

REVIEW FAKTOR PENGARUH PERUBAHAN FREKUENSI ALAMI PADA STRUKTUR BANGUNAN

Silsila Jana Firdasa Sembiring^{1*}, Mohd. Isnaeni², Masdar Helmi³, Fikri Alami⁴

¹Teknik Sipil, Teknik dan Informatika, Universitas 17 Agustus 1945 Jakarta

^{2,3,4}Teknik Sipil, Teknik, Universitas Lampung

*Email: silsila@uta45jakarta.ac.id

Abstrak

Setiap struktur memiliki frekuensi alaminya tersendiri. Frekuensi alami adalah implementasi dari fleksibilitas kekakuan dan masa. Banyak faktor yang dapat menaikkan dan menurunkan nilai perubahan frekuensi alami dari struktur bangunan. Penelitian ini membahas tentang faktor-faktor yang mempengaruhi frekuensi alami. Metode yang digunakan dalam penelitian ini dengan melakukan kajian dari beberapa literatur yang tersedia mengenai faktor yang mempengaruhi frekuensi alami pada struktur bangunan. Didapatkan hasil bahwasannya frekuensi alami dapat ditentukan dari panjangnya bentang, kelangsingan dimensi, fungsi ruang disetiap lantai, material yang digunakan oleh stuktur bangunan, dan juga umur bangunan tersebut. Selain itu frekuensi alami dapat menurun nilainya ketika diberikan getaran secara berkala dan dapat meningkat nilainya jika menambahkan kekakuan atau dengan mereduksi getaran yang diterima pada bangunan.

Kata kunci: Frekuensi Alami, Kekakuan, Getaran, Struktur Bangunan, Kajian Literatur

Abstract

The structural have their own natural frequency. Natural frequency is an implementation of stiffness and mass flexibility. The value of natural frequency can be changed by any factors. This research is discusses about the factors that influence of natural frequency. The method of this research is review a study from another literature that really relate on the topic. The results show that natural frequency can be determined from the length of the span, the thickness of the slab, the function of space, the materials used in the building structure, and also the age of the building. In addition, natural frequency can be decreased if that structure is given by periodic of vibrations and can be increased if the structure added by stiffness or reducing the vibrations.

Keywords: Natural Frequency, Stiffness, Vibration, Building Structure, Literatur Review.

1. PENDAHULUAN

Kegiatan- kegiatan besar seperti pembangunan suatu konstruksi, transportasi kendaraan muatan besar, dan kegiatan industri dapat menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan disekitarnya, salah satu dampak yang ditimbulkan adalah gangguan getaran akibat aktifitas tersebut. Getaran dapat timbul karena adanya gerakan bolak baik suatu benda atau partikel dari keseimbangan sehingga keseimbangan itu terganggu (Leissa, A.W., and Qatu, 2011). Getaran memiliki dampak langsung (terhadap kesehatan dan kenyamanan manusia) dan tidak langsung (kerusakan fisik bangunan) (Kowalska-Koczwara et al, 2021). Ketidaknyamanan akan timbul ketika frekuensi alami pada stuktur mendekati fekuensi getaran orang yang gejala diatasnya (Morib, 2018; Zheng et al., 2017; Wahyuni, 2010). Jika getraan tersebut dilakukan berulang dengan periode yang lama maka akan menimbulkan getaran siklis yang dapat menyebabkan kelelahan pada material bagunan (Prakash dan Putri, 2006).

Setiap elemen struktur dalam sebuah sistem memiliki frekuensinya sendiri (frekuensi alami). Parameter terpenting dalam mengetahui suatu getaran tersebut dapat merusak atau tidak dilihat dari nilai frekuensi alaminya (Allen & Murray, 1993; (ISO 2631-2, 2022; Menteri Negara Lingkungan Hidup, 1996). Frekuensi alami struktur merupakan representasi dari fleksibilitas struktur yang merupakan fungsi dari kekakuan dan massa (Morib, 2018). Penentuan standar frekuensi yang diterima oleh bangunan untuk mengetahui tingkat kenyamanan diatur dalam ISO 2631-2022, dimana kurva puncak percepatan yang disarankan untuk standar internasional bagi kenyamanan

manusia terhadap vibrasi berada di frekuensi 4-8 Hz dengan akselerasi yang beragam sesuai jenis bangunan (Allen & Murray, 1993; ISO 2631-2, 2022). Sedangkan untuk standar nasional telah ditetapkan peraturan mengenai baku tingkat getaran untuk kenyamanan, kesehatan, dan kerusakan berdasarkan jenis bangunan (Menteri Negara Lingkungan Hidup, 1996).

Menurut ISO 2631- 2- 2022 tingkat kenyamanan manusia berada diantara frekuensi 4-8 Hz. Diluar dari batasan tersebut dinyatakan bahwa bangunan sudah tidak nyaman digunakan (Allen & Murray, 1993; ISO 2631-2, 2022). Jika terus dibiarkan akan terjadi kelelahan pada struktur bangunan (Zheng et al., 2017; Prakash dan Putri, 2006). Lokasi konstruksi juga dapat menghasilkan tingkat getaran yang tinggi, karena proses konstruksi dan penggunaan alat berat. Hal ini dapat menyebabkan gangguan, membatasi kegiatan-kegiatan tertentu dan merusak bangunan yang berdampingan, khususnya di daerah perkotaan yang padat (Sakiyama et al., 2018). Bangunan dikatakan memiliki frekuensi yang kecil karena dimensi yang digunakan sangat kelangsingan, betang yang panjang, dan masa yang timpa begitu besar (Cecep Bakheri Bachroni, 2015; Alhassan et al., 2020). Ada beberapa faktor yang mempengaruhi frekuensi alami pada setiap struktur yaitu kekakuan, massa dan getaran. Ketiga faktor tersebut dapat menaikkan maupun menurunkan frekuensi pada bangunan.

Frekuensi alami dapat ditingkatkan dengan menambah kekakuan atau mengurangi masa (Morib, 2018). Frekuensi alami bangunan dapat meningkat ketika menambahkan kekakuan pada struktur tersebut dengan menambahkan balok anak pada pelat, menggunakan balok komposit atau Fiber Reinforced Polimer (FRP) dan Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) (Adediran, 2007; Cecep Bakheri Bachroni, 2015). Sedangkan dalam mengurangi masa pada bangunan sangatlah sulit dilakukan karena masa setiap benda berbeda- beda sehingga lebih efektif untuk melakukan peredaman masa dengan menggunakan alat Dampers (Zheng et al., 2017; Picauly et al., 2017; Alhassan et al., 2020; Li & Darby, 2006). Frekuensi alami juga dapat menurun dikarenakan situasi alam (gempa), aktivitas manusia (berjalan, berlari, menari, meloncat, dll) (Cecep Bakheri Bachroni, 2015; Wahyuni, 2012), dan lingkungan disekitarnya (mesin yang bergetar, suara sound system yang terlalu keras, dan lalu lintas di luar bangunan) (Joko Siswanto, 2011; Purwanto et al., 2022; Zanon, 2019; Riantana et al., 2017) atau yang sering kita sebut dengan beban dinamis. Oleh karena itu dalam penulisan ini akan lebih difokuskan untuk mengkaji faktor- faktor yang mempengaruhi perubahan frekuensi alami pada bangunan. Metode yang dilakukan dengan mengkaji hasil dari penelitian terdahulu mengenai faktor- faktor yang mempengaruhi perubahan frekuensi alami pada bangunan.

2. METODE

Metode dalam penelitian ini dilakukan dengan cara melakukan review dari berbagai literatur yang tersedia mengenai faktor yang mempengaruhi perubahan frekuensi natural pada struktur bangunan. Pada dasarnya struktur bangunan memiliki frekuensi alaminya sendiri. Frekuensi alami bangunan tersebut dapat menurun dan meningkat sesuai dengan perlakuan yang diberikan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Frekuensi alami yang rendah dapat dinilai dari kelangsingan dimesi suatu bangunan, betang yang panjang dan masa yang besar (Bachroni, 2015). Setiap struktur bangunan memiliki frekuensi alaminya tersendiri Allen & Murray, 1993 ; ISO 2631-2, 2022; Menteri Negara Lingkungan Hidup, 1996) dan frekuensi alami tersebut suatu waktu dapat berubah. Perubahan yang diberikan dapat berdampak baik dan buruk terhadap struktur bangunan. Beberapa peneliti telah mengkaji faktor-faktor yang mempengaruhi perubahan frekuensi alami pada struktur bangunan beserta dampak yang diberikan. Faktor yang mempengaruhi perubahan frekuensi alami akan dijelaskan dalam sub bab dibawah.

3.1 Hasil Penelitian

Major et al., 2017, melakukan penelitian dengan menganalisis getaran dinamis akibat orang berjalan di jembatan penyebrangan orang yang terbuat dari besi dan alumunium. Penelitian ini menggunakan 3 faktor yang mempengaruhi yaitu berjalan, berlari dan melompat. Analisis yang dilakukan dengan menggunakan program Robot Strctural Analysis. Didapatkan hasil frekuensi orang meloncat 1.3- 3.4 Hz dengan akselerasi 0,009 m/s² untuk jembatan penyebrangan orang dengan material besi. Sedangkan jembatan penyebrangan orang menggunakan alumunium sudah

dikalikan 5 kali percobaan tetapi tidak memasuki kualifikasi. Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwasannya jembataan dengan penggunaan besi lebih baik dan nyaman dibandingkan dengan jembatan dari aluminium.

Riantana et al., 2017, menguji nilai frekuensi natural bangunan UPT Perpustakaan UNS dengan sensor accelerometer pada handphone android. Dari pencatatan aktifitas mikrotremor, data yang terekam dikirimkan ke server secara telemetri. Data yang tersimpan di server selanjutnya ditampilkan dalam grafik pada web monitoring mikrotremor. Data mikrotremor selanjutnya diolah dengan fungsi FFT untuk menentukan dominan frekuensi. Berdasarkan dominan frekuensi dapat diketahui rasio resonansi tanah dan bangunan UPT Perpustakaan UNS. Nilai rasio resonansi pada setiap lantai berbeda-beda. Perbedaan tersebut disebabkan karena ketinggian dari permukaan tanah, kombinasi kolom udara di bawahnya, tata ruang pada setiap lantai, dan lain-lain. Fungsi ruang pada setiap lantai juga mempengaruhi frekuensi natural pada lantai. Hasil perhitungan rasio resonansi didapatkan nilai 69.35- 94.48% pada komponen NS dan 70.42-98.61% pada komponen EW dengan status resonansi rendah di setiap lantai bangunan.

Wahyuni, 2010, mengukur frekuensi natural pada gedung bertingkat menggunakan alat akselerometer disetiap lantainya. Gedung yang diuji adalah gedung di daerah yang sangat rawan oleh gempa. Didapatkan nilai frekuensi alami pada lantai gedung mendekati atau sama dengan nilai frekuensi gempa yang sering terjadi. Pada lantai 3 dan lantai 2 nilai frekuensi alami diperoleh 2 Hz dan frekuensi alami pada lantai 1 adalah 0,6 Hz. Nilai frekuensi alami pada lantai 1 memiliki nilai yang berdekatan/hampir sama dengan nilai frekuensi alami pada tanah dasar gedung. Sedangkan nilai frekuensi tanah dasar gedung 0,4 Hz. Dari hasil diatas maka bangunan tersebut dikatakan masih aman dikarenakan frekuensi bangunan masih lebih besar dari frekuensi alami tanah dasarnya.

Hao et al., 2022, melakukan penelitian tentang dampak dari kebisingan dan getaran pergerakan kereta api. Penelitian ini menganalisis dalam ruangan getaran dan karakteristik spektrum kebisingan dari bangunan terpilih disepanjang garis yang disebabkan oleh angkutan kereta api perkotaan, hukum dampak pemolesan roda/rel, pengurangan kecepatan pada getaran dalam ruangan dan kebisingan penduduk di sepanjang jalur. ditemukan bahwa setelah penggilingan roda/rel dan deselerasi hingga 45 km/jam, pengurangan getaran dalam ruangan efeknya paling jelas, dengan pengurangan 11 dB. Namun, efek pengurangan kebisingan bergantung pada penurunan besarnya getaran yang ditransmisikan ke dalam ruangan dan tingkat penurunan frekuensi dalam resonansi bangunan. Berdasarkan data pengukuran aktual dalam penelitian ini, setelah penggilingan roda dan rel, tingkat kebisingan dapat dikurangi lebih dari 8 dB ketika spektrum frekuensi kebisingan adalah 50 Hz. Puncak kebisingan mendekati 40 Hz, 50 Hz, dan 63 Hz, data getaran dan kebisingan dari setiap titik yang diukur sangat berkorelasi. Dengan meningkatnya frekuensi, penurunan kebisingan radiasi sekunder dan getaran yang disebabkan oleh getaran kereta bawah tanah tetap sama.

Purwanto et al., 2022, mendapatkan hasil penelitian tentang pengukuran getaran mekanik berdasarkan jenis bangunan dengan cara melakukan pengujian di beberapa titik sumber getaran kereta api dan lalu lintas terhadap gedung disekitarnya. Data hasil pengukuran tingkat getaran yang bersumber dari kereta api di Jakarta dan Semarang menunjukkan tingkat getaran terletak pada rentang frekuensi dominan yang relatif dekat dengan hasil studi Hao et al., 2022, yaitu berada pada sekitar 50 Hz. Lokasi yang berdekatan dengan rel kereta api, pekerjaan konstruksi dengan alat berat, pengeboran cenderung memberikan dampak getaran yang besar kelingkungan sekitarnya. Seiring berjalannya waktu maka frekuensi alami bangunan tersebut akan mendekati dengan frekuensi tanah dasar sehingga dapat merusak bangunan disekitarnya.

Joko Siswanto, 2011, melakukan pengujian hubungan antara getaran tepi jalan dan karakteristik lalu lintas di jalan raya. Hasil penyelidikan menunjukkan bahwa kecepatan lebih memiliki pengaruh yang signifikan (ditunjukkan dari nilai korelasi yang rata-rata diatas dari 0,45) dan stabil (ditunjukkan dari tanda koefisien persamaan yang selalu positif) terhadap perubahan getaran dibandingkan dengan volume. Pembentukan model hubungan antara getaran, kecepatan, jarak dan lebar redaman memberikan hasil yang cukup baik, hal ini ditunjukkan dengan nilai determinasi uji yang cukup tinggi (0,96). Dari model yang dihasilkan juga diketahui bahwa

variabel yang sangat berpengaruh terhadap perubahan getaran adalah lebar redaman (dalam studi ini adalah drainase).

Sunandar & Mulyani, 2017, meneliti besarnya getaran yang dihasilkan oleh truck tronton dan dampaknya terhadap kerusakan bangunan. Dilakukan uji coba semi lapangan terhadap getaran yang bersumber dari truck tronton 30 ton yang divariasikan dengan jarak 50 dan 100 dari sumber getaran. Disimpulkan hubungan antara getaran, jarak dengan kerusakan bangunan menunjukkan bahwa kerusakan bangunan dan tingkat getaran dipengaruhi oleh jarak rambatan. Kendaraan truck tronton 30 ton menimbulkan getaran sebesar 3,82 mm/det pada jarak 50 cm dan 0,7 mm/det pada jarak 100 cm.

Prabowo & Rusmana, 2020, mengamati sifat mekanik material komposit UPFG setelah digetarkan pada frekuensi alaminya selama rentang waktu tertentu. Sifat mekanik dianalisis setelah diberikan perlakuan getaran selama 1, 2 dan 3 jam dibandingkan dengan tanpa perlakuan. Hasil penelitian menunjukkan kekakuan dan kekuatan sampel terus turun seiring lamanya perlakuan getaran yang diberikan. Setelah perlakuan 3 jam nilai kekakuannya turun sebesar 20,20% menjadi 8106,52 MPa dibandingkan dengan tanpa perlakuan 10158 MPa dan nilai kekuatan sampel turun 15,27% menjadi 175,36 MPa dibandingkan tanpa perlakuan 206,96 MPa. Stabilitas susunan dan ikatan antara UP dan GF terpengaruh dengan getaran yang terus-menerus sehingga menurunkan nilai kekakuan dan kekuatannya.

Allen & Murray, 1993, mengkaji getaran orang berjalan atau repon dinamis terhadap pelat baja dan struktur jembatan penyebrangan pejalan kaki. Getaran akibat berjalan mempengaruhi resonansi, respon impuls, dan kekakuan statis. Resonansi dapat mengontrol getaran yang terjadi pada pelat dan struktur kurang dari 9 Hz. Kekakuan statis dapat mengontrol pelat lantai dengan frekuensi lebih besar dari 18 Hz dan respon impuls dapat mengontrol getaran pada pelat diantara frekuensi 9-18 Hz.

Wahyuni, 2012, menganalisis beban manusia bergerak pada struktur JPO beton dan baja yang dibatasi oleh badan manusia individu. JPO beton memiliki frekuensi fundamental sebesar 2.75 Hz (arah horizontal), sedangkan untuk JPO baja memiliki frekuensi fundamental sebesar 7.675 Hz (arah vertikal). Struktur JPO beton sangat rentan terhadap beban horizontal, sedangkan struktur JPO baja sangat rentan terhadap beban vertikal. Frekuensi terbesar terjadi ketika beban dinamis manusia mencapai tengah bentang dari struktur JPO tersebut. Perbandingan antara frekuensi akibat beban dinamis manusia dengan frekuensi alami dari struktur JPO kurang dari 0,5 sehingga struktur tidak terjadi resonansi.

Beben et al., 2017, mengevaluasi dampak lalu lintas pada bangunan tempat tinggal. Hasil pengujian dapat diketahui bahwa sinyal didominasi oleh komponen frekuensi berkisar antara 10–25 Hz, dan amplitudo percepatan tertinggi dari arah horizontal (Y, Z) sebesar 0,009 m/s². Itu terdaftar pada saat melewati HGV dengan berat 41,2 t dengan kecepatan 35-40 km / jam. Dampak kendaraan lain berada pada tingkat yang jauh lebih rendah yaitu percepatan tidak melebihi 0,003 m/s².

De Alcântara Segundinho et al., 2011, melakukan pengujian vibrasi skala kecil terhadap jembatan penyebrangan orang yang terbuat dari kayu. Vibrasi yang ditentukan hanya terhadap gaya vertikal dan lateral frekuensi naturannya saja dengan menggunakan metode eksperimental dan numerik. Hasil dari eksperimental dan numerik untuk natural frekuensi dari jembatan terori Euler-Bernoulli sangat cocok digunakan dalam penelitian jembatan penyebrangan orang yang terbuat dari kayu ini. Kekakuan pada balok sangat mempengaruhi getaran yang terjadi pada jembatan ini. Dimana nilai frekuensi natural dari gaya vertikal untuk numerik sebesar 2,675 Hz, eksperimental 2,734 Hz dan teorikal 2,626 Hz.

Alhassan et al., 2020, menyelidiki pengaruh getaran yang disebabkan oleh manusia pada jembatan penyebrangan baja sederhana yang ditopang di Yordania, terutama yang memiliki frekuensi alami antara 2 hingga 4 Hz. Diamati bahwa setelah memasang TMD (*Tuned Mass Dampers*), frekuensi getaran dasar menurun ke nilai stabil kurang dari frekuensi eksitasi manusia. Percepatan, kecepatan, dan respon perpindahan juga menurun secara signifikan dimana berada dalam batas yang dapat diterima. Hasil penelitian menunjukkan bahwa di bawah eksitasi berjalan, akselerasi maksimum menurun setelah menggunakan TMD (*Tuned Mass Dampers*) dari 829 mm/s²

(8,13% g) menjadi 48,5 mm/s² (0,48% g), jauh di bawah batas maksimum yang direkomendasikan yaitu 5% g. Pada eksitasi lari akselerasi maksimum menurun dari 2556 mm/s² (25% g) menjadi 28 mm/s² (0,27% g), jauh di bawah batas maksimum yang direkomendasikan 5% g menurut ISO 2631-2022. Di bawah eksitasi berjalan perpindahan maksimum menurun dari 9 mm menjadi 0,39 setara 96% penurunan. Dalam hal ini jelas menunjukkan bahwa *TMD (Tuned Mass Dampers)* yang tergabung sangat efektif dalam mengendalikan getaran jembatan penyeberangan.

Picauly et al., 2017, mengkaji kerja alat peredam massa sederhana *TMD (Tuned Mass Dampers)* dengan alat peredam yang terbuat dari *Fiber Reinforced Rubber (FRR)* yang terpasang pada sistem *TMD (Tuned Mass Dampers)*. Hasilnya menunjukkan bahwa kinerja *TMD* dengan *FRR* cukup efektif untuk mengurangi respon amplitudo struktur pelat. Penelitian ini juga menunjukkan bahwa *FRR* pada *TMD* meningkatkan rasio redaman pelat dari 1,21% tanpa *TMD* menjadi 2,03% dengan *TMD* dan 2,56% dengan *TMD + FRR*, Pada langkah kaki yang diterapkan pada slab, percepatan maksimum berkurang dari 0,201 g hingga 0,081 g.

Zheng et al., 2017, menerapkan *MTMD (Multiple Tuned Mass Dampers)* untuk mengurangi getaran normal lantai karena aktivitas manusia dalam memastikan keamanan struktural dan kemudahan servis. Hasil simulasi dari lantai bentang besar di bawah beban harmonik karena pertunjukan konser yang semarak diusulkan sistem *MTMD*, sistem ini dapat mengurangi akselerasi puncak sebesar 31%.

Li & Darby, 2006, menguji getaran bebas dan paksa dari sistem yang dilengkapi dengan *Buffered Impact Damper* yang digunakan untuk mempelajari efek redaman yang dihasilkan dan karakteristik dampaknya. Eksperimen getaran bebas dan paksa menunjukkan bahwa *Buffered Impact Damper* menghasilkan hasil yang lebih baik untuk kontrol getaran dari pada peredam benturan kaku konvensional. Selain itu, dengan peredam benturan seperti itu, akselerasi dan gaya kontak berkurang secara signifikan bersamaan dengan pengurangan kebisingan yang dihasilkan. Selain itu, peredam benturan yang disangga kurang sensitif terhadap variasi eksitasi jenis dan jarak bebas dan parameter massa dari peredam itu sendiri, dan menghasilkan redaman yang lebih cepat di respon getaran bebas.

Bachroni, 2015, menerangkan bahwasannya getaran pada sistem pelat lantai gedung bertingkat dapat terjadi akibat eksitasi yang timbul dari kegiatan manusia yang bersifat ritmik seperti gerakan berlari, menari dan aerobik. Getaran yang berlebihan pada sistem pelat lantai gedung bertingkat umumnya tidak terkait dengan keamanan gedung, tapi terkait dengan ketidaknyamanan penghuninya. Dilakukan pengujian terhadap pelat lantai beton bertulang dengan menggunakan rangka batang baja yang ditempelkan pada kedua sisi badan balok induk. Hasil analisis memperlihatkan bahwa penanggulangan getaran menggunakan rangka batang baja hollow efektif dalam mengubah frekuensi getar sistem lantai dari semula 3,6 Hz menjadi 8,62 Hz.

Morib, 2018, mengevaluasi frekuensi alami menggunakan tiga jenis struktur rangka beton bertulang yaitu rangka penahan momen khusus, rangka penahan momen khusus sistem ganda yang digabungkan dengan dinding inti dan rangka penahan momen khusus sistem ganda yang digabungkan dengan dinding rangka (dinding terintegrasi dengan momen). Hasil penelitian ini membuktikan bahwa penggunaan dinding geser sebagai dinding inti atau dinding rangka meningkatkan frekuensi alami dan kekakuan struktur. Frekuensi alami yang terjadi pada frame wall menggunakan analisis ragam respon spectrum pada mode 1 sebesar 4,9356 Hz mengalami peningkatan 54,89% dibandingkan pada SRPMK sebesar 3,1865 Hz. Akibat penambahan core wall dan frame wall gaya aksial yang terjadi pada kolom mengalami penurunan, tetapi momen kolom mengalami peningkatan, Data ini dapat digunakan untuk mengevaluasi dimensi kolom setelah penambahan core wall dan frame wall.

Nasution, 2017, membahas alat dissipasi energi dengan jenis *Fluid Viscous Damper*. *Fluid Viscous Damper* adalah alat dissipasi pasif yang bekerja setelah energi gempa masuk ke bangunan. Dalam tugas akhir ini akan di analisis perbandingan simpangan yang terjadi pada struktur konvensional dengan struktur yang menggunakan *Fluid Viscous Damper* terhadap beban gempa yang dianalisis dengan metode riwayat waktu. Dumper dipasang secara diagonal, rekaman gempa yang digunakan 5 rekaman gempa pulse dan 5 rekaman gempa no pulse. Hasil analisis menunjukkan bahwa struktur yang menggunakan *Fluid Viscous Damper* dapat mereduksi

simpangan yang terjadi akibat gempa pulse sebesar 65,16 % dan gempa no pulse sebesar 28,38 %. Pada struktur yang menggunakan *Fluid Viscous Damper* simpangan antar tingkat dapat direduksi hingga 68,85 % ini berarti kerusakan struktur dapat direduksi.

Tabel 1. Kajian Literatur Perubahan Frekuensi Natural pada Struktur Bangunan

No	Penulis	Judul Penelitian	Kesimpulan
1.	Major et al., 2017	<i>Dynamic Numerical Analysis of Steel Footbridge</i>	Jembatan dengan penggunaan besi lebih baik dan nyaman dibandingkan dengan jembatan dari aluminium.
2.	Riantana et al., 2017	Penentuan Nilai Frekuensi Natural Bangunan UPT Perpustakaan UNS dengan Sensor Accelerometer pada Handphone Android	Frekuensi alami setiap bangunan dipengaruhi oleh tinggi tiap lantai bangunan, kolom yang digunakan, tata ruang dan fungsi ruang disetiap lantai
3.	Wahyuni, 2010	<i>Relationship Between Static And Dynamic Displacements Of Structures. Journal Of Civil Engineering</i>	Lantai terbawah memiliki nilai frekuensi alami paling kecil karena berdekatan dengan sumber getaran yaitu dari getaran bawah tanah (gempa/sismik). Oleh karena itu getaran akibat gempa mempengaruhi nilai frekuensi alami pada bangunan
4.	Hao et al., 2022	<i>Study of noise and vibration impacts to buildings due to urban rail transit and mitigation measures</i>	Getaran kereta api menyebabkan getaran yang begitu besar bisa hingga mencapai 63 Hz dimana melebihi dari batas kenyamanan yang diizinkan menurut ISO 2631-2, 2022.
5.	Purwanto et al., 2022	Pengukuran Getaran Berdasarkan Jenis Bangunan. Tangerang Selatan.	Lokasi yang berdekatan dengan rel kereta api, pekerjaan konstruksi dengan alat berat, dan pengeboran cenderung memberikan dampak getaran yang besar kelilingnya sekitarnya. Seiring berjalannya waktu maka frekuensi alami bangunan tersebut akan mendekati dengan frekuensi tanah dasar sehingga dapat merusak bangunan disekitarnya.
6.	Joko Siswanto, 2011	Pengaruh Getaran dan Karakteristik Lalu Lintas Terhadap Bangunan. Semarang	Kecepatan kendaraan memiliki pengaruh yang signifikan dan stabil terhadap perubahan getaran dibandingkan dengan volume kendaraan. lebarnya drainase dapat mereduksi getaran yang diberikan oleh lalu lintas disekitarnya
7.	Sunandar & Mulyani, 2017	Evaluasi Pengaruh Kendaraan Truk dan Variasi Jarak Terhadap Kerusakan Bangunan. Jurnal Soshum Insentif	Kerusakan bangunan dapat dipengaruhi oleh jarak rambatan getaran yang terlalu dekat dengan kendaraan yang bermuatan besar dan dengan kecepatan yang tinggi
8.	Prabowo & Rusmana, 2020	Efek Getaran dengan Frekuensi Alami pada Komposit <i>Unsaturated Polyester-Fiber Glass</i> Metode <i>Hand Lay up</i> terhadap Sifat Mekanik	Kekakuan dan kekuatan pada struktur bangunan terus turun seiring lamanya perlakuan getaran mekanik yang diberikan dan mengakibatkan turunnya frekuensi alami pada struktur bangunan
9.	Allen & Murray, 1993	<i>Design criterion for vibrations due to walking</i>	Kekakuan dapat menaikkan frekuensi alami lantai dan mengatur resonansi yang terjadi pada struktur

10.	Wahyuni, 2012	Studi Kelakuan Dinamis Struktur Jembatan Penyeberangan Orang (Jpo) Akibat Beban Individual Manusia Bergerak. Surabaya. Jurnal Teknik Sipil	Resonansi terbesar berada di tengah bentang pada jembatan penyeberangan orang. Untuk getaran akibat berjalan kaki tidak seberapa menimbulkan resonansi hanya menimbulkan ketidak nyamanan.
11.	Beben et al., 2017	<i>Evaluation of The Traffic Impact On Residential Building</i>	Getaran yang diakibatkan oleh kendaraan lalu lintas berpengaruh terhadap perumahan yang berada disekitarnya
12.	De Alcântara Segundinho et al., 2011	<i>Evaluating Vibrations on A Small-Scale Model On A Timber Footbridge</i>	Penambahan Kekakuan dengan balok dapat meningkatkn kekakuan pada jembatan penyeberangan orang
13.	Alhassan et al., 2020	<i>Control of Vibrations of Common Pedestrian Bridges in Jordan Using Tuned Mass Dampers</i>	<i>TMD (Tuned Mass Dampers)</i> dapat mereduksi getaran yang diberikan oleh pejalan kaki yang berada di jembatan penyeberangan orang. Selain dapat meredakan getaran <i>TMD</i> dapat meningkatkan frekuensi alami pada struktur tersebut
14.	Picauly et al., 2017	<i>Infuance of Vibration of Human Activity Upon A Simple Suported Slab with Tuned Mass Damper (TMD) dan Fiber Reinforced Rubber (FRR) Absorber</i>	Pemasangan <i>TMD (Tuned Mass Dampers)</i> dengan alat peredam yang terbuat dari <i>Fiber Reinforced Rubber (FRR)</i> lebih baik mereduksi getrana ketimbang dengan yang hanya menggunakan <i>TMD (Tuned Mass Dampers)</i> . Dapat disimpulkan bahwa material <i>TMD</i> dengan penambahan karet dapat meredam getaran lebih tinggi ketimbang hanya dengan <i>TMD</i>
15.	Zheng et al., 2017	<i>Reduction of Floor Vibration Due to Human Activity by Multiple Tuned Mass Dampers</i>	<i>MTMD (Multiple Tuned Mass Dampers)</i> dapat mengurangi getaraan yang diterima pada lantai.
16.	Li & Darby, 2006	<i>An Experimental Investigation Into The Use of A Buffered Impact Damper</i>	<i>Buffered Impact Dumper</i> lebih baik melakukan peredaman getaraan ketimbang dengan peredam benturan kaku konvensional. Selain itu, <i>Buffered Impact Dumper</i> dapat mebuat akselerasi dan gaya kontak berkurang secara signifikan bersamaan
17.	Bachroni, 2015	Penanggulangan Getaran Pada Pelat Lantai Beton Bertulang	Frekuensi alami dapat ditingkatkan dengan penambahan kekakuan pada struktur berupa penambahan balok anak pada struktur bangunan. Yang dapat mempengaruhi nilai frekuensi pada bangunan diliat dari panjang bentang, dimensi yang dipakai, kelangsingan, dan masa yang menimpa bangunan tersebut.
18.	Morib, 2018	Peningkatan Frekuensi Alami Struktur Dengan Variasi Penempatan Dinding Geser	Frekuensi alami dapat ditingkantkn dengan penambahan dinding geser pada struktur bangunan yang menerima getaran

19.	Nasution, 2017	Perencanaan FVD (<i>Fluid Viscous Damper</i>) pada Struktur Bangunan Baja	Dengan hasil yang di dapat dapat disimpulkan <i>Fluid Viscous Damper</i> dapat mereduksi simpangan akibat getaran gempa sehingga dapat meningkatkan atau mempertahankan frekuensi alami dari struktur bangunan.
-----	-------------------	---	---

3.2 Pembahasan

Frekuensi alami bangunan dapat menurun lainnya ketika diberikan beban dinamis contohnya bangunan yang berada di pinggir jalan atau rel kereta. Getaran kereta api, getaran lalu lintas bermuatan besar yang cepat dan getraan dari mesin pekerjaan konstruksi terhadap bangunan disekitarnya dapat mempengaruhi nilai frekuensi pada bangunan jika dilakukan secara terus menerus. Sedangkan getaran akibat aktifitas manusia seperti berlari, berjalan, meloncat dan menari hanya akan dirasakan ketidak nyamanan terhadap pengunanya jika rekuensi yang dibrikan mendekati dengan frekuensi natural dari bangunan. Oleh karena itu dalam hal penurunan frekuensi pada bangunan dapat disebabkan dari umur bangunannya juga. Karena aktivitas yang dilakukan berulang perlakuannya dalam jangka pajang akan mempengaruhi frekuensi bangunan. Ketika terjadi penurunan frekuensi natural pada bangunan maka frekuensi tersebut dapat dinaikan kembali dengan cara menambah kekakuan atau dengan meredam getaran. Untuk penambahan kekakuan dapat dilakukan dengan penambahan balok anak di bentang yang begitu panjang agar struktur lebih kaku. Penambahan kekakuan dapat menggunakan FRP, GFRP, balok baja I. Sedangkan peredaman dapat dilakukan dengan melakukan pemasangan damper atau alat peredam yang berbentuk pegas. Damper dengan ujungng yang diberi *rubber* memiliki tingkat redaman yang tinggi ketimbang dengan damper pada umumnya.

4. KESIMPULAN

Besar kecilnya frekuensi alami dapat ditentukan dari panjangnya bentang, kelangsingan dimensi, fungsi ruang disetiap lantai, material yang digunakan oleh stuktur bangunan, dan juga umur bangunan tersebut. Selain itu frekuensi alami dapat menurun nilainya ketika diberikan getaran secara berkala dan dapat meningkat nilainya jika ditambahkan kekakuan atau dengan mereduksi getaran yang diterima pada bangunan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Adediran, O. (2007). Analytical and Experimental Vibration Analysis of Glass Fibre Reinforced Polymer Composite Beam. Xn--Samhllsplanering-Ynb.Se. [http://www.samhllsplanering.se/fou/cuppsats.nsf/all/11b35ee301293387c125739400740f4d/\\$file/BTH_AMT_EX_2007D13_SE.pdf](http://www.samhllsplanering.se/fou/cuppsats.nsf/all/11b35ee301293387c125739400740f4d/$file/BTH_AMT_EX_2007D13_SE.pdf)
- Alhassan, M. A., Al-Rousan, R. Z., & Al-Khasawneh, S. I. (2020). Control of Vibrations of Common Pedestrian Bridges in Jordan Using Tuned Mass Dampers. *Procedia Manufacturing*, 44(2019), 36–43. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.202>
- Allen, D. E., & Murray, T. M. (1993). Design criterion for vibrations due to walking. *American Institute of Steel Construction*, 30(93), 117–129.
- Bachroni, C. B. (2015). Penanggulangan Getaran Pada Pelat Lantai Beton Bertulang. *Jurnal Permukiman*, 10(1), 1–10.
- Beben, D., Anigacz, W., & Bobra, P. (2017). Evaluation of the traffic impact on residential building. *MATEC Web of Conferences*, 107. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201710700063>
- Cecep Bakheri Bachroni. (2015). PENANGGULANGAN GETARAN PADA PELAT LANTAI BETON BERTULANG Overcoming Vibration Problems In Reinforced Concrete Floor Slabs System. *Jurnal Permukiman*, 10(1), 1–10.
- De Alcântara Segundinho, P. G., Dias, A. A., & Carreira, M. R. (2011). Evaluating vibrations on a small-scale model of a timber footbridge. *Maderas: Ciencia y Tecnologia*, 13(2), 143–152. <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2011000200002>

- Hao, Y., Qi, H., Liu, S., Nian, V., & Zhang, Z. (2022). Study of Noise and Vibration Impacts to Buildings Due to Urban Rail Transit and Mitigation Measures. *Sustainability (Switzerland)*, 14(5), 1–18. <https://doi.org/10.3390/su14053119>
- ISO 2631-2, 2022. Mechanical Vibration and Shock — Evaluation of Human Exposure to Whole Body Vibration — Part 2: Vibration In Buildings (1 Hz to 80 Hz)
- Joko Siswanto, Y. I. W. (2011). Pengaruh Getaran Dan Karakteristik Lalu Lintas Ter. 32(2), 99–105.
- Kowalska-Koczwara, A., Pachla, F., & Nering, K. (2021). Environmental Protection Against Noise and Vibration. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1203(3), 032026. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1203/3/032026>
- Leissa, A.W., and Qatu, M. . (2011). *Vibrations of Continuous Systems (Vol. 4)*.
- Li, K., & Darby, A. P. (2006). An experimental investigation into the use of a buffered impact damper. *Journal of Sound and Vibration*, 291(3–5), 844–860. <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2005.06.043>
- Major, M., Minda, I., & Major, I. (2017). Dynamic Numerical Analysis of Steel Footbridge. *Civil and Environmental Engineering*, 13(1), 58–66. <https://doi.org/10.1515/cee-2017-0007>
- Menteri Negara Lingkungan Hidup. (1996). Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No . 15 Tahun 1996 Tentang : Baku Tingkat Getaran. Program, 49, 15. [https://baristandsamarinda.kemenperin.go.id/download/KepMenLH49\(1996\)-Baku_Tingkat_Getaran.pdf](https://baristandsamarinda.kemenperin.go.id/download/KepMenLH49(1996)-Baku_Tingkat_Getaran.pdf)
- Morib, M. A. (2018). Peningkatan Frekuensi Alami Struktur Dengan Variasi Penempatan Dinding Geser. 2(1), 44–51.
- Nasution, Z. (2017). PERENCANAAN FVD (Fluid Viscous Damper) PADA STRUKTUR BANGUNAN BAJA. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- Picauly, F., Priyosulistyo, H., Suhendro, B., & Triwiyono, A. (2017). Influence of Vibration of Human Activity Upon a Simple Supported Slab with Tuned Mass Damper (TMD) and Fiber Reinforced Rubber (FRR) Absorber. *Procedia Engineering*, 171, 1186–1193. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.01.486>
- Prabowo, S., & Rusmana, D. (2020). Efek Getaran dengan Frekuensi Alami pada Komposit Unsaturated Polyester-Fiberglass Metode Hand Layup terhadap Sifat Mekanik Bending. *Jurnal Inovasi Dan Teknologi Material*, 1(2), 7–10. <https://doi.org/10.29122/jitm.v1i2.3829>
- Prakash, S and Puri, V. 2006. Foundation for vibrating machines. *The Journal of Struktural Enggining*. SERC. Madras. India.
- Purwanto, B., Zulfachmi, , Zulfachmi, & Budi Purwaka, P. (2022). Pengukuran Getaran Mekanik Berdasarkan Jenis Bangunan. *Jurnal Ecolab*, 16(1), 31–38. <https://doi.org/10.20886/jklh.2022.16.1.31-38>
- Riantana, R., Darsono, D., & Triyono, A. (2017). Penentuan Nilai Frekuensi Natural Bangunan UPT Perpustakaan UNS dengan Sensor Accelerometer pada Handphone Android. *Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*, 13(3), 97. <https://doi.org/10.12962/j24604682.v13i3.2838>
- Sakiyama, F. I. H., Lehmann, F., & Garrecht, H. (2018). Czech Society for Nondestructive Testing VIBRATION MONITORING OF A TELECOMMUNICATION BASE STATION BUILDING ACCORDING TO THE STANDARDS DIN 4150-3 AND ETSI EN 300 019-1-3 Vibration monitoring according to DIN-4150-3. 89–96.
- Sunandar, A., & Mulyani, S. Y. (2017). Evaluasi Pengaruh Getaran Kendaraan Truk dan Variasi Jarak terhadap Kerusakan Bangunan. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Sipil*, 14(2), 11–19. <https://doi.org/10.30630/jirs.14.2.102>
- Wahyuni, E. (2010). RELATIONSHIP BETWEEN STATIC AND DYNAMIC DISPLACEMENTS by Endah Wahyuni a. 30(2), 61–68.
- Wahyuni, E. (2012). Studi Kelakuan Dinamis Struktur Jembatan Penyeberangan Orang (JPO) Akibat Beban Individual Manusia Bergerak. *Jurnal Teknik Sipil*, 19(3), 181. <https://doi.org/10.5614/jts.2012.19.3.1>
- Zanon, R. (2019). Floor vibration behavior of car park structures – Assessment of different steel concrete solutions. *COMPdyn Proceedings*, 3, 4188–4200. <https://doi.org/10.7712/120119.7218.19619>

Zheng, Y., Lai, Y., Lin, G., & Lin, C. (2017). Reduction of Floor Vibration Due to Human Activity by Multiple Tuned Mass Dampers. *Advances in Structural Engineering and Mechanics (ASEM17)*, 13.