

Perancangan Alat Getar melalui Pemanfaatan Motor AC sebagai Mekanisme Getar

Erwani Merry Sartika*, Cindrawati Lesmana, Novie Theresia Br. Pasaribu, Arvin Ezekiel Denri Utama, Elia Moses

Program Studi Teknik Elektro,
Fakultas Teknologi dan Rekayasa Cerdas,
Universitas Kristen Maranatha, Bandung
*erwani.ms@eng.maranatha.edu

Abstrak

Gempa bumi adalah fenomena alam yang memengaruhi respons bangunan terhadap getaran. Simulasi menggunakan alat getar, yang memungkinkan pengujian struktur bangunan dengan tingkat getaran yang menyerupai kondisi gempa. Penelitian ini berfokus pada desain alat getar yang memanfaatkan motor AC sebagai mekanisme getar dengan pengaturan getaran menggunakan *variable speed drive* (VSD). Pengaturan kecepatan motor melalui VSD memungkinkan pengaturan frekuensi dan amplitudo getaran. Desain dari alat getar berfokus pada dominan pada arah z, namun tetap ada pengaruh terhadap gerakan arah x dan y, seperti yang terjadi pada kondisi nyata. Desain dengan memanfaatkan motor AC tipe induksi sebagai beban sekaligus sebagai pengatur getaran menjadi usulan desain yang berbeda dengan desain alat getar lainnya. Sensor mikrobit sebagai alat umpan balik (*feedback*) untuk mendeteksi gerakan alat getar ini untuk memantau getaran. Hasil data pengamatan menunjukkan telah terealisasi prototipe alat getar dengan frekuensi getar 9%-12% dari 50 Hz. Peletakan sensor di permukaan alat getar memengaruhi kestabilan getaran. Pada peletakan di pusat alat getar lebih stabil pada simpangan arah x dan y dengan frekuensi getar 9%, 10%, dan 11% terhadap 50 Hz, menunjukkan getaran arah z yang lebih dominan. Untuk frekuensi lebih besar atau sama dengan 12% dari 50 Hz, simpangan keseluruhan makin membesar dan tidak stabil.

Kata kunci: alat getar, motor AC, VSD

Abstract

Earthquakes are natural phenomena that affect the response of buildings to vibrations. Simulations use vibrating devices, which allow for testing building structures with vibration levels resembling earthquake conditions. This research focuses on designing a vibrating device that utilizes an AC motor as a vibrating mechanism with vibration control using a Variable Speed Drive (VSD). Motor speed control through the VSD enables adjustments to the frequency and amplitude of vibrations. The design of the vibrating device primarily focuses on the z-direction, but there are still effects on the x and y directions, as observed in real conditions. The design, utilizing an induction-type AC motor as both a load and a vibration controller, proposes a different approach compared to other vibrating devices. A mikrobit sensor is used as a feedback tool to detect the movement of the vibrating device to monitor vibrations. Observation data shows the realization of a vibrating device prototype with a vibration frequency of 9%-12% of 50 Hz. The placement of the sensor on the surface of the vibrating device affects vibration stability. Placing the vibrator at the center is more stable in the x and y directions with vibration frequencies of 9%, 10%, and 11% relative to 50 Hz,

indicating a more dominant vibration in the z direction. For frequencies greater than or equal to 12% of 50 Hz, the overall displacement increases and becomes unstable

Keywords: vibrating device, AC motor, variable speed drive

1. Pendahuluan

Gempa bumi merupakan fenomena alam yang dapat menyebabkan kerusakan besar pada bangunan dan infrastruktur [1]. Oleh karena itu, penting untuk memahami respon bangunan akibat getaran yang dihasilkan oleh gempa. Salah satu metode untuk mempelajari respons ini adalah melalui simulasi uji getar [2], yaitu struktur bangunan diuji dengan berbagai tingkat getaran yang menyerupai kondisi gempa. Universitas, lembaga penelitian, dan perusahaan konstruksi menggunakan alat uji getar untuk mengembangkan dan menguji desain bangunan baru, material inovatif, dan teknologi konstruksi yang lebih aman. Uji getar membantu ilmuwan dan insinyur memahami bahwa bangunan bereaksi terhadap gaya dinamis, sehingga dapat meningkatkan desain untuk keselamatan dan daya tahan. Alat uji getar digunakan dalam simulasi gempa pada model skala kecil bangunan di laboratorium [3]. Alat ini memungkinkan insinyur untuk mempelajari respons bangunan terhadap gempa dalam kondisi terkontrol sebelum diterapkan pada bangunan nyata.

Meja getar umumnya dirancang untuk gerakan ke arah horisontal [4] dan pengembangan saat ini meja getar modern sudah dirancang untuk menghasilkan getaran ke arah horisontal, vertikal, dan kombinasi keduanya [5]. Pada penelitian ini dirancang getaran yang lebih dominan ke arah vertikal, walaupun tetap ada getaran horisontal yang memengaruhi seperti layaknya gempa sesungguhnya. Desain dari meja getar difokuskan ke arah vertikal karena akan memengaruhi interaksi antara pondasi bangunan dan tanah dibawahnya. Selain itu, lantai atau atap memiliki frekuensi alamiah yang rentan terhadap gerakan vertikal dan secara signifikan juga memengaruhi kenyamanan terutama pada lantai yang lebih tinggi [6].

Pengendalian getaran aktif adalah penelitian yang mengeksplorasi motor listrik, termasuk motor AC yang digunakan untuk pengendalian getaran dalam berbagai aplikasi. Teknik pengendalian getaran aktif, seperti injeksi arus, dapat membantu mengurangi getaran yang disebabkan oleh operasi motor, sehingga penggunaan motor AC untuk simulasi gempa dapat diterapkan dengan menambahkan sistem kontrol untuk menghasilkan getaran yang diinginkan [5]. Perancangan alat getar menggunakan pengendalian getaran aktif masih relatif terbatas jika dibandingkan dengan penelitian tentang pengendalian getaran pasif. Beberapa perancangan yang secara khusus membahas perancangan alat getar dengan pengendalian getaran aktif untuk tujuan tertentu, seperti simulasi gempa atau aplikasi lain yang spesifik, masih dalam tahap pengembangan atau penelitian lebih lanjut. Beberapa studi yang telah diulas menyoroti pentingnya teknik ini dalam mengurangi getaran dan meningkatkan stabilitas, tetapi tidak dalam konteks khusus alat getar [7].

Untuk mendapatkan kinerja getaran yang dihasilkan, pengaturan kecepatan motor menggunakan *variable speed drive* (VSD) memungkinkan pengaturan frekuensi dan amplitudo getaran sesuai kebutuhan operasional [8]. Selain itu, VSD selanjutnya dapat digunakan untuk membantu proses yang membutuhkan pengendalian getaran yang dapat lebih efisien dalam hal energi [9], serta mengurangi risiko kerusakan pada mesin akibat getaran yang tidak terkendali. Pada penelitian ini, VSD digunakan untuk mengatur kecepatan motor sehingga dapat menghasilkan berbagai respon getaran yang diinginkan.

Sensor Mikrobit digunakan sebagai *feedback* dari hasil getaran yang memiliki digunakan untuk mendeteksi gerakan (akselerometer) [10], mendeteksi medan magnet (magnetometer). Selain sebagai sensor, mikrobit juga sekaligus sebagai kontroler yang dapat diprogram menggunakan berbagai bahasa, termasuk Python dan JavaScript.

Oleh karena itu, penelitian ini fokus pada desain alat getar yang memanfaatkan motor AC sebagai mekanisme getar dengan pengaturan getaran menggunakan VSD, serta mengeksplorasi berbagai keuntungan yang dapat diperoleh dari desain alat getar ini.

2. Tinjauan Pustaka

2.1. Sensor Accelerometer dan Mikrobit

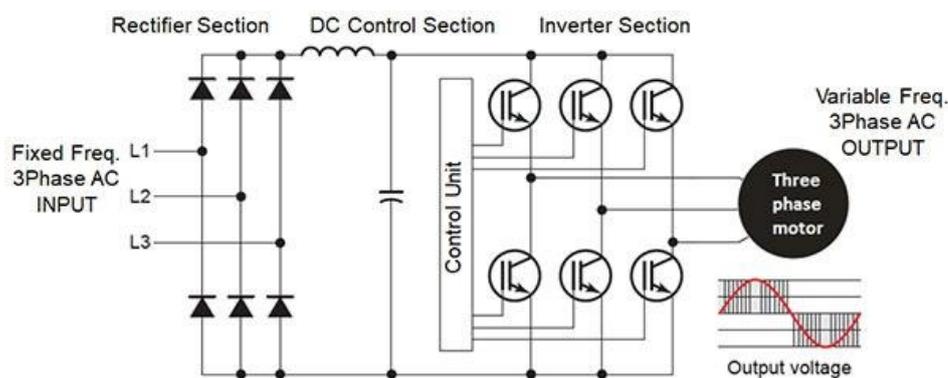
Sensor *accelerometer* adalah sebuah komponen elektronik yang digunakan untuk mengukur percepatan linear atau gerakan getaran dalam tiga arah, yaitu sumbu X, Y, dan Z [11]. Sensor *accelerometer* bekerja berdasarkan prinsip efek piezoelektrik atau efek kapasitif, yaitu perubahan

percepatan dapat menghasilkan tegangan listrik atau kapasitansi yang berubah pada sensor. Sensor *accelerometer* sering digunakan pada berbagai aplikasi yang membutuhkan pemantauan gerakan atau getaran, seperti pada kendaraan bermotor, alat medis, peralatan industri, ponsel cerdas, perangkat *game*, dan lainnya. Sensor *accelerometer* juga dapat digunakan bersama dengan sensor lain, seperti giroskop, untuk mengukur rotasi atau gerakan kompleks dalam tiga dimensi [12].

Mikrobit adalah komputer ukuran saku yang dikembangkan oleh BBC untuk digunakan dalam Pendidikan. Mikrobit terdiri atas berbagai sensor, seperti *accelerometer* untuk mendeteksi gerakan, magnetometer untuk mendeteksi medan magnet, dan dapat diprogram berbagai bahasa, termasuk Python dan JavaScript. Mikrobit juga dilengkapi dengan lima tombol, layar LED matrix 5x5, pemancar/penerima radio, dan *port* USB yang memungkinkan untuk menghubungkan perangkat ke komputer atau perangkat lain. Mikrobit dapat digunakan untuk mengukur getaran gempa dengan memanfaatkan sensor *accelerometer* yang sudah terintegrasi di dalamnya.

2.2. Motor AC dan Variable Speed Drive

Motor AC adalah motor listrik yang beroperasi menggunakan arus bolak-balik (*Alternating Current*). Terdapat dua jenis motor AC, yaitu motor sinkron dan motor induksi (asinkron) [11]. Motor sinkron beroperasi pada kecepatan tetap yang berbanding lurus dengan frekuensi sumber daya listrik. Rotor motor ini berputar dalam sinkronisasi dengan frekuensi arus bolak-balik. Motor sinkron biasanya digunakan pada aplikasi yang membutuhkan kontrol kecepatan yang sangat presisi. Sementara itu, motor induksi adalah jenis motor AC yang paling umum. Kecepatan rotornya sedikit lebih rendah dari kecepatan sinkron. Keunggulan motor AC terutama motor induksi, dikenal memiliki efisiensi tinggi dalam konversi energi, relatif mudah dirawat karena tidak memiliki komponen sikat atau komutator yang cepat aus, dapat memberikan torsi yang kuat bahkan pada kecepatan rendah.

Gambar 1. Skematik *variable speed drive* (VSD)

VSD adalah perangkat elektronik yang digunakan untuk mengontrol kecepatan dan torsi motor listrik, terutama motor AC, dengan mengatur frekuensi dan tegangan yang diberikan ke motor tersebut. Frekuensi yang lebih tinggi akan meningkatkan kecepatan motor, sementara frekuensi yang lebih rendah akan menurunkannya. Dengan mengatur kecepatan motor sesuai dengan kebutuhan beban, VSD membantu menghemat energi [9]. Prinsip kerja VSD, yaitu mengubah tegangan AC (*alternating current*) dari sumber listrik menjadi DC (*direct current*) melalui proses yang disebut "rectification" [11]. VSD bekerja dengan mengubah arus AC menjadi arus DC melalui *rectifier*, menyimpan tegangan DC pada DC bus, kemudian mengubahnya kembali menjadi arus AC tiga fase dengan frekuensi variabel melalui *inverter*. Frekuensi *output* dikendalikan oleh *control unit*, yang menerima *input* dari operator atau sensor, dan akhirnya motor tiga fase berputar sesuai dengan frekuensi dan tegangan yang diatur oleh VSD. Hal ini memungkinkan motor untuk beroperasi dengan kecepatan variabel yang presisi sesuai kebutuhan aplikasi seperti ditunjukkan pada Gambar 1.

2.3. Frekuensi Gempa pada Bangunan dan Struktur

Gempa yang berdampak pada bangunan dan struktur umumnya melibatkan getaran dan pergerakan tanah yang dapat menyebabkan kerusakan atau bahkan kehancuran, tergantung pada beberapa faktor [13]. Salah satu faktor penting yang memengaruhi dampak gempa terhadap bangunan dan struktur adalah frekuensi dan jarak dari pusat gempa [14]. Frekuensi gempa biasanya diukur dalam rentang tertentu, tergantung pada jenis getarannya:

- a. Frekuensi rendah (0,01 hingga 1 Hz): Getaran ini sering dihasilkan oleh gempa besar dan gelombang permukaan, yang merambat lebih lambat tetapi merusak struktur.
- b. Frekuensi menengah (1 hingga 10 Hz): Umumnya, frekuensi ini terkait dengan gempa bumi yang terjadi pada kedalaman sedang atau dangkal. Bangunan dapat terpengaruh oleh gelombang dengan frekuensi ini.
- c. Frekuensi tinggi (di atas 10 Hz): Gelombang ini biasanya dihasilkan oleh gempa kecil atau getaran yang sangat cepat. Gelombang ini cenderung memengaruhi benda-benda kecil atau struktur yang lebih kaku.

Rentang frekuensi gempa yang berdampak pada bangunan dan struktur biasanya berkisar antara 0,1 Hz hingga 10 Hz, dengan efek bervariasi tergantung pada desain dan material bangunan tersebut [15]. Selain itu, bangunan yang lebih dekat dengan episenter gempa akan merasakan getaran lebih kuat, sehingga lebih rentan terhadap kerusakan dan sebaliknya bangunan yang jauh dari episenter akan merasakan getaran yang lebih lemah.

3. Metode Penelitian

Pada proses perancangan alat getar melalui pemanfaatan motor AC sebagai mekanisme getar terdapat beberapa tahapan yang ditunjukkan pada Gambar 1. Perencanaan diikuti oleh studi literatur sangat dibutuhkan untuk proses penelitian, untuk mengetahui original dari penelitian yang dilakukan.



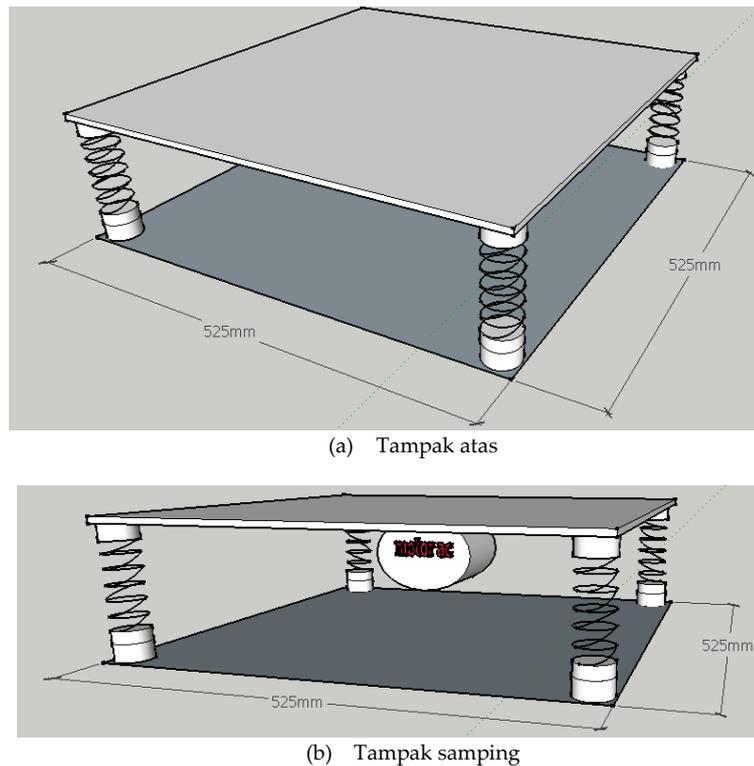
Gambar 2. Flowchart penelitian

Perancangan dilakukan setelah melalui proses studi literatur yang terdiri dari desain alat getar yang akan dibuat, dan merancang pengontrol agar diperoleh *output* yang diinginkan. Beberapa komponen yang digunakan untuk realisasi alat getar, diantaranya bahan yang digunakan, ukuran, peletakan komponen menjadi dasar dari desain alat getar. Untuk pengendalian alat getar digunakan motor AC, VSD, dan sensor *accelerometer* menggunakan mikrobit. VSD di-*setting* pada frekuensi *output* 50 Hz, tegangan *output* (0V - 220V). Pengaturan ini memungkinkan motor AC dikendalikan secara fleksibel dan tepat, sehingga bisa digunakan sebagai mekanisme penghasil getaran. Mikrobit akan membaca getaran yang diberikan oleh motor AC, berupa posisi x , y , z , untuk dianalisis. Hasil data pengamatan dan analisis digunakan untuk mendapatkan kesimpulan dan rencana pengembangan selanjutnya. Flowchart penelitian ditunjukkan pada Gambar 2.

4. Hasil dan Pembahasan

Alat getar dirancang agar bergetar lebih banyak ke arah vertikal (sumbu z), sedangkan ke arah x dan y tetap ada namun tidak berpengaruh terlalu besar. Hal ini karena fokus penelitian diarahkan untuk mengendalikan alat getar ke arah vertikal (umumnya penelitian lain lebih ke arah x dan y), sehingga dapat menambah kontribusi bagi simulasi gempa ke arah vertikal yang lebih dominan. Alat getar dirancang berukuran 52,5 cm x 52,5 cm dengan

penambahan pegas pada keempat sudutnya berdiameter 5 cm. Alat getar diberi beban berupa motor AC yang berputar dengan dikendalikan oleh VSD. Posisi motor AC dipasang menggantung pada alat getar, sehingga motor AC selain digunakan sebagai beban pada permukaan getar, juga saat berputar akan menggerakkan permukaan yang dapat dikendalikan oleh VSD getarannya. Alat getar dirancang untuk frekuensi 9% sampai dengan 12% dari 50 Hz. Rancangan alat getar ditunjukkan pada Gambar 3, yaitu (a) tampak atas dan (b) tampak samping.



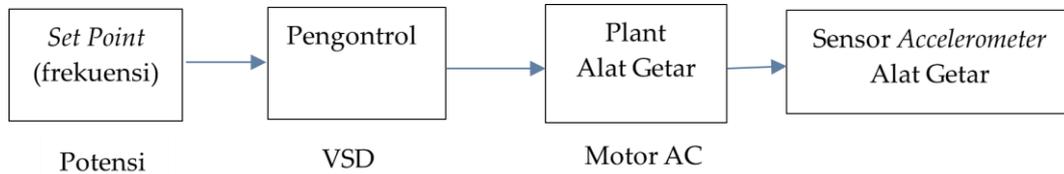
Gambar 3. Desain alat getar (a) tampak atas (b) tampak samping

4.1 Perancangan Sistem Kontrol Alat Getar

Alat getar dioperasikan dengan menggerakkan beban berupa motor AC tipe induksi yang dipasang di belakang permukaan getar. Saat motor berputar, ia menghasilkan getaran pada alat, dengan simpangan yang terjadi pada arah z , yang berfungsi untuk mensimulasikan gelombang gempa sebagai pengganti sumber gempa asli. Gambar 3 menunjukkan sistem kontrol *open loop* yang dirancang untuk alat getar ini. Dalam sistem ini, *set point* dimasukkan ke dalam VSD, yang digunakan untuk mengendalikan motor AC sesuai dengan nilai *set point* yang diinginkan. Dengan mengatur VSD, kecepatan putaran motor dapat dikendalikan secara presisi, sehingga getaran yang dihasilkan sesuai dengan parameter yang di-input-kan pada *set point*.

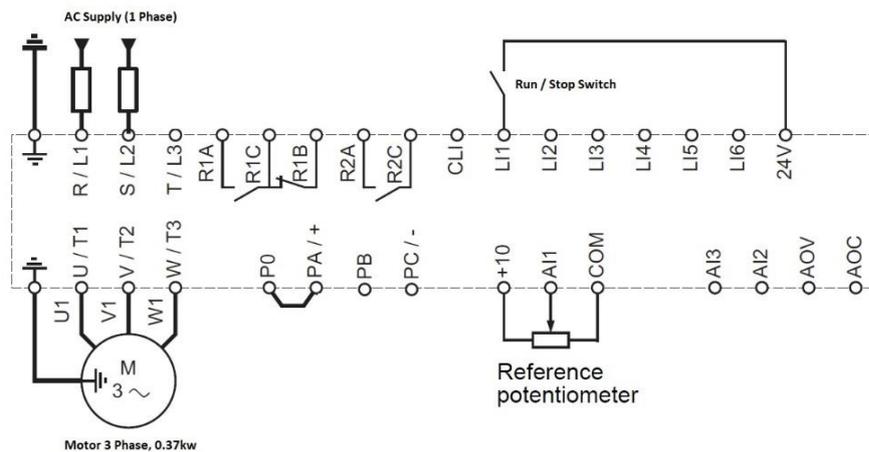
VSD berperan penting dalam sistem ini dengan mengonversi sinyal listrik *input* menjadi frekuensi dan tegangan yang sesuai, yang menentukan kecepatan putaran motor. Ketika motor AC berputar, energi ditransmisikan ke permukaan getar, menyebabkan osilasi harmonik yang meniru aktivitas seismik alami. Sifat sistem kontrol *open-loop* ini berarti bahwa motor beroperasi tanpa mekanisme umpan balik, hanya mengandalkan *set point* awal untuk menentukan kecepatannya. Hal ini memungkinkan amplitudo dan frekuensi getaran disesuaikan sesuai kebutuhan eksperimen, sehingga sistem menjadi fleksibel untuk berbagai pengujian getaran. Namun, karena tidak adanya umpan balik,

setiap penyimpangan dalam kinerja motor atau gangguan eksternal tidak dikoreksi secara *real-time*, sehingga kalibrasi awal yang akurat menjadi penting untuk menghasilkan hasil yang baik.



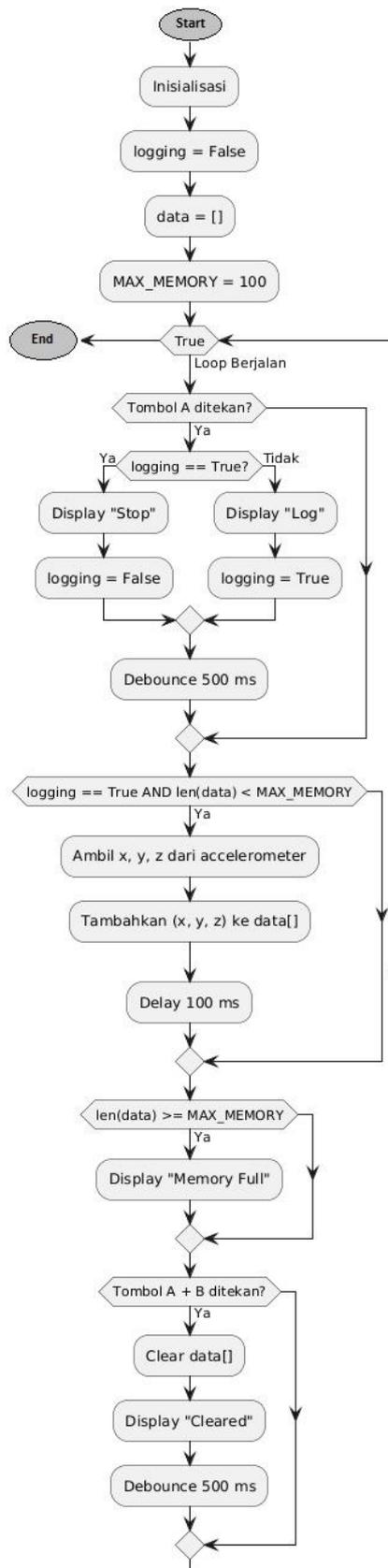
Gambar 3. Blok diagram sistem kontrol alat getar

Potensiometer digunakan sebagai pengatur *set point* untuk menentukan frekuensi getar yang diinginkan pada sistem. Ketika nilai *set point* ini diatur (manual), potensiometer mengirimkan sinyal ke VSD, yang kemudian mengolah sinyal tersebut untuk menghasilkan sinyal kontrol yang dikirim ke motor AC. VSD akan menyesuaikan *output* sehingga motor AC berputar sesuai dengan frekuensi yang telah diatur pada *set point* melalui potensiometer. Dengan cara ini, sistem mampu mengatur kecepatan putaran motor dan, pada gilirannya, menghasilkan getaran sesuai dengan frekuensi yang diinginkan.



Gambar 4. Wiring pengontrol alat getar dengan potensiometer dan motor AC

Untuk memantau hasil keluaran dari getaran yang dihasilkan oleh alat getar, sebuah mikrobit digunakan untuk membaca data akselerasi getaran yang terjadi pada *plant* (alat getar). Mikrobit ini berfungsi sebagai sensor yang mengukur getaran dan memperkirakan nilai akselerasi getaran yang dihasilkan, memberikan gambaran kuantitatif mengenai intensitas dan karakteristik getaran tersebut. Data akselerasi yang dikumpulkan oleh mikrobit ini sangat penting untuk menganalisis kinerja alat getar dan memastikan bahwa frekuensi dan amplitudo getaran sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan.



Gambar 5. Flowchart pengambilan data dari mikrobit

Gambar 4 menunjukkan *wiring diagram* yang menunjukkan VSD (pengontrol) terhubung dengan potensiometer dan motor AC satu fasa yang terpasang pada alat getar. Dalam diagram tersebut, jalur koneksi dari potensiometer ke VSD ditampilkan dengan jelas, mengilustrasikan sinyal *set point* frekuensi getar dikirimkan dari potensiometer ke VSD. Selain itu, diagram juga memperlihatkan hubungan antara VSD dan motor AC, yang memungkinkan motor untuk menerima sinyal kontrol dan menghasilkan putaran yang sesuai dengan perintah frekuensi dari *set point*. Diagram *wiring* ini memberikan gambaran tentang komponen-komponen tersebut saling berinteraksi untuk menghasilkan sistem getaran yang terkontrol dengan baik.

Pembacaan data getaran pada mikrobit bisa dilakukan dengan menggunakan sensor *accelerometer* bawaan, yang mampu mendeteksi perubahan percepatan akibat getaran. Mikrobit memiliki sensor *accelerometer* tiga sumbu (X, Y, Z) yang dapat mengukur percepatan dalam *g-force*. Nilai percepatan ini dapat digunakan untuk mendeteksi getaran. *Flowchart* dari proses pengambilan data oleh mikrobit ditunjukkan pada Gambar 5. Inisialisasi awal diberikan sebagai kondisi awal, kemudian tombol A ditekan untuk menunjukkan pengambilan data dimulai dan sensor membaca setiap 100 ms nilai X, Y, dan Z, dan bila data melebihi memori maksimum, maka akan diperiksa tombol B ditekan (berarti A dan B ditekan keduanya) maka data di memori akan dihapus.

Pengujian alat sumber gempa dilakukan dengan meletakkan sensor mikrobit (sensor *accelerometer*) di berbagai posisi yang berbeda pada alat tersebut, dengan tujuan untuk mengidentifikasi dan memahami pengaruh variasi posisi sensor terhadap pengukuran dan kinerja keseluruhan alat sumber gempa. Setiap posisi sensor diuji untuk menganalisis bahwa perubahan lokasi sensor memengaruhi akurasi dan sensitivitas dalam mendeteksi getaran yang dihasilkan oleh alat sumber gempa. Pengujian ini bertujuan untuk menentukan posisi optimal sensor yang dapat memberikan hasil pengukuran paling akurat dan responsif terhadap variasi getaran.

Selain itu, data hasil pembacaan dari sensor tersebut dikumpulkan dan disajikan dalam bentuk grafik. Grafik-grafik ini memberikan representasi visual dari intensitas dan pola getaran yang terdeteksi di setiap posisi sensor. Data numerik serta grafik yang dihasilkan kemudian dianalisis untuk mengidentifikasi tren, kesalahan pengukuran, dan pengaruh faktor-faktor tertentu seperti jarak sensor dari sumber getaran, orientasi sensor, dan lingkungan di sekitar alat. Analisis ini penting untuk menilai efektivitas penempatan sensor dan memvalidasi hasil pengujian.



Gambar 6. Realisasi alat getar

Gambar 6 menampilkan realisasi fisik dari alat getar yang digunakan dalam pengujian ini, memperlihatkan komponen-komponen seperti motor, permukaan getar, dan sensor-sensor diintegrasikan dalam satu sistem yang bekerja secara sinergis. Gambar tersebut juga memberikan gambaran visual tentang tata letak dan posisi sensor, serta alat getar berfungsi dalam menghasilkan dan mengukur getaran, sehingga membantu memberikan pemahaman yang lebih jelas mengenai struktur dan operasional alat sumber gempa yang diuji.

4.2 Pengambilan Data dan Analisis Data

Proses pengambilan data untuk mengetahui pengaruh letak sensor pada alat sumber gempa terlihat secara lebih rinci pada Gambar 6. Dalam pengujian ini, tiga lokasi sensor dipilih untuk mengamati variasi pengukuran getaran berdasarkan perbedaan posisi. Lokasi sensor yang diambil meliputi:

- a. Posisi tengah/pusat alat sumber gempa – sensor ditempatkan tepat di pusat alat, bertujuan untuk menangkap getaran yang menyebar secara simetris dari sumber getaran.
- b. Posisi tengah/pusat atas alat sumber gempa – sensor ditempatkan pada bagian atas dari alat, namun tetap di sepanjang garis tengah. Posisi ini memungkinkan pengukuran getaran yang terjadi pada posisi lebih tinggi dari pusat massa alat.
- c. Posisi atas kiri dari alat sumber gempa – sensor ditempatkan di sisi atas kiri alat, untuk melihat pengaruh letak sensor yang tidak simetris atau *off-center* terhadap deteksi getaran.

Alat sumber gempa digetarkan dengan empat tingkat getaran yang berbeda, yaitu sebesar 9%, 10%, 11%, dan 12% dari frekuensi dasar sebesar 50 Hz. Konversi ini menghasilkan frekuensi getaran masing-masing sebesar 4,5 Hz, 5 Hz, 5,5 Hz, dan 6 Hz. Alat sumber gempa menghasilkan frekuensi menengah gempa bumi yang umumnya terjadi pada kedalaman sedang atau dangkal. Frekuensi ini dipilih karena pada rentang tersebut getaran yang dihasilkan oleh alat masih stabil, sehingga data dapat diambil dengan baik. Stabilitas *plant* pada frekuensi-frekuensi ini memastikan bahwa alat dapat bekerja sesuai spesifikasi, tanpa adanya gangguan signifikan yang dapat menyebabkan data yang dihasilkan tidak akurat.

Getaran dengan intensitas di bawah 9% (4,5 Hz) dan di atas 12% (6 Hz) menghasilkan respons yang kurang stabil. Pada intensitas di bawah 9%, getaran menjadi terlalu lemah sehingga tidak menghasilkan sinyal yang konsisten, sementara pada intensitas di atas 12%, getaran menjadi terlalu kuat dan menyebabkan ketidakstabilan pada *plant*, membuat sistem sulit dikendalikan. Oleh karena itu, pengujian difokuskan pada rentang 9% hingga 12%, yang dianggap optimal untuk menghasilkan data yang *valid* dan stabil. Data yang diambil dari tiga posisi sensor pada empat tingkat getaran ini kemudian dianalisis untuk memahami pengaruh letak sensor terhadap pengukuran getaran, serta lokasi sensor untuk memonitor performa alat sumber gempa.



(a) Peletakan sensor di pusat alat sumber gempa



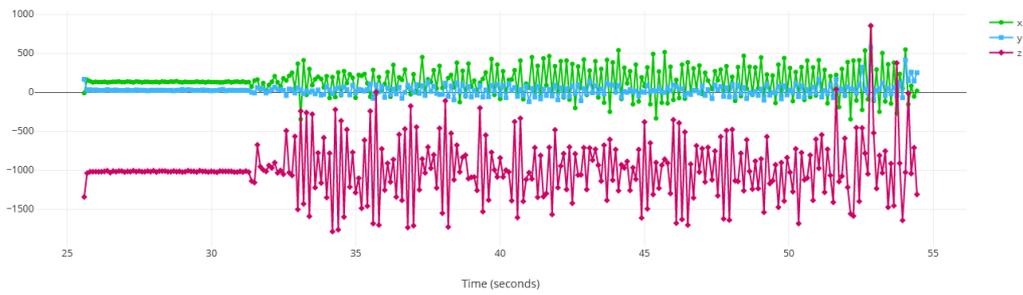
(b) Peletakan sensor di atas pusat alat sumber gempa



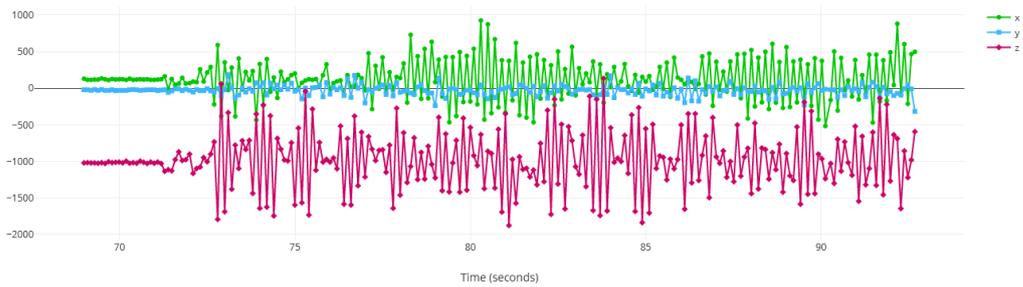
(c). Peletakan sensor di pinggir atas alat sumber gempa

Gambar 7. Peletakan berbagai posisi sensor pada alat sumber gempa

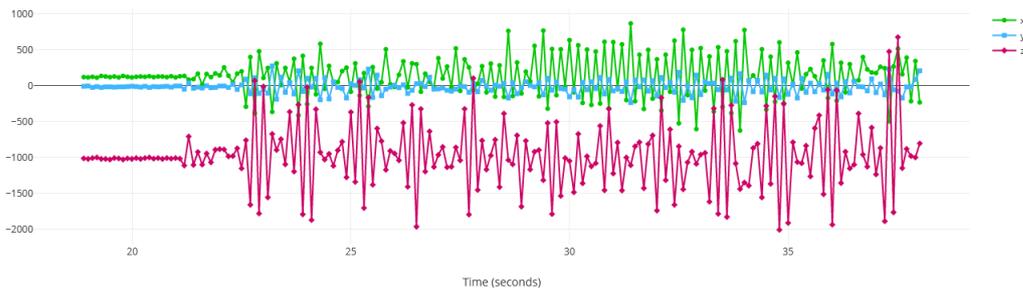
Setelah posisi peletakan sensor, seperti ditunjukkan pada Gambar 7, maka dianalisis hasil getaran yang diperoleh oleh sensor *accelerometer* yang terdapat pada mikrobit. Satuan dari pengukuran amplitudo sensor mikrobit adalah mg (miligravitasi) dimana 1 g adalah percepatan sebesar $9,8 \text{ m/s}^2$ (percepatan gravitasi bumi), dan 1 mg berarti 0,001 g, atau setara dengan $0,0098 \text{ m/s}^2$. Nilai negatif dari miligravitasi (mg) menunjukkan bahwa arah getaran atau percepatan gravitasi berlawanan dengan arah yang dianggap positif. Dalam konteks pengukuran getaran, nilai negatif dapat diartikan sebagai getaran atau percepatan yang bergerak ke arah yang berlawanan dengan arah referensi positif. Adapun datanya ditunjukkan pada grafik Gambar 8, Gambar 9, Gambar 10, dan Gambar 11.



(a) Data hasil pembacaan sensor *accelerometer* pada posisi pusat dari alat sumber gempa dengan getaran pada 9% dari 50 Hz



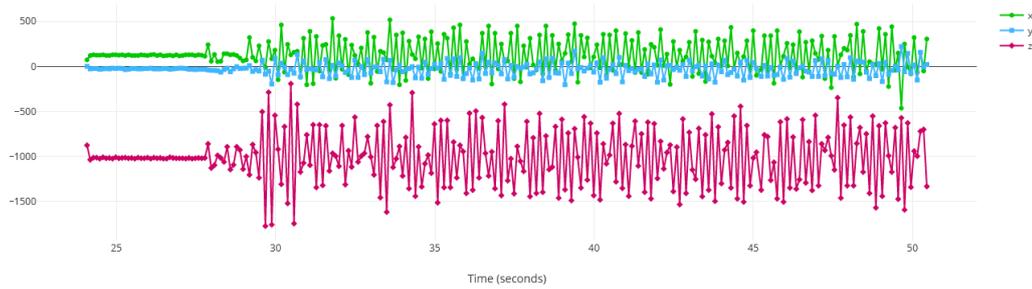
(b) Data hasil pembacaan sensor *accelerometer* pada posisi atas tengah dari alat sumber gempa dengan getaran pada 9% dari 50 Hz



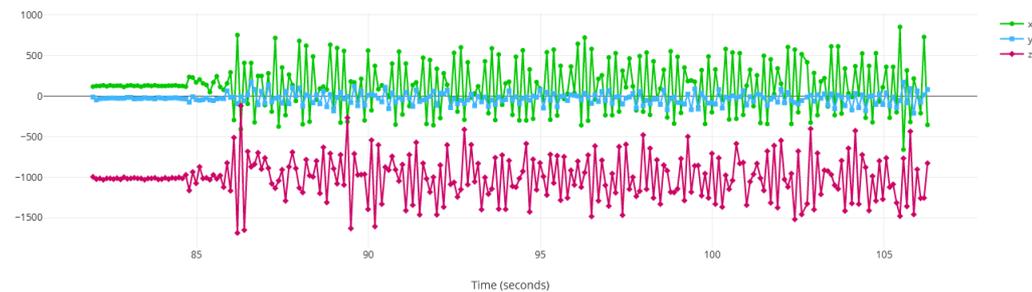
(c) Data hasil pembacaan sensor *accelerometer* pada posisi kiri atas dari alat sumber gempa dengan getaran pada 9% dari 50 Hz

Gambar 8. Data *accelerometer* pada tiga posisi (a) (b) (c) dari alat sumber gempa/getar dengan getaran 9% dari 50 Hz

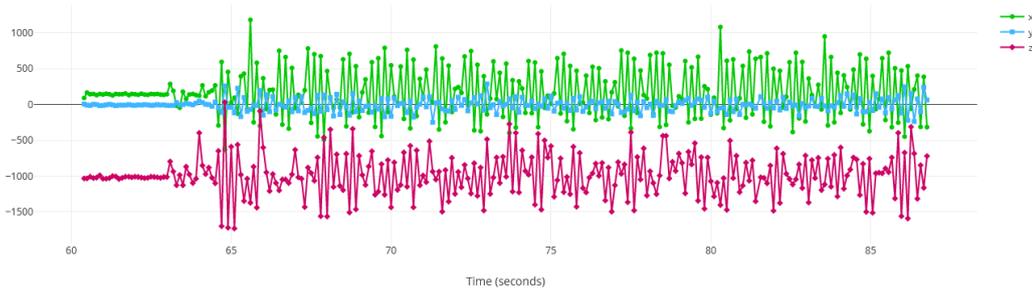
Dari Gambar 8 terlihat bahwa komponen x dan y saat sensor diletakkan di pusat alat getar, memiliki simpangan terkecil dibandingkan di atas tengah dan di kiri atas alat getar dengan getaran pada 9% dari 50 Hz, namun komponen z memiliki simpangan yang cukup bervariasi. Dari hasil ini dapat dianalisis bahwa pusat alat getar merupakan lokasi yang memberikan kestabilan terbaik untuk getaran di arah horizontal (x dan y), namun getaran di arah vertikal (z) masih menunjukkan dinamika yang perlu diperhatikan lebih lanjut, terutama saat frekuensi getar ditingkatkan atau diatur pada tingkat yang lebih tinggi. Analisis perbedaan simpangan ini memberikan wawasan penting tentang distribusi getaran di berbagai posisi pada alat getar dan memengaruhi hasil pengukuran di sumbu berbeda.



(a) Data hasil pembacaan sensor *accelerometer* pada posisi pusat dari alat sumber gempa dengan getaran pada 10% dari 50 Hz



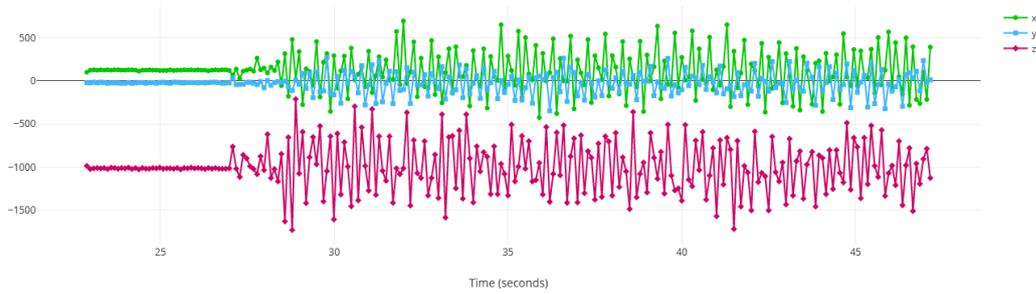
(b) Data hasil pembacaan sensor *accelerometer* pada posisi atas tengah dari alat sumber gempa dengan getaran pada 10% dari 50 Hz



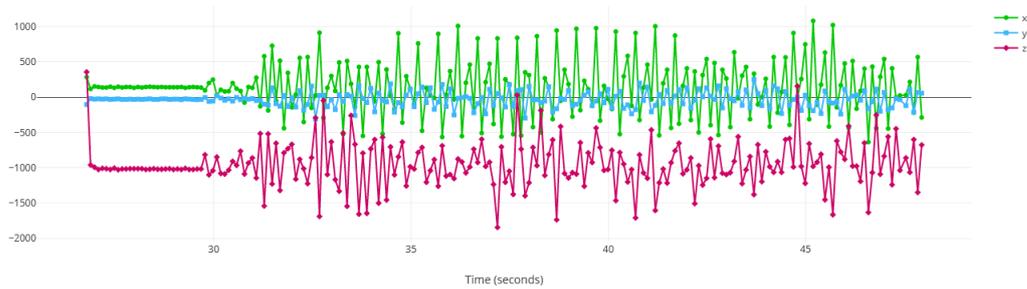
(c) Data hasil pembacaan sensor *accelerometer* pada posisi kiri atas dari alat sumber gempa dengan getaran pada 10% dari 50 Hz

Gambar 9. Data *accelerometer* pada tiga posisi dari alat sumber gempa /getar dengan getaran 10% dari 50 Hz

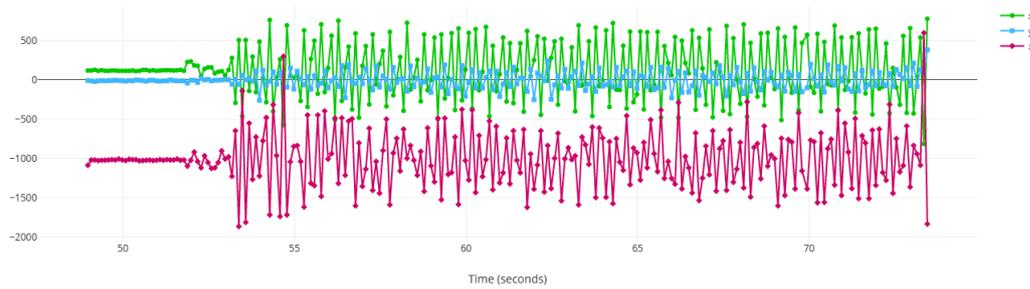
Dari Gambar 9 terlihat bahwa komponen x dan y saat sensor diletakkan di pusat alat getar, masih memiliki simpangan terkecil dibandingkan di atas tengah dan di kiri atas alat getar dengan getaran pada 10% dari 50 Hz, namun komponen z memiliki simpangan yang lebih stabil dibanding getaran pada 9% dari 50 Hz. Hasil analisis data menunjukkan bahwa pola yang konsisten adalah pada frekuensi 9% dari 50 Hz, yaitu pola pusat alat getar tetap menjadi lokasi yang paling stabil untuk komponen x dan y. Sementara simpangan komponen z, meskipun masih ada variasi, menjadi lebih stabil pada frekuensi 5 Hz. Hasil ini menunjukkan pentingnya pemilihan frekuensi yang tepat untuk menjaga kestabilan getaran pada berbagai arah, serta distribusi getaran dapat berubah dengan perubahan frekuensi.



(a) Data hasil pembacaan sensor *accelerometer* pada posisi pusat dari alat sumber gempa dengan getaran pada 11% dari 50 Hz



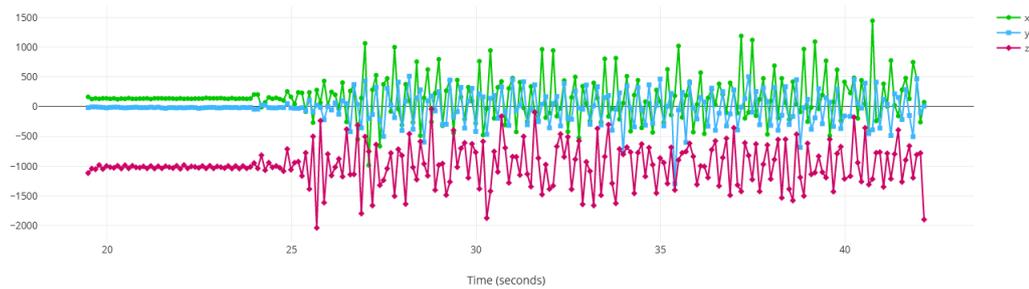
(b) Data hasil pembacaan sensor *accelerometer* pada posisi atas tengah dari alat sumber gempa dengan getaran pada 11% dari 50 Hz



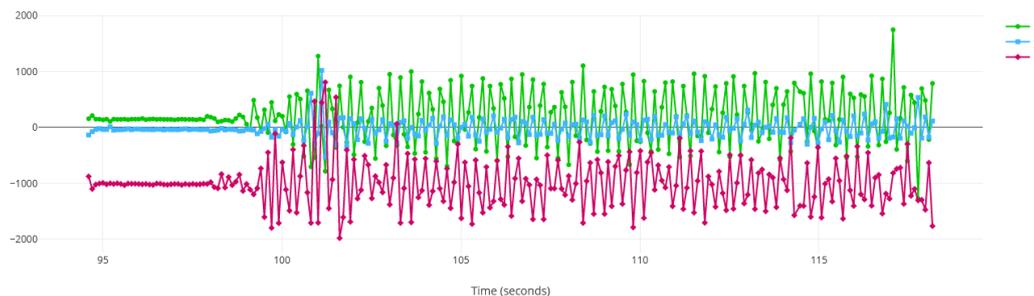
(c) Data hasil pembacaan sensor *accelerometer* pada posisi kiri atas dari alat sumber gempa dengan getaran pada 11% dari 50 Hz

Gambar 10. Data *accelerometer* pada tiga posisi dari alat sumber gempa/getar dengan getaran 11% dari 50 Hz

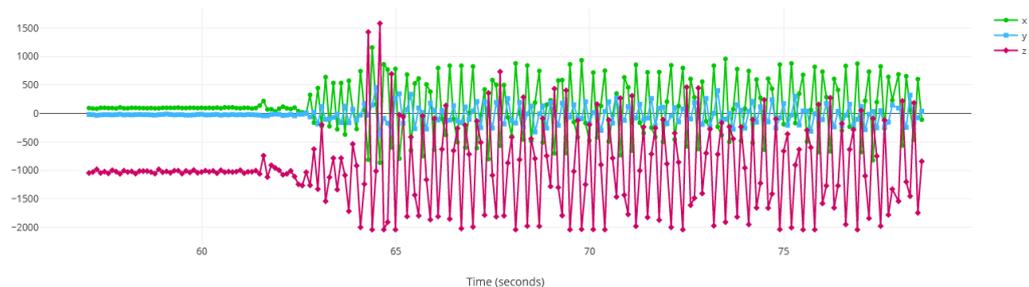
Dari Gambar 10 terlihat bahwa komponen x dan y saat sensor diletakkan di pusat alat getar, memiliki simpangan terkecil dibandingkan di atas tengah dan di kiri atas alat getar dengan getaran pada 11% dari 50 Hz, namun komponen z memiliki simpangan yang cukup bervariasi. Hasil analisisnya menunjukkan bahwa pusat alat getar tetap menjadi posisi yang paling stabil untuk mengukur getaran horizontal (komponen x dan y), tetapi getaran vertikal (komponen z) menunjukkan variasi simpangan yang lebih besar, yang menjadi semakin sulit dikendalikan pada frekuensi getaran 11% dari 50 Hz. Variasi ini penting untuk dianalisis lebih lanjut, terutama dalam memahami bagaimana distribusi getaran dalam arah vertikal memengaruhi performa keseluruhan alat getar pada berbagai posisi sensor dan frekuensi.



(a) Data hasil pembacaan sensor *accelerometer* pada posisi pusat dari alat sumber gempa dengan getaran pada 12% dari 50 Hz



(b) Data hasil pembacaan sensor *accelerometer* pada posisi atas tengah dari alat sumber gempa dengan getaran pada 12% dari 50 Hz



(c) Data hasil pembacaan sensor *accelerometer* pada posisi kiri atas dari alat sumber gempa dengan getaran pada 12% dari 50 Hz

Gambar 11. Data *accelerometer* pada tiga posisi (a) (b) (c) dari alat sumber gempa/getar dengan getaran 12% dari 50 Hz

Dari Gambar 11 terlihat bahwa komponen x dan y saat sensor diletakkan di pusat alat getar, memiliki simpangan mulai meningkat dan cukup besar dibandingkan posisi atas tengah dan kiri atas alat getar dengan getaran pada 12% dari 50 Hz, namun komponen z memiliki simpangan yang cukup bervariasi dan membesar. Hasil analisis menggambarkan dampak dari peningkatan frekuensi getaran pada alat sumber gempa, pusat tetap menunjukkan simpangan yang lebih besar pada komponen horizontal (x dan y), sementara komponen vertikal (z) menunjukkan variasi simpangan yang semakin meningkat. Hasil ini menegaskan pentingnya pemantauan dan analisis lebih lanjut terhadap perilaku getaran alat pada frekuensi yang lebih tinggi, serta dampaknya terhadap stabilitas dan efektivitas pengukuran getaran dalam aplikasi yang lebih luas.

Dari keseluruhan grafik, terlihat bahwa pengaruh peletakan sensor berpengaruh pada data hasil getaran. Peletakan sensor di pusat getar memberikan simpangan arah x dan y yang lebih stabil dan kecil di frekuensi getar 9%(4,5 Hz), 10%(5 Hz), dan 11%(5,5 Hz)

terhadap 50 Hz menunjukkan getaran arah z yang lebih dominan. Namun untuk getaran di frekuensi 12% dari 50 Hz (6Hz), simpangan keseluruhan, yaitu arah x, y, dan z, membesar sehingga dapat menjadi sangat tidak dapat stabil bila melebihi 12% dari 50 Hz. Perbedaan simpangan memberikan informasi tentang distribusi getaran di berbagai posisi pada alat getar dan memengaruhi hasil pengukuran di sumbu yang berbeda. Pentingnya pemilihan frekuensi dan posisi sensor untuk menjaga kestabilan getaran pada berbagai arah, serta pengaruhnya pada distribusi getaran.

5. Kesimpulan

Pada penelitian ini telah berhasil dirancang sebuah prototipe alat getar untuk frekuensi 9% sampai dengan 12% dari 50 Hz (4,5 Hz – 6 Hz). Alat getar berukuran 52,5 cm x 52,5 cm dengan penambahan pegas pada keempat sudutnya berdiameter 5 cm. Alat getar diberi beban menggunakan motor AC yang berputar dengan dikendalikan oleh VSD. Peletakan sensor berpengaruh pada data hasil getaran. Sensor diletakkan di pusat getar memberikan simpangan arah x dan y yang lebih stabil dan kecil di frekuensi getar 9%(4,5 Hz), 10%(5 Hz), dan 11%(5,5 Hz) terhadap 50 Hz menunjukkan getaran arah z yang lebih dominan. Untuk getaran di frekuensi 12% dari 50 Hz (6Hz), simpangan keseluruhan, yaitu arah x, y, dan z, membesar sehingga dapat menjadi sangat tidak dapat stabil bila melebihi 12% dari 50 Hz. Sistem kontrol *open loop* berhasil diterapkan untuk mengendalikan *plant* alat getar, sehingga dapat menggetarkan *plant* dengan cara mengatur putaran dan beban pada motor AC. Getaran berhasil dibaca oleh mikrobit untuk mengetahui frekuensi getar yang dihasilkan oleh motor AC pada *plant* alat getar.

Perbedaan simpangan memberikan informasi tentang distribusi getaran di berbagai posisi pada alat getar dan memengaruhi hasil pengukuran di sumbu yang berbeda. Pentingnya pemilihan frekuensi dan posisi sensor untuk menjaga kestabilan getaran pada berbagai arah, serta pengaruhnya pada distribusi getaran. Pemantauan dan analisis lebih lanjut terhadap perilaku getaran pada alat getar pada frekuensi yang lebih tinggi juga diperlukan, serta dampaknya terhadap stabilitas dan efektivitas pengukuran getaran dalam aplikasi yang lebih luas. Penelitian perlu dilanjutkan ke identifikasi model alat getar untuk mengetahui karakteristik dari alat getar yang telah dibuat, agar lebih mudah untuk mengendalikan getaran yang dihasilkan.

Daftar Pustaka

- [1] R. Mustika, R. R. Putra, and R. Fitria, Analysis Natural Periods of Structure Using Microtremor, *J. Tek. Sipil*, vol. 18, no. 2, pp. 328–342, 2022, doi: 10.28932/jts.v18i2.5027.
- [2] T. A. Cahyaningrum, Pemodelan dan Analisis Simulator Gempa Translasi, *J. Tek. Sipil*, vol. 6, no. 1, pp. 164–169, 2017.
- [3] Yapinus, P. Panji and Lehman, Andrew Sebastian, Miniatur Alat Simulasi Gempa Bumi, *Konferensi Nasional Sistem Informasi 2014*, 2014, pp. 1–23.
- [4] Wahyudi, Rancang Bangun Shaking Table untuk Simulasi Gempa pada Sumbu X dan Sumbu Y, Skripsi, Universitas Hasanuddin Makassar, 2023. [Online]. Available: http://repository.unhas.ac.id/id/eprint/27411/2/D21115033_skripsi_05-01-2023_1-2.pdf.
- [5] F. M. Unardi, Rancang Bangun Simulator Gempa 3 Axis dengan Penggerak Motor Listrik, Tugas Akhir, Universitas Muria Kudus, 2020.

- [6] F. K. Rizal, Analisis Gedung Dengan Pengaruh Interaksi Tanah Dengan Struktur Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), Tugas Akhir, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Medan, 2019.
- [7] H. Sa'diyah, Rancang Bangun Sistem Kontrol Displacement pada Earthquake Shaking Table Berpenggerak Ballscrew Linear Guide Actuator Berbasis Algoritma Bresenham dan Pengendali Proporsional, Thesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2020.
- [8] M. N. Ahid, Control Panel Berbasis Variable Speed Drive / Inverter, *Sci. Eng. Natl. Semin.*, vol.7, no.7, 2022, [Online]. Available: <https://conference.upgris.ac.id/index.php/sens/article/view/3584>.
- [9] Tresna Umar Syamsuri, Harrij Mukti K., and R. Duanaputri, Analisis Penggunaan Variable Speed Drive (VSD) pada Motor Kompresor, *ELPOSYS J. Sist. Kelistrikan*, vol. 8, no. 3, pp. 72–75, 2021, doi: 10.33795/elposys.v8i3.82.
- [10] S. Amra, Murdani, D.R. Yusian, Azhar, Pembuatan Alat Ukur Getaran Menggunakan Sensor Accelerometer Berbasis Mikrokontroler ATMEGA16 Dengan Tampilan PC, *J. Informatics Comput. Sci.*, vol. 8, no. 2, pp. 130–139, 2022.
- [11] I. M. P. I Nyoman Bagia, *Motor-Motor Listrik*, CV Rasi Terbit, April, 2018.
- [12] V.R. Alma'i, Wahyudi, and I. Setiawan 'Aplikasi Sensor Accelerometer Pada Deteksi Posisi', Tugas Akhir, Universitas Diponegoro, 2016.
- [13] A. W. Zebua, 'Analisis Gaya Gempa Bangunan Rumah Tinggal Di Wilayah Gempa Tinggi', *SIKLUS J. Tek. Sipil*, vol. 4, no. 1, pp. 23–35, 2018, doi: 10.31849/siklus.v4i1.1128.
- [14] A. Nikson, 'Pengaruh Karakteristik Rekaman Gempa Terhadap Rerspon Spektrum', *Rekayasa Sipil*, vol. 10, no. 1, p. 8, 2021, doi: 10.22441/jrs.2021.v10.i1.02.
- [15] Anindya Putri R., M. S. Purwanto, and A. Widodo, 'Identifikasi Percepatan Tanah Maksimum (PGA) dan Kerentanan Tanah Menggunakan Metode Mikrotremor Jalur Sesar Kendeng', *J. Geosaintek*, vol. 3, no. 2, p. 107, 2017, doi: 10.12962/j25023659.v3i2.2966.