

Analisis Frekuensi Struktur Menara Masjid Raya Al-Aqsa Kabupaten Merauke

Arif Setiawan¹, Budi Doloksaribu^{1,*}, Abner Doloksaribu¹

¹Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Musamus
Merauke, Indonesia

www.as.250@gmail.com, budi@unmus.ac.id, abnerdologsaribu@gmail.com,

Abstrak – Indonesia merupakan negara yang berada pada daerah pertemuan batas lempeng yang mengakibatkan rawan akan terjadinya gempa. Hal ini akan berpengaruh pada konstruksi bangunan berupa beban gempa yang mengakibatkan bangunan akan bergetar lebih besar daripada getaran aslinya. Tujuan penelitian ini untuk menganalisis frekuensi struktur yang terjadi pada menara Masjid Raya Al-Aqsa Kabupaten Merauke – Papua Selatan. Metode yang digunakan dalam analisis frekuensi struktur adalah analitik dan menggunakan *software* SAP 2000. Perencanaan mengacu pada SNI 1729:2020 tentang bangunan baja, SNI 2847:2019 tentang bangunan beton, SNI 1726:2019 tentang ketahanan gempa untuk struktur, dan Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG 1983). Hasil dari penelitian ini didapatkan frekuensi struktur menara Masjid Raya secara analitik adalah sebesar 4,3681 rad/detik atau 0,6955 putaran/detik, sedangkan pada analisis menggunakan *software* SAP2000 didapat hasil sebesar 4,3700 rad/detik atau 0,6955 putaran/detik. Hasil dari perhitungan analitik maupun menggunakan *software* dinyatakan aman atau tidak melebihi dari batas izin waktu getar alami yaitu sebesar 2,06 detik.

Kata Kunci: Getaran, frekuensi alami, waktu getar alami

Abstract - Indonesia is a country located at the confluence of plate boundaries which makes it prone to earthquakes. This will affect the construction of buildings in the form of earthquake loads that cause the building to vibrate more than the original vibration. The purpose of this research is to analyze the frequency of the structure that occurs in the tower of the al-aqsa mosque in Merauke Regency - South Papua. The method used in the analysis of structural frequency is analytical and uses SAP 2000 software. Planning refers to SNI 1729:2020 concerning steel buildings, SNI 2847:2019 concerning concrete buildings, SNI 1726:2019 concerning earthquake resistance for structures, and Indonesian Loading Regulations for Buildings (PPIUG 1983). The results of this study obtained the frequency of the structure of the Great Mosque Tower analytically is 4.3681 rad / sec or 0.6955 rev / sec, while the analysis using SAP2000 software obtained results of 4.3700 rad / sec or 0.6955 rev / sec. The results of analytical calculations and using software are declared safe or do not exceed the natural vibration time permit limit of 2.06 seconds.

Keywords: Vibration, natural frequency, natural vibration time

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan wilayah yang rawan gempa dikarenakan merupakan daerah dimana 3 lempeng tektonik aktif dunia bertemu yaitu Lempeng Eurasia, Indo-Australia serta Pasifik [1]. Gempa mengakibatkan terjadinya getaran pada bangunan. Getaran yang berlebihan dapat mengakibatkan terjadinya kegagalan struktur, oleh karena itu getaran yang terjadi pada bangunan tidak boleh melebihi dari persyaratan yang telah ada [2].

Getaran yang terjadi pada sebuah konstruksi bangunan dipengaruhi oleh berbagai macam faktor. Beberapa faktor antara lain letak bangunan, fungsi bangunan dan tinggi bangunan. Semakin tinggi sebuah bangunan, getaran yang terjadi pun semakin besar. Bangunan yang memiliki tinggi lebih besar daripada luasnya disebut menara. Sebuah bangunan menara tentu memiliki getaran yang lebih besar dibanding bangunan pada umumnya. Getaran yang terjadi tidak hanya dipengaruhi oleh faktor dari dalam menara, tetapi juga dari faktor dari luar menara seperti keadaan alam contohnya angin [3].

Selain faktor dari luar dan dalam menara, kondisi tanah asli tempat menara didirikan juga berpengaruh besar pada struktur menara. Contohnya Kota Merauke dengan kondisi daerah rawa dan tanah asli lunak. Hal ini akan sangat berpengaruh pada bangunan seperti menara. Getaran pada menara tidak akan teredam baik dikarenakan tanah yang lunak sehingga lebih berisiko mengalami kegagalan struktur.

Kabupaten Merauke merupakan kota yang masih berkembang, oleh karena itu, keberadaan bangunan menara struktural masih menjadi hal yang langka. Khususnya menara yang memiliki tinggi lebih dari 25 m. Tentu dengan adanya hal ini, perhitungan untuk struktur menara masih jarang dilakukan, terlebih lagi untuk perhitungan frekuensi struktur. Perhitungan frekuensi struktur tentu penting dilakukan untuk bangunan seperti menara.

Frekuensi struktur atau getaran alami pada menara akan dihitung akibat beban-beban yang bekerja. Beban sendiri menara berupa beban mati, beban manusia yang ada pada menara berupa beban hidup, beban akibat faktor alam berupa beban angin, dan beban yang terjadi akibat gempa berupa beban gempa. Beban-beban yang bekerja pada menara akan dianalisis menggunakan metode analitik dan *software* SAP 2000 untuk mendapatkan frekuensi alami menara.

Perhitungan stuktur pada umumnya sudah banyak dilakukan, namun untuk perhitungan frekuensi struktur masih perlu penelitian lebih lanjut. Penelitian ini akan menghitung frekuensi struktur pada menara masjid. Menara masjid adalah simbol dari peradaban islam yang berfungsi sebagai penanda kehadiran dan keberadaan Islam dan mempunyai tinggi menjulang ke atas [4]. Menara masjid yang akan dianalisis frekuensi strukturnya pada penelitian ini adalah Menara Masjid Raya Al-Aqsa.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui frekuensi struktur menara Masjid Raya Al-Aqsa Merauke menggunakan metode analitik dan menggunakan *software* SAP 2000, dan juga untuk mengetahui apakah frekuensi

struktur menara Masjid Raya Al-Aqsa memenuhi persyaratan yang telah ditentukan SNI 1726-2019 tentang ketahanan gempa untuk struktur.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Gambaran umum

Data struktur dalam analisis frekuensi struktur menara Masjid Raya Al-Aqsa Kabupaten Merauke sebagai berikut:

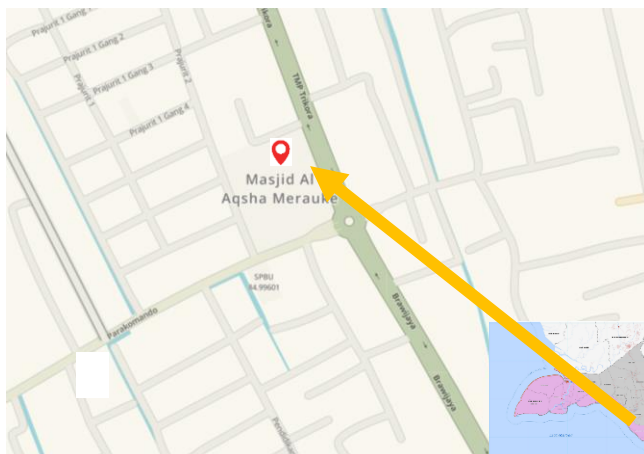
- Nama Bangunan : Menara Masjid Raya Al-Aqsa
- Lokasi : Jalan TMP Trikora, Kab. Merauke–Papua Selatan
- Tinggi Bangunan : 34 m
- Jumlah Tingkat : 11 tingkat
- Struktur : Struktur Baja

Data material digunakan untuk menganalisis frekuensi struktur menara Masjid Raya Al-Aqsa, Kabupaten Merauke sebagai berikut:

- Mutu Beton (f'_c) : 24,90 Mpa
- Mutu Baja : BJ 41
 - f_y : 250 Mpa
 - f_u : 410 Mpa

2.2 Waktu dan tempat penelitian

Waktu dari penelitian dilaksanakan pada tahun 2022. Penelitian bertempat di Jalan TMP Trikora, Kabupaten Merauke tepatnya di Menara Masjid Raya Al-Aqsa. Tempat penelitian dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Jalan TMP Trikora

2.3 Teknik pengumpulan data

Data awal dari penelitian yang akan digunakan ini adalah data sekunder yang didapat dari pihak swasta pemilik gedung berupa denah bangunan.

2.4 Teknik analisis data

a. Pembebanan

Beban mati atau berat sendiri bangunan mengacu pada Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG 1983) yang dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Berat material bangunan

Komponen Gedung	Berat Jenis
Baja	7.850 kg/m ³
Beton	2.200 kg/m ³
Beton Bertulang	2.400 kg/m ³
Pasir	1600 kg/m ³
Dinding Pasangan Batako 20 cm (HB 20)	200 kg/m ²
Plafond + <i>Accesoris</i>	18 kg/m ²
Penutup Atap Dag	24 kg/m ²
Keramik	24 kg/m ²
Spesi	21 kg/m ²

Sumber: PPIUG 1983 [5]

Beban hidup yang bekerja pada lantai bangunan dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 1. Beban hidup pada lantai

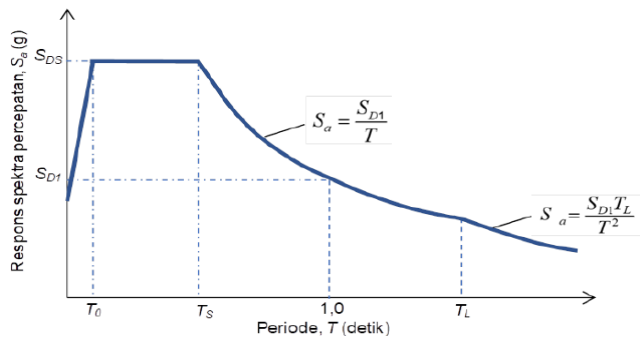
No	Fungsi Bangunan	Berat
1	Lantai dan tangga rumah tinggal kecuali yang disebut dalam poin 2	200 kg/m ²
2	Lantai dan tangga rumah tinggal sederhana dan gudang-gudang tidak penting yang bukan untuk toko, pabrik atau bengkel	125 kg/m ²
3	Lantai sekolah, ruang kuliah, kantor, toko, toserba, restoran, hotel, asrama dan rumah sakit	250 kg/m ²
4	Lantai ruang olah raga	400 kg/m ²
5	Lantai ruang dansa	500 kg/m ²

Sumber: PPIUG 1983 [5]

Tekanan tiup minimum angin yang digunakan pada kondisi normal adalah 25 kg/m² kecuali pada kondisi tertentu seperti:

- Kondisi di tepi laut dengan jarak pantai kurang lebih 5 km dari bangunan memiliki tekanan angin 40 kg/m².
- Di daerah dengan tekanan angin sebesar lebih dari 40 kg/m², maka dapat dihitung dengan persamaan, $P = V^2/16$ (kg/m²).

Beban gempa merupakan beban yang terjadi akibat gerakan tanah yang disebabkan oleh gempa. Beban gempa yang diterima oleh struktur bangunan akan membuat bangunan berubah bentuk atau menjadi daktail, dimana struktur tersebut luluh terlebih dahulu, tetapi tetap kuat dan cukup kaku untuk mempertahankan meskipun kondisinya runtuh [6]. Berdasarkan SNI 1726-2019, *response spectrum* dapat dilihat pada gambar 2 [7].



Gambar 2. Respon spektrum

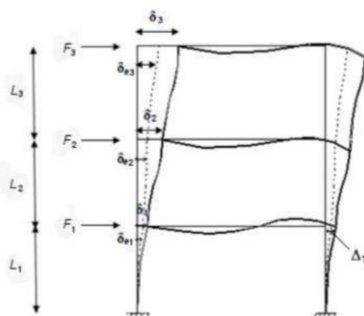
b. Kombinasi pembebanan

Dalam perencanaan konstruksi, beban yang bekerja akan dikombinasikan sebagai berikut:

- 1,4DL
- 1,2DL + 1,6LL + 0,5 La atau R
- 1,2DL + 1,6 La atau R + γ LL atau 0,8W
- 1,2DL + 1,3W + γ LL + 0,5 La atau R
- 1,2DL \pm 1,0E + γ LL
- 0,9DL \pm 1,3W atau 1,0E

c. Simpangan antar tingkat

Konstruksi bangunan yang bergetar akibat beban-beban yang bekerja mengakibatkan perpindahan yang disebut simpangan per lantai. Semakin besar beban yang bekerja, simpangan per lantai yang terjadi juga akan semakin besar. Setelah simpangan per lantai didapatkan, akan dicari simpangan antar lantai. Simpangan antar lantai (drift) atau simpangan antar tingkat yaitu hasil dari pengolahan perbedaan selisih nilai displacement pada tiap lantai yang ditinjau kemudian dikali dengan faktor amplifikasi respon dan dibagi dengan nilai faktor keutamaan resiko gempa [8]. Penggambaran simpangan antar tingkat berdasarkan SNI 1726-2019 pada gambar 3.



Gambar 3. Penentuan simpangan antar tingkat

Tingkat 3

- F_3 = gaya gempa desain tingkat kekuatan
 δ_{e3} = perpindahan elastik yang dihitung akibat gaya gempa desain tingkat kekuatan
 $\delta_3 = C_d \delta_{e3} / I_e$ = perpindahan yang diperbesar
 $\Delta_3 = (\delta_{e3} - \delta_{e2}) C_d / I_e \leq \Delta_a$

Tingkat 2

- F_2 = gaya gempa desain tingkat kekuatan
 δ_{e2} = perpindahan elastik yang dihitung akibat gaya gempa desain tingkat kekuatan
 $\delta_2 = C_d \delta_{e2} / I_e$ = perpindahan yang diperbesar
 $\Delta_2 = (\delta_{e2} - \delta_{e1}) C_d / I_e \leq \Delta_a$

Tingkat 1

- F_1 = gaya gempa desain tingkat kekuatan
 δ_{e1} = perpindahan elastik yang dihitung akibat gaya gempa desain tingkat kekuatan
 $\delta_1 = C_d \delta_{e1} / I_e$ = perpindahan yang diperbesar
 $\Delta_1 = \delta_1 \leq \Delta_a$
 Δ_1 = simpangan antar tingkat
 Δ_1 / L_i = rasio simpangan antar tingkat
 δ_3 = perpindahan total

d. Massa bangunan

Terjadinya gempa bumi, akan berdampak langsung pada sebuah bangunan. untuk melihat ketahanan sebuah bangunan terhadap gempa, perlu dilihat bagaimana pengaruh massa bangunan terhadap respon struktur bangunan [9]. Massa bangunan mempunyai pengaruh besar terhadap frekuensi alami. Massa bangunan adalah perbandingan antara berat bangunan dengan gravitasi bumi, semakin berat suatu bangunan, massa bangunannya pun semakin besar.

$$m = \frac{W}{g} \quad (1)$$

e. Kekakuan struktur

Dalam perencanaan struktur gedung, pengaruh gaya lateral elemen-elemen vertikal harus diperhitungkan terhadap kekakuannya. Kekakuan merupakan perbandingan dari gaya yang ada dan lendutan yang terjadi pada sebuah bangunan [10].

$$k = \frac{P}{\delta} \quad (2)$$

f. Frekuensi alami

Frekuensi alami merupakan lendutan pada konstruksi struktur yang spesifik dan terjadi karena getaran bebas dari struktur ketika model bekerja, dan tidak ada getaran eksternal yang diaplikasikan dengan rendaman struktur diabaikan. Syarat bangunan dinyatakan aman dari kerusakan akibat deformasi jika getaran tanah dasar bangunan lebih kecil dibanding frekuensi natural bangunan. Yang berarti semakin tinggi suatu bangunan maka semakin rawan kerusakan akibat deformasi [11].

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (3)$$

g. Waktu getar alami

Waktu getar alami merupakan waktu yang dibutuhkan sebuah bangunan untuk melakukan satu getaran penuh. Waktu getar alami berbanding terbalik dengan frekuensi alami.

$$T = \frac{1}{\omega} \rightarrow T = \frac{1}{\sqrt{\frac{k}{m}}} \quad (4)$$

h. Batas periode

Berdasarkan SNI 1726-2019, perhitungan periode fundamental tidak boleh melebihi perkalian antara koefisien batas atas periode (C_u) dan periode fundamental pendekatan (T_a), dengan C_u dicantumkan pada tabel 3.

$$\text{Batas atas periode} = C_u \times T_a \quad (5)$$

$$T_a = C t h_n^x \quad (6)$$

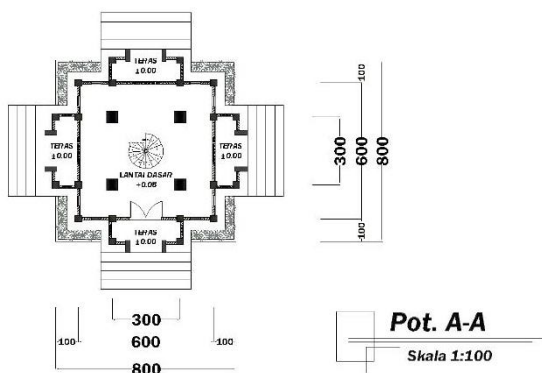
Tabel 2. Koefisien batas atas periode

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, S_{D1}	Koefisien C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

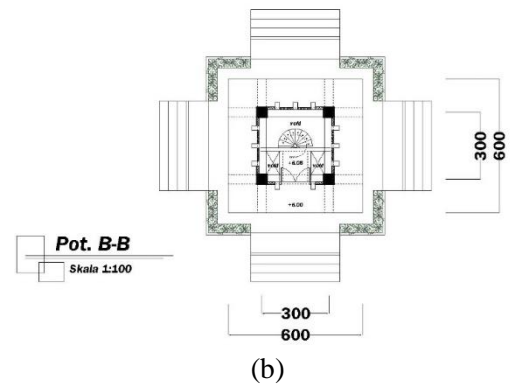
Sumber: SNI 1726-2019 [7]

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

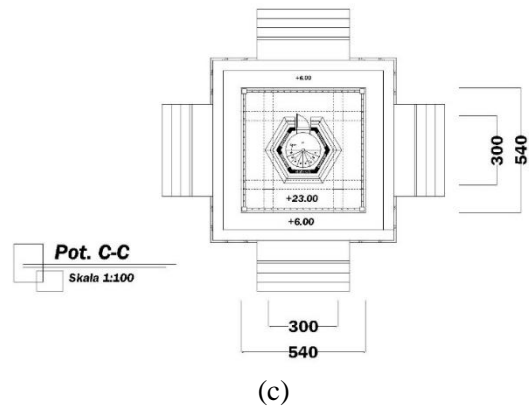
Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis frekuensi struktur dari menara Masjid Raya Al-Aqsa yang mempunyai ketinggian 34 m dengan konstruksi baja. Denah dan portal bangunan dapat dilihat pada gambar 4.



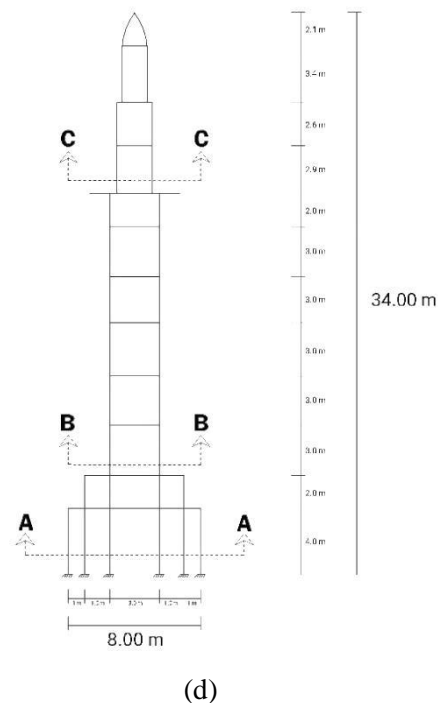
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 4. (a) Potongan A-A, (b) Potongan B-B, (c) Potongan C-C, (d) Denah portal,

3.1 Pembebanan struktur

Pembebanan struktur pada penelitian ini mengacu pada Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG 1983) sebagai berikut:

Tabel 3. Pembebanan pada struktur

No	Jenis Beban	Beban yang bekerja	Satuan
1	Beban mati pada lantai	146	kg/m ²
2	Berat dinding batako 20 cm	800	kg/m
3	Beban hidup pada lantai	125	kg/m ²
4	Beban Kubah	2145,91	kg
5	Beban gempa	Berdasarkan Respon Spektrum	
6	Beban angin	40	kg/m ²

3.2 Simpangan antar tingkat

Perhitungan simpangan antar tingkat menggunakan bantuan software SAP 2000 dan menyesuaikan dengan kondisi bangunan aslinya. Hasil dari simpangan antar tingkat tidak boleh melebihi dari simpangan izin yang telah ditentukan berdasarkan SNI 1726-2019. Simpangan antar tingkat dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 4. Simpangan antar tingkat

Tingkat Ke-	Tinggi Tingkat	Simpangan per Lantai	Simpangan Antar Tingkat	Simpangan Izin	Keterangan
	m	mm	mm	mm	
11	31,90	31,90	2,88	51,00	OK!
10	28,50	29,03	1,56	39,00	OK!
9	25,90	27,47	1,99	43,50	OK!
8	23,00	25,48	1,48	30,00	OK!
7	21,00	24,00	3,63	45,00	OK!
6	18,00	20,37	4,56	45,00	OK!
5	15,00	15,81	4,97	45,00	OK!
4	12,00	10,84	4,78	45,00	OK!
3	9,00	6,06	3,49	45,00	OK!
2	6,00	2,56	1,06	30,00	OK!
1	4,00	1,50	1,50	60,00	OK!

3.3 Massa bangunan

Berat bangunan menara Masjid Raya dari tingkat 1 hingga 11 adalah sebesar 160615,78 kg, oleh karena itu, massa bangunan menara adalah:

$$m = \frac{w}{g} = \frac{160615,78 \text{ kg}}{9,81 \text{ m/s}^2} = 16372,66 \text{ kg/m/s}^2$$

3.4 Kekakuan struktur

Kekakuan pada suatu bangunan dihitung dengan membagi antara gaya yang bekerja dengan lendutan yang terjadi. Kekakuan dibagi per tingkat sesuai dengan gaya dan lendutan yang terjadi pada setiap tingkat. Adapun kekakuan lantai 1 dihitung sebagai berikut:

$$K_1 = \frac{P}{\delta} = \frac{F_1}{\delta_{e1}} = \frac{1485,73 \text{ kg}}{0,75 \text{ mm/1000}} = 1974733,62 \text{ kg/m}$$

Selanjutnya hasil perhitungan kekakuan lantai 2 hingga 11 dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 5. Kekakuan per lantai

Tingkat Ke-	Tinggi Tingkat	Beban Gempa (Fi)	Lendutan (di)	Kekakuan Per Lantai
	m	kg	m	kg/m
11	31,90	865,99	0,01595	54289,24
10	28,50	1256,51	0,01451	86576,04
9	25,90	1048,23	0,01374	76316,26
8	23,00	5534,39	0,01274	434371,55
7	21,00	1458,86	0,01200	121575,22
6	18,00	1637,25	0,01019	160750,08
5	15,00	1364,37	0,00790	172609,87
4	12,00	1091,50	0,00542	201420,11
3	9,00	818,62	0,00303	270217,28
2	6,00	1686,10	0,00128	1314891,10
1	4,00	1485,73	0,00075	1974733,62

3.5 Frekuensi alami

Frekuensi alami merupakan getaran alami bangunan dengan beban-beban yang bekerja terhadap bangunan. Getaran ini tidak boleh melebihi dari batas yang telah ditentukan SNI agar tidak terjadi kegagalan struktur pada suatu bangunan. Frekuensi alami lantai 1 dapat dihitung sebagai berikut:

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{k_1}{m_1}} = \sqrt{\frac{1974733,62 \text{ kg/m}}{16372,66 \frac{\text{kg}}{\text{m/s}^2}}} = 10,98 \text{ rad/detik}$$

Selanjutnya hasil dari perhitungan frekuensi alami per lantai dapat dilihat pada tabel 7. Hasil dari frekuensi alami dari tingkat 1 hingga 11 akan diambil rata-ratanya dan dibandingkan dengan batas yang telah ditentukan.

Tabel 6. Frekuensi alami per lantai

Tingkat Ke-	Tinggi Tingkat (Zi)	Kekakuan Per Lantai	Berat Bangunan	Massa Bangunan	Frekuensi Alami
	m	kg/m	Kg	kg/ m/s ²	rad/s
11	31,90	54289,24	160615,78	16372,66	1,8209
10	28,50	86576,04	160615,78	16372,66	2,2995
9	25,90	76316,26	160615,78	16372,66	2,1590
8	23,00	434371,55	160615,78	16372,66	5,1508
7	21,00	121575,22	160615,78	16372,66	2,7250
6	18,00	160750,08	160615,78	16372,66	3,1334
5	15,00	172609,87	160615,78	16372,66	3,2469
4	12,00	201420,11	160615,78	16372,66	3,5075
3	9,00	270217,28	160615,78	16372,66	4,0625
2	6,00	1314891,10	160615,78	16372,66	8,9616
1	4,00	1974733,62	160615,78	16372,66	10,9823
Rata-rata:					4,3681

Berdasarkan hasil perhitungan analitik, didapatkan frekuensi alami sebesar 4,3681 rad/s atau 0,6955 putaran/detik, sedangkan pada analisis menggunakan software SAP 2000 didapat hasil sebesar 4,3700 rad/detik atau 0,6955 putaran/detik.

3.6 Waktu getar alami

Waktu getar alami merupakan hal yang berbanding terbalik dengan frekuensi alami, Perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$T = \frac{1}{\omega}$$

$$T = \frac{1}{\sqrt{\frac{k}{m}}}$$

$$T = \frac{2\pi \text{ rad}}{4,37 \text{ rad/detik}}$$

$$T = 1,4376 \text{ detik}$$

Berdasarkan hasil perhitungan analitik, didapatkan waktu getar alami sebesar 1,4376 detik dan analisis menggunakan *software* SAP 2000 didapatkan hasil sebesar 1,4377 detik. Menurut SNI 1726-2019, hasil dari perhitungan analitik maupun menggunakan *software* Sap 2000 tidak boleh melebihi batas periode yang telah ditentukan.

3.7 Batas periode

Hasil perhitungan waktu getar alami, baik secara analitik maupun menggunakan *software* SAP 2000 tidak boleh melebihi batas atas periode. Apabila hasil perhitungan melebihi batas, maka diperlukan perencanaan ulang pada bangunan agar tidak terjadi kegagalan struktur.

$$T \leq C_u \times T_a$$

$$1,4376 \leq 1,7 \times C_{h_n}^x$$

$$1,4376 \leq 1,7 \times 0,0724 \times 34^{0,8}$$

$$1,4376 \text{ detik} \leq 2,06 \text{ detik}$$

OK!

$$T_{\text{sap}} \leq C_u \times T_a$$

$$1,4377 \leq 1,7 \times C_{h_n}^x$$

$$1,4377 \leq 1,7 \times 0,0724 \times 34^{0,8}$$

$$1,4377 \text{ detik} \leq 2,06 \text{ detik}$$

OK!

Waktu getar alami yang didapat melalui hasil analitik adalah sebesar 1,4376 detik, sedangkan pada analisis menggunakan *software* SAP 2000 adalah sebesar 1,4377 detik. Batas atas yang didapat berdasarkan SNI 1726-2019 adalah sebesar 2,06 detik. Hasil perhitungan waktu getar alami baik secara analitik maupun menggunakan *software*, tidak ada yang melebihi dari batas atasnya. Oleh karena itu, berdasarkan waktu getar alaminya, bangunan dinyatakan aman.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan frekuensi alami yang dilakukan pada menara Masjid Raya Al-Aqsa Kabupaten Merauke, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

Hasil perhitungan secara analitik adalah sebesar 4,3681 rad/detik atau 0,6955 putaran/detik, sedangkan pada analisis menggunakan *software* SAP2000 didapat hasil sebesar 4,3700 rad/detik atau 0,6955 putaran/detik. Dari kedua perhitungan tersebut, frekuensi alami menara Masjid Raya Al-Aqsa dinyatakan memenuhi persyaratan melalui perbandingan waktu getar alami dan batas izinnya dengan secara analitik sebesar $1,4376 \leq 2,06$ dan melalui *software* SAP2000 sebesar $1,4377 \leq 2,06$.

REFERENSI

- [1] Y. Syafitri, B. Bahtiar, and L. A. Didik, "Analisis Pergeseran Lempeng Bumi Yang Meningkatkan Potensi Terjadinya Gempa Bumi Di Pulau Lombok," *Konstan - J. Fis. Dan Pendidik. Fis.*, vol. 4, no. 2, pp. 139–146, 2020, doi: 10.20414/konstan.v4i2.43.
- [2] B. Doloksaribu, J. Paresa, and E. Y. Hekopung, "Redesain Struktur Gedung 3 Lantai Wisma Atlet dengan Menggunakan Struktur Baja," *Musamus J. Civ. Eng.*, vol. 3, no. 02, pp. 69–75, 2021.
- [3] A. Saputra and A. Firmanto, "Analisis struktur Rumah Sakit Permata Cirebon," *J. Konstr.*, vol. 6, no. 6, pp. 565–584, 2017.
- [4] U. Andika, "Makna Bangunan Menara Masjid Agung Banten," pp. A175–A180, 2017, doi: 10.32315/sem.1.a175.
- [5] D. P. M. Bangunan, *Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung 1983*. Bandung: Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan, 1983.
- [6] J. F. A. N. Ketut Nuraga, Dewa Ayu Putu Adhiya Garini Putri, Ketut Antriksa, "Analisis Daktilitas Struktur Gedung Rangka Beton Bertulang Dengan Metode Analisis Pushover (Studi: Gedung Tugu Reasuransi Indonesia Jakarta)," vol. 4, no. 2, pp. 34–41, 2021.
- [7] B. S. Nasional, "Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung," 2019.
- [8] Y. A. Saputro *et al.*, "Analisa Dinding Geser Ditinjau dari Waktu Getar Alami dan Simpangan Antar Lantai," *J. Tek. Sipil Univ. Teuku Umar*, vol. 6, no. 2, pp. 1–10, 2020.
- [9] B. Nasution, "Analisis Pengaruh Massa Pada Struktur Bangunan Bertingkat Pada Saat Gempa Bumi Menggunakan Metode Elemen Hingga," *J. Has. Penelit. Bid. Fis.*, vol. 9, no. 1, pp. 53–58, 2021.
- [10] N. Noverma, Y. Yusrianti, and O. E. Hapsari, "Pengaruh Susunan Bambu terhadap Peningkatan Kekuatan dan Kekakuan Elemen Struktur Bangunan," *J. Tek. Sipil*, vol. 15, no. 1, pp. 42–49, 2020, doi: 10.24002/jts.v15i1.3150.
- [11] R. Prastowo and U. N. Prabowo, "Evaluasi Kerentanan Gedung Rektorat Sttnas Terhadap Gempa Bumi Berdasarkan Analisis Mikrotremor," *Angkasa J. Ilm. Bid. Teknol.*, vol. 9, no. 1, p. 83, 2017, doi: 10.28989/angkasa.v9i1.113.