

KAJIAN RESPON GEMPA DAN KERENTANAN BANGUNAN PUBLIK BERDASARKAN DATA MIKROTREMOR DI ACEH UTARA

Sri Cici Desmita^{a,*}, Umar Muksin^b, Yunita Idris^c

^aMahasiswa, Magister Teknik Sipil, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh

^bTsunami and Disaster Mitigation Research Center (TDMRC), Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh

^cJurusan Teknik Sipil, Fakultas Sipil, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh

*Corresponding author, email address: cicidesmita.cd@gmail.com

ARTICLE INFO

Article History:

Received 01 June 2022

Accepted 09 September 2022

Online 30 September 2022

Keywords:

Microtremor

Natural Frequency Of The Soil

Natural Frequency Of The

Building

Resonance

Vulnerability Index

ABSTRACT

Analysis of building and soil interactions is an essential part of building construction appraisal. In this article, the response of buildings to earthquakes identified by determining the natural frequency of the soil and the value of the natural frequency of buildings on each floor, as well as examining the relationship between the natural frequency of the soil and the natural frequency of the building. This article will also identify attenuation factors for type of public buildings that have different functions, namely school and campus buildings, and determine the effect of resonance on building infrastructure. Analyzed public buildings include rest area buildings, elementary school buildings, junior high schools, and campuses. The variable number of floors is also an aspect that will be observed. Microtremor data research utilizes a near-broadband seismometer. The vibration recording device is placed on the ground, and the reviewed buildings are school and campus. Data collection was carried out when the condition of the building was not loaded, measurements were made on each floor of the building as many as 5 points on the floor and 1 point on the ground for 30 minutes at each measurement point. The methods used are Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio (HVSr), Fast Fourier Transform (FFT), Floor Spectral Ratio (FSR), and Random Decrement Method (RDM). The calculation results show that the natural frequency value of the soil is in the range of 0.7 to 0.85 Hz except for the location of the campus building that the value reaches 6.868 Hz, the reason of this value is the type of soil in the area is dominated by hard rocks. The natural frequency of the building (f_0) is in the range of 2.557 Hz to 4.292 Hz, a low frequency and meets the requirements of SNI, for the damping ratio of the building is in the range of 2.002 to 4.974%, the low category meets the attenuation standard of 2 to 5%, the five review buildings have a low resonance level, the natural vibration period of the building is in a safe limit according to SNI 17-02-2012 and the vulnerability index is low.

©2022 Magister Teknik Sipil Unsyiah. All rights reserved

1. PENDAHULUAN

Aceh Utara merupakan daerah yang terdapat dua sesar aktif yaitu Sesar Lhokseumawe dan Sesar Nisam (Muksin, 2019). Sesar Nisam dan Lhokseumawe sampai saat ini masih menghasilkan gempa dengan skala di bawah M 5.0. Dengan demikian bahaya gempa di Aceh Utara tergolong tinggi sehingga pembangunan infrastruktur perlu mempertimbangkan risiko bencana gempa bumi. Gempa merupakan salah satu beban yang perlu dipertimbangkan dalam perencanaan suatu infrastruktur bangunan karena

gempa bumi bisa terjadi kapan pun, dan dimana pun salah satunya bangunan bertingkat yang ada di Aceh Utara. Kegagalan bangunan akibat gempa bumi merupakan salah satu kasus dari perencanaan desain gedung yang sering mengabaikan batas periode getar alami struktur. Nilai batas periode getar ini dapat diperoleh dari nilai frekuensi natural bangunan dan tanah di bawahnya. Aspek lain yang perlu dipertimbangkan adalah tingkat redaman dari bangunan terhadap guncangan.

Pengukuran frekuensi natural bangunan terhadap frekuensi natural tanah merupakan salah satu faktor penting yang dapat digunakan untuk memprediksi potensi kerusakan bangunan akibat gempa bumi (Gosar, 2010). Adapun yang dilakukan pada penelitian ini yaitu menentukan frekuensi natural bangunan dan frekuensi natural tanah pada bangunan 2 lantai dan 3 lantai serta menghitung nilai rasio redaman (*damping ratio*) dengan menggunakan alat mikrotremor, menentukan nilai amplifikasi dan pengaruh resonansi terhadap bangunan. Penelitian ini bertujuan untuk menghitung nilai frekuensi natural tanah dan nilai frekuensi natural bangunan pada setiap lantai, untuk mengkaji hubungan nilai frekuensi natural tanah dengan nilai frekuensi natural bangunan, untuk menentukan faktor redaman untuk tipe bangunan yang berbeda, dan untuk mengetahui pengaruh resonansi terhadap infrastruktur bangunan publik.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1 Pengaruh Efek Lokal Terhadap Gempa Bumi

Menurut Nashir (2013), hubungan intensitas gempa bumi terhadap kerusakan suatu wilayah dipengaruhi oleh jarak dari sumber gempa, skala gempa, ukuran zona patahan, energi yang dilepaskan batuan, jenis geologi antara sumber dan lokasi setempat serta kondisi geologi lokal. Besar percepatan dan kecepatan maksimum energi gempa dipengaruhi oleh kondisi geologi setempat. Percepatan dan kecepatan (khususnya sensor horizontal) ini berpengaruh secara langsung terhadap kerusakan bangunan akibat gempa bumi.

2.2 Frekuensi Dominan dan Amplifikasi

Frekuensi dominan atau f_0 merupakan nilai gelombang frekuensi yang paling sering muncul dan berulang sehingga dapat diakui sebagai suatu nilai frekuensi dominan yang terdapat pada daerah penelitian. Nilai frekuensi dominan dapat memberikan informasi mengenai jenis dan karakteristik batuan yang terdapat pada daerah penelitian. Amplifikasi merupakan perbesaran gelombang seismik yang terjadi akibat adanya perbedaan yang signifikan antar lapisan, dengan kata lain gelombang seismik akan mengalami perbesaran, jika merambat pada suatu medium ke medium lain yang lebih lunak dibandingkan dengan medium awal yang dilaluinya. Semakin besar nilai perbedaan yang dihasilkan maka perbesaran yang akan dialami oleh gelombang akan semakin besar pula (Arifin, 2014).

2.3 Frekuensi Natural

Frekuensi natural digunakan untuk memprediksi potensi kerusakan bangunan terhadap gempa bumi, dengan melakukan pengukuran resonansi antara frekuensi natural bangunan terhadap frekuensi natural tanah serta untuk mengetahui efek lokal yang ada di sekitar bangunan (Gosar, 2010). Frekuensi natural struktur adalah frekuensi dari struktur yang secara alami cenderung untuk bergetar jika struktur ini terkena gangguan. Nilai frekuensi natural ini dapat digunakan sebagai pedoman apakah suatu struktur mengalami resonansi atau tidak.

$$T = \frac{1}{fn} \quad (1)$$

Dimana fn adalah Frekuensi Natural (Hz); dan T adalah Perioda (detik).

2.4 Penentuan Perioda

Perioda fundamental struktur (T) tidak boleh melebihi hasil koefisien (C_u) untuk batasan atas pada perioda yang dihitung. Untuk menentukan periode fundamental struktur T diizinkan secara langsung

menggunakan periode pendekatan T_a berdasarkan persamaan :

$$T_a = C_t h_n^x \quad (2)$$

Dimana T_a adalah periode fundamental pendekatan (detik), C_t adalah koefisien dari tabel, h_n adalah ketinggian struktur; dan x adalah koefisien dari tabel.

$$T < C_u T_a \quad (3)$$

Dimana T adalah Periode getar alami, T_a adalah Periode fundamental pendekatan (detik); dan C_u adalah koefisien dari tabel.

2.5 Analisis Mikrotremor

Mikrotremor atau biasa disebut dengan *ambient noise* adalah getaran tanah dengan amplitudo mikrotremor yang disebabkan oleh faktor alam ataupun faktor manusia. Mikrotremor didasarkan pada rekaman *ambient noise* yang menentukan parameter karakteristik dinamika (rasio redaman dan frekuensi natural) (Nakamura, 2000). Pada dasarnya pengukuran mikrotremor dapat dilakukan dengan menggunakan seismograf. Perekaman mikrotremor memerlukan seismometer dengan tiga komponen yang merekam komponen NS (*north-south*), EW (*east-west*), dan vertikal (*up-down*).

2.6 Analisis Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR)

Metode HVSR merupakan metode yang membandingkan spektrum komponen horizontal terhadap komponen vertikal dari gelombang mikrotremor (Suciati, 2017). Dari ketiga komponen tersebut didapat persamaan seperti yang ditunjukkan pada persamaan:

$$\frac{H}{V} = \sqrt{\frac{NS^2 + EW^2}{2V^2}} \quad (4)$$

Dimana NS adalah komponen *North-South* (utara-selatan), EW adalah data spektrum dari komponen *East-West* (timur-barat); dan V adalah komponen *vertical* (vertikal) atau sering disebut dengan *Up-Down*.

2.7 Analisis Floor Spectral Ratio (FSR)

Floor Spectral Ratio (FSR) adalah metode standar yang digunakan untuk menentukan frekuensi natural dan resonansi bangunan yang menggambarkan karakteristik bangunan terhadap gempa bumi. Data akuisisi diolah menggunakan analisis spektrum pada setiap komponen horizontalnya, sehingga didapat frekuensi natural bangunan yang diestimasi dari puncak FSR tertinggi dan dikorelasikan dengan frekuensi natural bangunan hasil analisis spektrum. Metode FSR ini merupakan metode fungsi transfer dari tiap lantai antara spektrum bangunan dan spektrum tanah. Fungsi transfer dari struktur telah diperkirakan oleh rasio spektrum struktur dan spektrum tanah atau spektrum bidang bebas (Wulandari, 2012).

2.8 Analisis Random Decrement Method (RDM)

Random Decrement Method (RDM) dikenal sebagai metode transform serangkaian waktu acak dalam pengurangan energi dari getaran bebas struktur bangunan (Nashir, 2013). Tujuannya yaitu untuk membatalkan komponen acak agar didapatkan kurva getaran bebas yang buruk dari perkiraan *damping* dan frekuensi natural. Prinsip analisis *Random Decrement Method* (RDM) yaitu merespon dari sebuah sistem frekuensi acak untuk difilter menjadi eksitasi acak dan mengetahui *damping ratio* bangunan dengan proses *bandpass filter* dalam evaluasi frekuensi alami dari *spektrum fourier* (Tunggal, 2013).

2.9 Resonansi

Peristiwa dimana ikut bergetarnya suatu benda karena benda lain bergetar yang memiliki frekuensi sama dengan frekuensi alamiah benda tersebut. Frekuensi dari benda yang ikut bergetarlah yang disebut

frekuensi alamiah. Jika nilai frekuensi bangunan mendekati nilai frekuensi natural material tanah atau sama dengan kelipatan frekuensi natural material tersebut maka getaran seismik akan membuat sebuah resonansi dengan bangunan yang akan meningkatkan *stress* pada bangunan tersebut (Gosar, 2010). Untuk mendapatkan nilai rasio resonansi bangunan dan pengidentifikasian tingkat resonansi bangunan, digunakan persamaan:

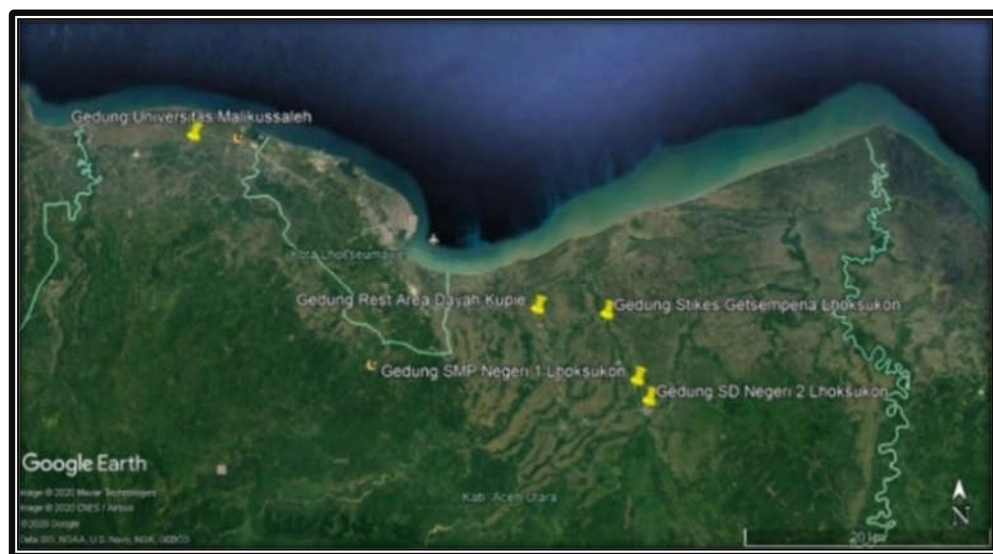
$$R = \left| \frac{f_b - f_t}{f_t} \right| \times 100\% \quad (5)$$

Dimana R adalah rasio resonansi bangunan (%), f_b adalah frekuensi bangunan (Hz); dan f_t adalah frekuensi natural tanah (Hz).

3. METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada gedung yang memiliki 3 lantai dan 2 lantai yaitu bangunan-bangunan publik seperti Gedung Rest Area, SD 2 Lhoksukon, gedung STIKES Lhoksukon, gedung SMP 1 Lhoksukon dan Universitas Malikussaleh yang terletak di Kabupaten Aceh Utara.



Gambar 1. Peta lokasi gedung penelitian

3.2 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk proses pengumpulan materi, konsep dan standar yang digunakan dalam penelitian berupa kondisi lokasi, mikrotremor, frekuensi natural, *damping ratio*, metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr), metode *Floor Spectral Ratio* (FSR), metode *Random Decrement Method* (RDM), resonansi bangunan, periode getar alami bangunan dan indeks kerentanan.

3.3 Peralatan yang Digunakan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah Geobit *Instruments* model S-20 *Near Broad Band* Seismik Sensor, *Seismic Recorder* Model SRi32L, SRi32D, Memory 32bit, *Global Positioning System* (GPS), antenna GPS, baterai 12 V, kabel GPS, kabel Seismometer, kabel *COMM Ports*, kabel *Power*, laptop perangkat pendukung untuk menganalisis data.

3.4 Pengumpulan Data

Pada penelitian ini data-data yang diperlukan untuk penelitian ini berupa data primer dan data sekunder.

3.4.1 Pengambilan Data Mikrotremor

Pengambilan data dilakukan pada saat kondisi bangunan tidak terbebani secara signifikan oleh lingkungan. Bangunan yang akan dilakukan penelitian yaitu bangunan publik yang terletak di Aceh Utara, untuk bangunan 2 lantai gedung Rest Area dengan tinggi 9 m, lebar 36 m, panjang 46 m, gedung STIKES Lhoksukon tinggi 9 m, lebar 18,5 m, panjang 25 m, gedung SMP 1 Lhoksukon tinggi 8 m, lebar 9 m, panjang 40 m, gedung SD 2 Lhoksukon tinggi 8 m, lebar 9 m, panjang 32 m, untuk bangunan 3 lantai yaitu gedung Universitas Malikussaleh dengan tinggi 12 m, lebar 17 m, dan panjang 40 m. Pengukuran dilakukan dari lantai dasar sampai lantai atas dengan peletakan alat di setiap sudut bangunan dan ditengah bangunan sebanyak 5 titik perlantainya dan 1 titik ditanah, untuk waktu pengukuran 30 menit pertitiknya. Perletakan titik tetap segaris dari lantai dasar sampai lantai atas. Data pengukuran di setiap titik yang telah direkam di-convert dalam format *mseed*. Setelah semua data di *mseed* diolah menggunakan Geopsy.

3.5 Pengolahan Data

3.5.1 Pengolahan Data Mikrotremor pada Tanah

Pengolahan data mikrotremor pada tanah akan menggunakan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr). Data yang telah diambil kemudian diolah dengan menggunakan *software Geopsy*. Tahapan pertama melakukan proses *smoothing* dengan metode *Konno-Ohmachi* dengan koefisien *bandwidth* sebesar 40, dan digunakan taper fungsi *Gaussian* 0,50 dengan frekuensi sampling 1 – 10 Hz. Kemudian dilakukan pemilihan windows dengan memilih sinyal yang konstan. Pada proses ini setiap satu windows memuat data selama 25 detik seperti yang dianjurkan oleh SESAME dengan jumlah minimal 10 windows.

3.5.2 Pengolahan Data Mikrotremor pada Gedung

Analisis spektrum mikrotremor bangunan tidak dianjurkan menggunakan metode HVSr karena tidak ada teori yang valid. Meskipun hasil estimasi ada, metode HVSr tidak akurat jika amplifikasi tanah sangat besar karena kurva HVSr pengukuran di tanah pada luar bangunan bisa terkontaminasi oleh respon dari bangunan sehingga nilai resonansi dimungkinkan salah. Sehingga untuk bangunan digunakan metode *Floor Spectral Ratio* (FSR). Dengan tahapan pertama dilakukan proses *smoothing* dengan metode *Konno-Ohmachi* dengan koefisien *bandwidth* sebesar 40, dan digunakan taper fungsi *Gaussian* 0,50 dengan frekuensi sampling 1 – 10 Hz. Kemudian dilakukan pemilihan windows dengan memilih sinyal yang konstan. Pada proses ini setiap satu windows memuat data selama 25 detik seperti yang dianjurkan oleh SESAME dengan jumlah minimal 10 windows.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

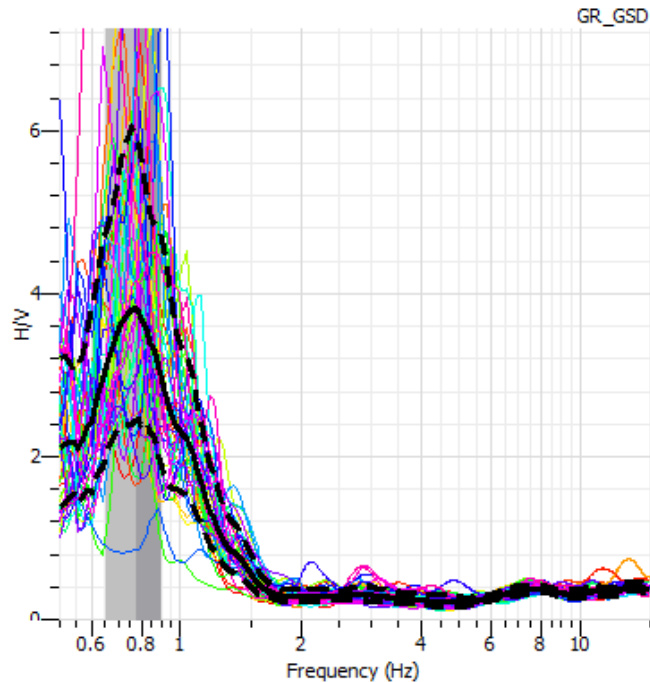
4.1 Frekuensi Natural Tanah

Hasil pengolahan data mikrotremor pada tanah dengan menggunakan metode HVSr dengan menggunakan *software geopsy*, untuk menentukan kurva H/V tersebut sudah baik dan benar maka digunakan kriteria yang telah ditetapkan oleh SESAME *European Research Project*. Berikut hasil dari frekuensi natural tanah pada gambar 2 dan tabel 1. Hasil frekuensi natural tanah pada Gedung SD 2 Lhoksukon dapat dilihat pada Gambar 2.

Nilai frekuensi natural tanah dapat dilihat pada *peak* tertinggi pada grafik. Nilai frekuensi natural tanah dengan metode HVSr digunakan untuk menghitung tingkat resonansi dari bangunan. Untuk nilai frekuensi natural tanah gedung Rest Area, SD 2, Stikes, SMP 1 dan UNIMAL adalah seperti Tabel 1.

Dari hasil frekuensi natural tanah diatas menurut klasifikasi tanah berdasarkan nilai frekuensi natural oleh Kanai, menunjukan untuk Gedung Rest Area, SD 2, Stikes, dan SMP 1 yang nilai frekuensi natural < 2.5 maka termasuk dalam type 1 yaitu ketebalan sedimen permukaan sangatlah tebal, sedangkan untuk

yang frekuensi 6,667 – 20 termasuk dalam type IV yaitu ketebalan sedimen permukaan sangat tipis, didominasi oleh batuan keras.



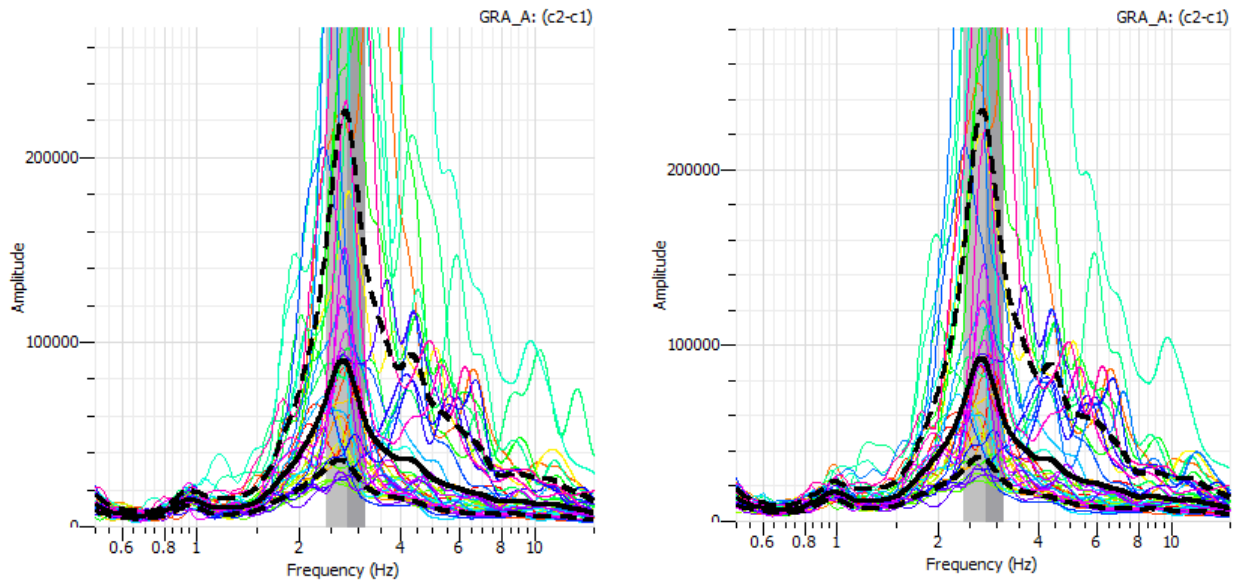
Gambar 2. Grafik frekuensi terhadap amplitudo dari proses analisis HVSr

Tabel 1. Nilai frekuensi natural tanah (f_{0t}) dengan metode HVSr

Gedung	Windows	f_{0t}
Rest Area	23	0,730
SD 2	45	0,775
Stikes	38	0,819
SMP 1	36	0,791
UNIMAL	58	6,868

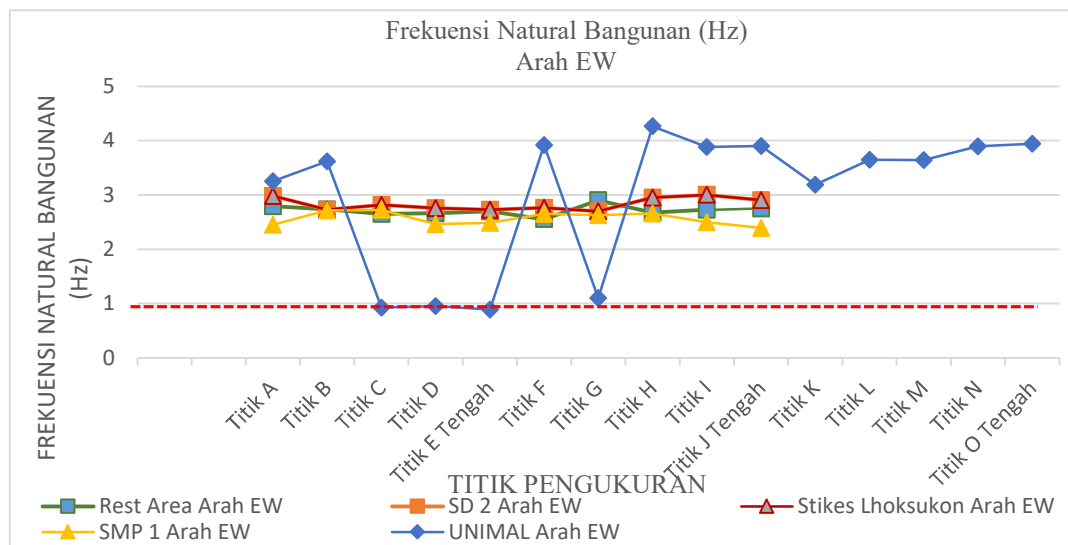
4.2 Frekuensi Natural Bangunan

Pengolahan data mikrotremor pada bangunan digunakan metode FSR dengan menggunakan *software geopsy*. Hasil yang diperoleh menggunakan metode FSR adalah frekuensi natural bangunan dalam dua arah yaitu *East-West* (EW) dan *North-South* (NS). Adapun bangunan yang ditinjau terdiri dari 5 bangunan publik yang ada di Aceh Utara yaitu Gedung Rest Area dengan tinggi 9 m, lebar 36 m, panjang 46 m, gedung STIKES Lhoksukon tinggi 9 m, lebar 18,5 m, panjang 25 m, gedung SMP 1 Lhoksukon tinggi 8 m, lebar 9 m, panjang 40 m, gedung SD 2 Lhoksukon tinggi 8 m, lebar 9 m, panjang 32 m, untuk bangunan 3 lantai yaitu gedung Universitas Malikussaleh dengan tinggi 12 m, lebar 17 m, dan panjang 40 m. Pengukuran dilakukan dari lantai dasar sampai lantai atas dengan peletakan alat di setiap sudut bangunan dan ditengah bangunan. Peletakan titik pengukuran dapat berubah berdasarkan kondisi bangunan. Jika ada amplitudo yang muncul pada frekuensi dibawah 1 Hz, maka frekuensi tersebut harus diabaikan. Berikut adalah kurva frekuensi natural bangunan dapat dilihat pada gambar 3.



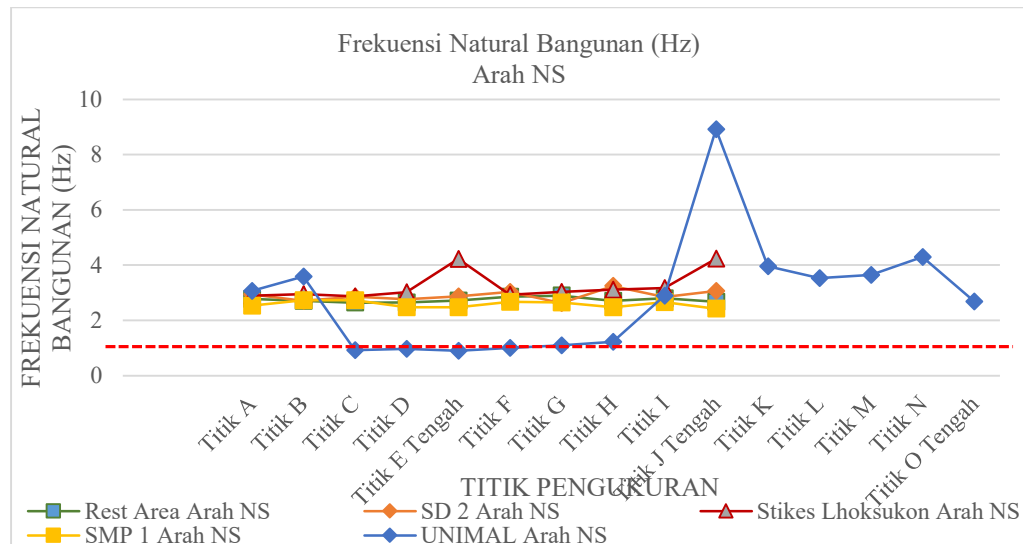
Gambar 3. Kurva frekuensi bangunan terhadap amplitudo arah EW dan NS dengan metode FSR

Nilai frekuensi natural bangunan dilihat pada *peak* tertinggi dari kurva diatas dan dikorelasikan dengan frekuensi natural bangunan hasil analisis spektrum, untuk kedua arah yaitu arah *East – West* (EW) 2,794 dan arah *North – South* (NS) 2,782. Nilai frekuensi natural pada semua bangunan dapat dilihat pada grafik 1 dan grafik 2.



Grafik 1. Frekuensi natural bangunan arah EW

Pada gedung Universitas Malikussaleh terdapat beberapa titik yang rendah yaitu titik C, D, E Tengah dan G, dikarenakan nilai pada titik tersebut dibawah standar yaitu 1 Hz maka secara umum komponen amplitudo yang muncul pada frekuensi dibawah 1 maka frekuensi tersebut harus diabaikan. Hasil pengukuran yang dibawah 1 Hz tidak dipakai dan tidak dimasukkan kedalam perhitungan lain.

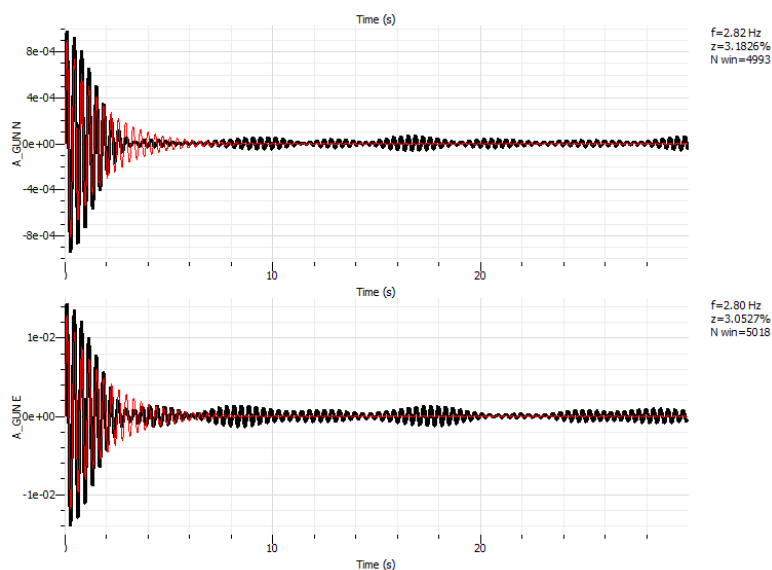


Grafik 2. Frekuensi natural bangunan arah NS

Pada grafik frekuensi natural bangunan arah EW yaitu 0,892 Hz - 4,264 Hz, sedangkan pada arah NS yaitu 0,901 Hz - 8,918 Hz. Dibandingkan dengan standar SNI 2002 maka nilai frekuensi natural bangunan masih memenuhi standar SNI karena nilai frekuensi lebih dari 1 Hz. Namun ada beberapa titik yang dibawah standar SNI yaitu titik C, D dan E Tengah, maka frekuensi tersebut harus diabaikan.

4.3 Random Decrement Method (RDM)

Prinsip dari analisis RDM merupakan teknik yang digunakan untuk menghitung *damping ratio* (rasio redaman) bangunan dengan melakukan *bandpass filtering* dan evaluasi frekuensi natural dari *spektrum Fourier* terlebih dahulu sebelum dilakukan analisis RDM dihasilkan rasio redaman dari arah EW dan NS berkisar 2 - 5 %. Untuk rata-rata frekuensi RDM EW 3,92 Hz dan NS 4,39 Hz. Contoh dari hasil pengolahan data frekuensi natural bangunan untuk mendapatkan rasio redaman pada titik A gedung Rest Area dapat dilihat pada Gambar 4. *Damping ratio* untuk kelima bangunan arah East-West dan North-South dapat dilihat pada Tabel 2.



Gambar 4. *Damping ratio* titik A gedung Universitas Malikussaleh arah EW dan NS dengan metode RDM

Tabel 2. Hasil *damping ratio* kelima bangunan dengan metode RDM

Titik	UNIMAL		Rest Area		SD 2		Stikes Lhoksukon		SMP 1	
	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS
Titik A	3.053	3.183	2.334	2.843	2.997	2.249	2.443	2.098	2.244	2.299
Titik B	3.110	3.254	2.009	2.081	2.330	2.684	2.985	2.634	2.291	2.395
Titik C	3.691	3.575	2.198	2.171	2.100	2.037	2.994	3.082	2.054	2.256
Titik D	2.829	2.884	2.287	2.834	2.495	2.011	2.399	2.501	2.619	2.443
Titik E	2.548	2.446	2.137	2.077	2.686	2.472	2.740	2.689	2.020	2.060
Titik F	3.838	3.535	2.603	2.223	2.117	2.253	2.672	2.485	2.402	2.184
Titik G	3.236	3.522	2.461	2.138	2.443	2.557	2.171	2.482	2.179	2.013
Titik H	3.896	4.195	2.012	2.402	3.144	2.040	2.180	2.361	2.236	2.362
Titik I	4.724	4.261	2.035	2.180	2.109	2.334	2.848	2.701	2.108	2.213
Titik J	4.974	3.896	2.263	2.223	2.458	2.434	3.010	2.512	2.615	2.236
Titik K	2.393	2.206								
Titik L	2.002	2.258								
Titik M	2.539	2.446								
Titik N	2.015	2.507								
Titik O	2.704	2.273								

4.4 Resonansi Bangunan

Indeks resonansi bangunan diperoleh menggunakan persamaan berikut :

$$R = \left| \frac{fb-ft}{ft} \right| \times 100\% \quad (6)$$

Dimana R adalah indeks resonansi bangunan, fb adalah frekuensi natural bangunan; dan ft adalah frekuensi natural tanah.

Dengan menggunakan persamaan tersebut diperoleh indeks resonansi bangunan dalam arah EW dan NS. Kemudian diperoleh hasil indeks resonansi dari tiap titik penelitian seperti dibawah ini tabel gabungan resonansi bangunan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil resonansi bangunan

Titik	UNIMAL		SD 2		Stikes		SMP 1		Rest Area	
	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS
Titik A	52.619	55.353	284.671	278.247	263.996	252.200	210.159	220.710	282.545	280.797
Titik B	47.321	47.752	251.379	248.223	232.494	260.389	243.203	245.116	273.931	269.980
Titik C	86.559	86.550	263.172	268.968	243.652	250.324	244.782	244.907	262.607	262.143
Titik D	86.117	85.963	255.450	256.862	236.345	268.160	211.539	213.572	264.854	262.242
Titik E	87.017	86.882	251.969	270.144	233.051	415.102	214.056	212.558	269.813	271.931
Titik F	42.994	85.612	255.971	290.974	236.838	257.532	235.419	238.190	250.005	291.333
Titik G	83.998	84.013	248.099	238.965	229.390	269.999	232.332	235.451	297.339	297.225
Titik H	37.919	82.227	280.802	318.996	260.334	279.279	235.831	213.616	265.809	270.249
Titik I	43.476	57.886	287.111	266.172	266.305	286.823	215.644	237.053	273.393	282.787
Titik J	43.230	29.844	274.668	294.907	254.531	417.344	202.762	206.329	276.910	266.012
Titik K	53.590	42.386								
Titik L	46.902	48.543								
Titik M	46.956	46.915								
Titik N	43.311	37.516								
Titik O	42.575	60.906								

Tabel penggabungan resonansi bangunan, dan seluruh titik pengukuran pada gedung *Rest Area*, gedung SD 2 Lhoksukon, gedung Stikes Lhoksukon, gedung SMP 1 Lhoksukon dan gedung Universitas Malikussaleh nilai resonansi arah EW yaitu 297,339 – 37,919 %, sedangkan arah NS yaitu 417,344 – 29,844 %, untuk resonansi bangunan dapat dikategorikan beresonansi rendah yaitu lebih dari 25%.

4.5 Periode Getar Alami Bangunan

Periode getar alami berbanding terbalik dengan frekuensi natural, sehingga nilai frekuensi natural bangunan dapat digunakan untuk menentukan periode getar alami bangunan dengan menggunakan persamaan berikut :

$$T = \frac{1}{f_n} \quad (7)$$

Dimana T adalah periode getar alami bangunan; dan f_n adalah frekuensi natural bangunan.

Dengan menggunakan peraturan yang terdapat didalam SNI-03-1726-2012 diperoleh batas periode getar untuk kelima gedung, yaitu 0,471 detik untuk gedung *Rest Area*, 0,424 detik untuk gedung SD 2, 0,471 detik untuk gedung Stikes, 0,424 detik untuk gedung SMP 1 dan 0,611 detik untuk gedung UNIMAL. Semua gedung yang ditinjau memperoleh hasil yang aman karena nilai batas semua memenuhi standar. Untuk periode getar alami kelima bangunan dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil batas periode getar alami bangunan

Titik	Rest Area		SD 2		Stikes		SMP 1		Titik	UNIMAL		Kategori
	T_{EW}	T_{NS}	T_{EW}	T_{NS}	T_{EW}	T_{NS}	T_{EW}	T_{NS}		T_{EW}	T_{NS}	
F	0.391	0.35	0.362	0.33	0.34	0.341	0.377	0.374	K	0.314	0.253	AMAN
G	0.345	0.345	0.37	0.38	0.326	0.330	0.380	0.377	L	0.274	0.283	AMAN
H	0.374	0.37	0.339	0.308	0.324	0.322	0.376	0.403	M	0.274	0.274	AMAN
I	0.367	0.358	0.333	0.352	0.329	0.315	0.401	0.375	N	0.257	0.233	AMAN
J	0.363	0.374	0.344	0.326	0.238	0.236	0.418	0.413	O	0.254	0.372	AMAN

Kelima gedung memiliki periode getar alami bangunan yang aman dan sesuai dengan ketentuan yang tertera pada SNI-03- 1726-2012.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Nilai frekuensi natural tanah (f_0) dengan menggunakan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr) pada gedung *Rest Area* adalah 0,730 Hz, SD 2 adalah 0,775 HZ, Stikes adalah 0,819 Hz, SMP 1 adalah 0,790 Hz dan Unimal adalah 6,868 Hz. Nilai frekuensi natural bangunan (f_b) dengan menggunakan metode *Floor Spectral Ratio* (FSR) pada semua gedung hasil FSR antara 2,557 Hz - 4,292 Hz, maka hasil FSR rendah karena sudah sesuai dengan Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung SNI (2002). Nilai rasio redaman (*damping ratio*) dengan menggunakan metode *Random Decrement Method* (RDM) pada semua gedung sesuai standar yaitu berkisar 2 – 5 %. Resonansi semua gedung yang ditinjau termasuk dalam tingkat resonansi rendah (>25%) pada semua titik pengukuran baik arah *East – West* (EW) maupun arah *North – South* (NS). Indeks kerentanan semua gedung berkisar antara 0,001 – 0,713 dengan nilai kerentanan rendah. Nilai periode getar alami bangunan semua aman karena masih berada dibawah nilai batas periode getar alami bangunan dan sesuai dengan SNI 17-02-2012.

5.2 Saran

Adapun saran yang diajukan untuk penelitian selanjutnya yaitu dilakukan studi lanjut tentang karakteristik dinamik bangunan untuk menunjang penelitian sudah ada. Dilakukan studi lanjut mengenai rata-rata nilai frekuensi natural pada tanah dengan cara memperbanyak jumlah titik pengukuran tanah

disekitar gedung agar nilai frekuensi tanah yang diperoleh benar dan juga sebaiknya pengukuran dilakukan pada saat kondisi gedung benar-benar sepi, contohnya pada malam hari agar tidak banyak gangguan (*noise*) pada saat proses pengukuran.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifin. 2014. Penentuan Zona Rawan Guncangan Bencana Gempa Bumi Berdasarkan Analisis Nilai Amplifikasi HVSR Mikrotremor dan Analisis Periode Dominan Daerah Liwa dan Sekitarnya. *Jurnal Geofisika Eksplorasi*, 2(1), 30–40.
- Febrina, H. S. 2017. *Analisis Kerentanan Bangunan dengan Pengujian Mikrotremor Studi Kasus di Daerah Rawan Pergerakan Tanah*. Universitas Negeri Semarang, Semarang.
- Gosar, A. 2010. Site Effects and Soil-Structure Resonance Study in The Kobarid Basin (NW Slovenia) Using Microtremorsin. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 10(4), pp. 761–772.
- Herak, M. 2011. Overview of recent ambient noise measurements in Croatia in free-field and in buildings. *Geofizika*, 28(1), pp. 21-40.
- Konno, K., Ohmachi, T. 1998. Ground-Motion Characteristics Estimated from Spectral Ratio Between Horizontal and Vertical Components of Microtremor. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 88(1), pp.228–241.
- Nakamura, Y. 2000. Clear Identification of Fundamental Idea of Nakamura's Technique and Its Applications. In *Proceedings of the 12th World Conference on Earthquake Engineering*. New Zealand: Auckland. Vol. 2656.
- Nashir, M. A. L., Bahri, A. 2013. Karakterisasi Kekuatan Bangunan Wilayah Surabaya-Jawa Timur Menggunakan Analisis Mikrotremor. *Jurnal Teknik Pomits*. 1(1), pp. 1-5.
- Paz, M. 1993. *Structural-Dynamics*. Theory and Computation Fifth Edition, University Of Louisville, USA.
- SESAME. 2004. Guidelines for the Implementation of the H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibrations Measurements , Processing and Interpretation. *Interpretation A Journal Of Bible and Theology*, 169 (December), 1–62.
- Tunggal, P., Ihkyaul, M., Aris, M. 2015. Earthquake Microzonation and Strength Building Evaluation at Gelora Bung Tomo Stadium Surabaya Using Micro-Tremor Method. *7th International Conference on Physics and Its Applications (ICOPIA)*. pp. 14–20.