horizontal meliputi tahapan-tahapan berikut:

- 1) Ketidakberaturan Torsi
- 2) Ketidakberaturan Sudut Dalam
- 3) Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma
- 4) Ketidakberaturan Pergeseran Tegak Lurus Terhadap Bidang
- 5) Ketidakberaturan Sistem Non Paralel

Pemeriksaan ketidakberaturan vertikal perlu dilakukan terhadap bangunan tower mesjid ini karena bangunan ini juga memiliki bentuk ketidakberaturan pada arah vertikal. Cakupan pemeriksaan ketidakberaturan vertikal meliputi tahapan-tahapan berikut:

- 1) Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak
- 2) Ketidakberaturan Berat (Massa)
- 3) Ketidakberaturan Geometri Vertikal
- 4) Ketidakberaturan Akibat Diskontinuitas Bidang pada Elemen Vertikal Pemikul Gaya Lateral
- 5) Ketidakberaturan Tingkat Lemah Akibat Diskontinuitas Pada Kekuatan Lateral Tingkat

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

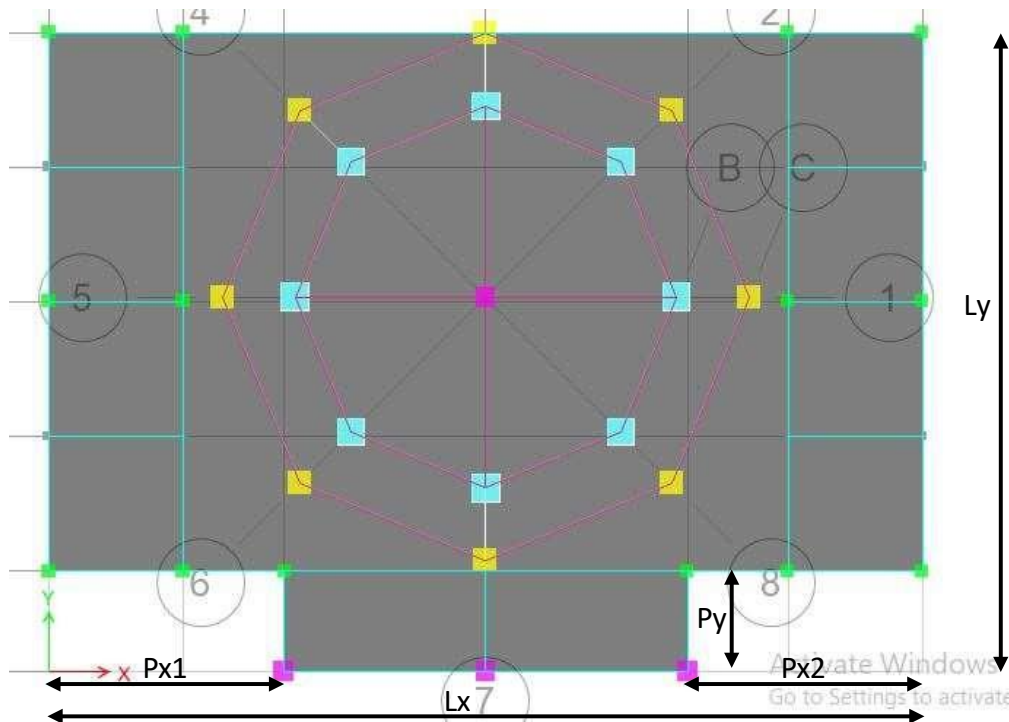
3.1 Analisis Ketidakberaturan Horizontal

Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1a dan 1b Ketidakberaturan horizontal dianalisis dengan membedakan arah gempa x dan arah gempa. Tabel 5 menunjukkan ketidakberaturan horizontal tipe 1b pada lantai 1 dan lantai 2 serta terdapat ketidakberaturan horizontal tipe 1a pada lantai 2. Sedangkan tinjauan pada lantai yang lain tidak ditemukan adanya ketidakberaturan horizontal Tipe 1a dan 1b.

Tabel 5. Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1a dan 1b

Lantai	Arah X	Arah Y	Lantai	Arah X
	$\Delta_{max}/\Delta_{avg}$	Cek		$\Delta_{max}/\Delta_{avg}$
6	1,022	OK	1,018	OK
5	1,027	OK	1,022	OK
4	1,029	OK	1,024	OK
3	1,032	OK	1,026	OK
2B	1,145	OK	1,149	OK
2A	1,093	OK	1,079	OK
2	1,411	H.1b	1,371	H.1a
1	1,997	H.1b	1,098	OK
6	1,022	OK	1,018	OK

Menurut SNI 1726-2019 pada Tabel 13 ketidakberaturan sudut dalam terjadi apabila dimensi proyeksi denah pada struktur dari lokasi sudut dalam lebih besar dari 15% dimensi denah struktur dalam arah yang ditinjau. Berikut ini adalah peninjauan ketidakberaturan sudut dalam yang dapat dilihat pada Gambar 4 dan Tabel 5.



Gambar 4. Acuan Untuk Analisis Ketidakberaturan Sudut Dalam

Berdasarkan hasil analisis ketidakberaturan diskontinuitas diafragma tidak terjadi pada bangunan tower mesjid yang ditinjau, dikarenakan tidak memiliki daerah yang terpotong atau terbuka pada bangunan tower mesjid tersebut.

Tabel 6. Hasil Pengecekan Ketidakberaturan Sudut Dalam

Lx	13	m
Px1	3,5	m
Px2	3,5	m
Ly	9,5	m
Py	1,5	m
Px1/Lx	0,27	
Px2/Lx	0,27	
Py/Ly	0,16	
Cek	OK	

Ketidakberaturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang tidak terjadi pada bangunan tower mesjid yang ditinjau, dikarenakan bangunan tower mesjid ini tidak memiliki dinding geser menerus dari dasar hingga atap bangunan. Secara keseluruhan bangunan tower mesjid ini tidak memiliki dinding geser menerus dari dasar hingga atap bangunan. Sehingga, peninjauan ketidakberaturan sistem nonparalel tidak terjadi pada bangunan tower mesjid.

3.1 Analisis Ketidakberaturan Vertikal

Pemeriksaan ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak terdiri dari kekakuan 1a dan kekakuan 1b mengacu pada persamaan berikut.

1a. Kekakuan tingkat lunak

$$K_i < 70\% K_{i+1}$$

$$K_i < 80\% \text{ rata}^2 \text{ 3 tingkat}$$

1b. Kekakuan tingkat lunak

$$K_i < 60\% K_{i+1}$$

$$K_i < 70\% \text{ rata}^2 \text{ 3 tingkat}$$

keterangan :

K_i = kekakuan lateral

Hasil data analisis ketidakberaturan kekakuan yang dilakukan menggunakan software ETABS selanjutnya dilakukan pemeriksaan menggunakan persamaan kekakuan 1a dan kekakuan 1b.

Tabel 7. Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1a dan 1b

Lantai	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
	$\Delta_{max}/\Delta_{avg}$	Cek	$\Delta_{max}/\Delta_{avg}$	Cek
6	20971,456	OK	21273,392	OK
5	17472,864	OK	17804,415	OK
4	18232,422	OK	18638,554	OK
3	22399,566	OK	22854,496	OK
2B	579303,441	OK	599142,948	OK
2A	247438,013	V.1b	254863,727	V.1b
2	288136,185	OK	291375,775	OK
1	38579,088	V.1b	38474,304	V.1b

Tabel 7 memperlihatkan bahwa pada bangunan tower mesjid ini terdapat ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak 1b di arah X dan arah Y yang terdapat pada lantai 1 dan 2A.

Pemeriksaan ketidakberaturan berat dilakukan dengan menghitung berat lantai yang berdekatan dan apabila berat lantai 150 % lebih berat dari lantai didekatnya maka terjadi ketidakberaturan berat (massa). Untuk Hasil analisis ketidakberaturan berat dapat dilihat pada Tabel 8 dimana dapat disimpulkan pada bangunan tower mesjid ini terdapat ketidakberaturan berat (massa) yang terdapat pada lantai 2 dan lantai 2B.

Tabel 8. Hasil Pemeriksaan Ketidakberaturan Berat (Massa)

Lantai	Massa (Kg)	Cek
6	35966,06	OK
5	45048,82	OK
4	47104,42	OK
3	47104,42	OK
2B	55760,91	V.2
2A	14818,91	OK
2	74161,32	V.2
1	20156,16	OK

Peninjauan terhadap ketidakberaturan geometri vertikal tidak terjadi pada bangunan tower mesjid, dikarenakan dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik pada suatu tingkat tidak melebihi 130% dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik pada lantai diatas maupun dibawahnya.

Tabel 9. Hasil Pengecekan Ketidakberaturan Geometri Vertikal

Lantai	L (mm)	Cek
6	5680	OK
5	5680	OK
4	5680	OK
3	5680	OK
2B	7840	V.2
2A	7840	OK
2	13000	V.2
1	13000	OK

Secara keseluruhan bangunan tower mesjid tidak terdapat dinding geser menerus dari dasar hingga atap bangunan sehingga, ketidakberaturan akibat diskontinuitas bidang pada elemen vertikal pemikul gaya lateral tidak terjadi pada bangunan tower mesjid.

Tabel 10. Pemeriksaan Ketidakberaturan Tingkat Lemah Akibat Diskontinuitas

Lantai	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
	Gaya kN	Cek	Gaya kN	Cek
6	82,60	OK	83,05	OK
5	174,12	OK	174,99	OK
4	243,83	OK	245,14	OK
3	288,42	OK	290,08	OK
2B	319,24	OK	321,09	OK
2A	328,53	V.1b	330,43	V.1b
2	376,23	OK	378,56	OK
1	388,67	V.1b	391,16	V.1b

Berdasarkan Tabel 10 ketidakberaturan tingkat lemah akibat diskontinuitas pada kekuatan lateral tingkat dapat terjadi apabila kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 80% (5a) atau kurang dari 65% (5b) dari kekuatan lateral pada tingkat di atasnya. Hal ini dapat disimpulkan pada bangunan tower mesjid ini tidak terdapat ketidakberaturan tingkat lemah akibat diskontinuitas pada kekuatan lateral tingkat. Secara lebih spesifik, sesuai dengan ketentuan dalam SNI 1726:2019, bahwa tingkat distribusi massa dan kekakuan pada tiap lantai terpelihara dengan baik, terutama untuk mencegah timbulnya gaya yang bekerja seperti torsi atau resonansi yang tidak diinginkan, yang bisa mempengaruhi stabilitas dan kenyamanan penghuni bangunan. Ketiadaan ketidakberaturan pada tingkat lemah ini menunjukkan bahwa desain struktur tower masjid ini cukup memenuhi standar ketahanan gempa yang diterapkan oleh SNI.

4. KESIMPULAN

Penelitian terhadap bangunan Tower Mesjid Rahmah yang terletak di Gampong Paya Bujuk Tunong, Kec. Langsa Baro, Kota Langsa, Aceh, menunjukkan bahwa bangunan ini mengalami keruntuhan pada 21 balok akibat ketidakmampuan balok menahan beban gaya gempa. Keruntuhan tersebut terjadi pada lantai 2 (12 balok), lantai 2B (8 balok), dan lantai 3 (5 balok). Meskipun demikian, struktur kolom pada bangunan ini dapat menahan gaya gempa dengan baik, yang menunjukkan bahwa kolom memiliki ketahanan lateral yang cukup terhadap beban gempa.

Analisis lebih lanjut terhadap ketidakberaturan struktur horizontal dan vertikal mengungkapkan adanya ketidakberaturan signifikan pada distribusi massa dan kekakuan pada setiap lantai. Pada lantai 1 dan lantai 2 ditemukan ketidakberaturan struktur

horizontal tipe 1b pada arah X, serta ketidakberaturan vertikal dalam bentuk kekakuan tingkat lunak dan ketidakberaturan massa. Ketidakberaturan ini lebih jelas pada lantai 2A dan 2B, yang menunjukkan masalah terkait distribusi massa dan kekakuan pada struktur vertikal.

Berdasarkan temuan tersebut, beberapa langkah tindak lanjut yang perlu diperhatikan adalah: (1) perbaikan desain dan penguatan balok untuk meningkatkan kapasitasnya dalam menahan beban gempa, (2) perbaikan ketidakberaturan struktur horizontal dan vertikal untuk memastikan distribusi massa dan kekakuan yang lebih merata, (3) pemodelan dinamis lanjutan untuk memperkirakan lebih akurat pengaruh ketidakberaturan pada kinerja struktural, (4) penguatan sistem kolom untuk menghadapi peningkatan beban yang mungkin terjadi, dan (5) penerapan prosedur desain gempa yang lebih ketat sesuai dengan standar SNI 1726:2019. Langkah-langkah ini diharapkan dapat meningkatkan ketahanan bangunan terhadap gempa dan menjamin keselamatan penghuni di masa mendatang.

REFERENCES

- Alfredo, Sjah, J., Rarasati, A. D., & Trigunarsyah, B. (2024). Analysis and Design of Irregular Structure using Building Information Modelling Integration. Case Study: Laboratory Tower. *E3S Web of Conferences*, 517, 05023. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202451705023>
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). *SNI 1726:2019 Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung*. www.bsn.go.id
- Bekele, B. N. (2022). Effect Of Vertical Irregularity On Fundamental Period And Stability Of Reinforced Concrete Building. *Journal of University of Shanghai for Science and Technology*, 24(02), 147–156. <https://doi.org/10.51201/JUSST/22/0172>
- Ginting, J. I., Purwandito, M., & Ardhyani, M. Z. (2022). *KAJIAN PENEMPATAN DINDING GESER PADA BANGUNAN RUSUNAWA BERLANTAI 5 DENGAN VARIASI BEARING WALL* (Vol. 03).
- Hidayat, I., & Andryan. (2024). Analysis of type X bracing on irregular building structure. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1324(1), 012003. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1324/1/012003>
- Huang, X., Lv, Y., Chen, Y., Qi, L., Zhu, X., & Hu, X. (2021). Performance-based seismic design of the outrigger of a high-rise overrun building with asymmetric vertical setback in a strong earthquake area. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 30(5). <https://doi.org/10.1002/tal.1834>
- Karimi, N., & Sarem, R. (2021). Seismic response of multi-storey building using different vibration technique-A review. *International Journal of Innovative Research and Scientific Studies*, 4(1), 1–13. <https://doi.org/10.53894/ijirss.v4i1.49>
- Kurniati, D., Eka Faisal Nurhidayatullah, & Samsul A Rahman Sidik Hasibuan. (2022). Rapid Assessment of Earthquake Threat Vulnerability in Campus 3 of University of Technology Yogyakarta Based on Android Application. *International Journal of Engineering Technology and Natural Sciences*, 4(2), 119–127. <https://doi.org/10.46923/ijets.v4i2.178>
- Nadiar, F., Zega, B. C., Dani, H., Suprpto, Sari, S. F. M., Prasetyono, P. N., & Zulfikar, A. R. (2024). Comparative analysis of deviation in high buildings based on earthquake load SNI 1726:2012 and SNI 1726:2019. *E3S Web of Conferences*, 513, 01008. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202451301008>
- Netsanet Bekele, B. (2022). Effect Of Setback Irregularity On Elastic Seismic Demand Of Reinforced Concrete Building. *Journal of University of Shanghai for Science and Technology*, 24(02), 182–193. <https://doi.org/10.51201/JUSST/22/0242>

- Nursyamsi, N., Tarigan, J., Harahap, M., Winata, H. A., & Hani, S. (2022). KAJIAN STRUKTUR ISTANA MAIMUN DALAM MERESPON GAYA GEMPA. In *Juni* (Vol. 8, Issue 1).
- Orchidentus, R., Wantalantie, F., Pangouw, J. D., & Windah, R. S. (2016). ANALISA STATIK DAN DINAMIK GEDUNG BERTINGKAT BANYAK AKIBAT GEMPA BERDASARKAN SNI 1726-2012 DENGAN VARIASI JUMLAH TINGKAT. *Jurnal Sipil Statik*, 4(8), 471–480.
- Pamungkas, A., Larasati, K. D., & Iranata, D. (2022). Building emergency infrastructure requirement to enhance urban resilience for earthquake: A case study of Surabaya building regulation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1095(1), 012007. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1095/1/012007>
- Pechorskaya, S. A., Galishnikova, V. V., Gebreslassie, S. B., & Damir, H. Y. (2021). Structural analysis of high-rise building using ETABS and RSA software. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*, 17(2), 133–139. <https://doi.org/10.22363/1815-5235-2021-17-2-133-139>
- Penempatan, K., Geser, D., Dan, ..., Ramadhan, P., & Purwandito, M. (2021). KAJIAN PENEMPATAN DINDING GESER PADA GEDUNG RUSUN BERLANTAI 5 DENGAN VARIASI FRAME WALLS STUDY ON PLACEMENT OF SLIDING WALLS ON BUILDING 5 FLOOR FLOOR WITH VARIATION OF FRAME WALLS. 2(2).
- Reinoso, E., Quinde, P., Buendía, L., & Ramos, S. (2021). Intensity and damage statistics of the September 19, 2017 Mexico earthquake: Influence of soft story and corner asymmetry on the damage reported during the earthquake. *Earthquake Spectra*, 37(3), 1875–1899. <https://doi.org/10.1177/8755293020981981>
- Sobuz, Md. H. R., Meraz, Md. M., Saha, A., Akid, A. S. M., Hasan, N. Md. S., Rahman, M., & Safayet, Md. A. (2024). Performance assessment of various seismic resistant systems for a multistory structure in different seismic zones of Bangladesh. *Journal of Engineering, Design and Technology*, 22(3), 718–738. <https://doi.org/10.1108/JEDT-11-2021-0656>
- Sumiaty, S., Batjo, S. H., Taqwin, T., Pani, W., Silfia, N. N., Usman, H., Ramadhan, K., Kusumawati, D. E., Aslinda, W., Ndam, M., Supetran, I. W., Patompo, M. F. Dg., Condeng, B., Junaidi, J., Kolomboy, F., Zainul, Z., Sulaeman, D. S., Novarianti, N., Saharudin, S., & Nilasanti, N. M. R. (2023). Edukasi Mitigasi Kesehatan Reproduksi pada Masyarakat Desa Sibalaya Utara dan Sibalaya Selatan, Kabupaten Sigi, Sulawesi Tengah. *Poltekita: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 4(1), 268–275. <https://doi.org/10.33860/pjpm.v4i1.1654>
- Suquillo, B., Rojas, F., & Massone, L. M. (2024). Seismic Performance Evaluation of a Chilean RC Building Damaged during the Mw8.8 Chile Earthquake. *Buildings*, 14(4), 1028. <https://doi.org/10.3390/buildings14041028>
- Suranto, J., Aswin, M., & Nursyamsi, N. (2024). Evaluasi Ketentuan Keamanan Model Struktur dan Level Kinerja dari Bangunan Beton Bertulang Eksisting Akibat Beban Gempa. *Action Research Literate*, 8(3), 480–491. <https://doi.org/10.46799/ar.v8i3.320>
- Tjahjono, B. (2022). PENGARUH SIMPANGAN LATERAL TERHADAP PENGGUNAAN HUNCH PADA GEDUNG BETON BERTULANG AKIBAT BEBAN GEMPA. *Jurnal Penelitian Jalan Dan Jembatan*, 2(2). <https://doi.org/10.59900/ptrkjj.v2i2.88>
- Xu, Z., Zhao, J., Bai, G., & Ding, Y. (2024). Multidimensional Seismic Response Analysis of Large-Scale Steel-Reinforced Concrete Frame-Bent Structures in CAP1400 Nuclear Power Plant. *Buildings*, 14(5), 1318. <https://doi.org/10.3390/buildings14051318>