



Analysis of Vibration Characteristics of EFT-E610P Drone Using Modal Analysis Method

Amalia Kamila¹, Elisabeth Anna Pratiwi^{2*}, Paulus Setiawan³, Dwi Hartini⁴, Istyawan Priyahapsara⁵, Yenni Astuti⁶

^{1,2,3,4,5}Department of Aerospace Engineering, ITD Adisutjipto, Indonesia

⁶Department of Electrical Engineering, ITD Adisutjipto, Indonesia

Article Info

Article history:

Received Desember 2, 2025

Accepted Januari 8, 2026

Published Januari 22, 2026

Keywords:

Drone vibration characteristics,
Frequency domain,
Fast Fourier Transform.

ABSTRACT

This research examines the vibration characteristics of the EFT-E610P type agricultural drone through flight tests and modal analysis. It aims to identify and analyze vibration properties like amplitude deviation, period, frequency, and waveform in the drone's mechanical system to ensure flight stability and safety. The study collects real-time vibration data using accelerometer sensors, processes it using Fourier transform, and interprets the main vibration features. Results show that the vibration parameters remain within a reasonable range corresponding to the drone's natural structural properties, with no signs of instability or harmful oscillations. Amplitude fluctuations and dominant frequency shifts indicate the drone's dynamic response to speed and structural changes but remain stable. The study concludes that the EFT-E610P drone exhibits normal vibration behavior during tests, with no negative impact on flight performance or safety, supporting its effective operation.



Corresponding Author:

Elisabeth Anna Pratiwi,
Department of Aerospace Engineering,
ITD Adisutjipto, Indonesia
Email: *anna@itda.ac.id

1. PENGANTAR

Drone pertanian EFT-E610P seperti pada Gambar 1 merupakan *drone hexacopter* dengan kapasitas tangki cairan sebesar 10 Liter yang dirancang khusus untuk aplikasi pertanian seperti penyemprotan pestisida, herbisida, dan pupuk [1], [2]. Drone ini menggunakan motor tipe X6 Plus dengan ukuran baling-baling 24 inci, dilengkapi dengan ESC 80A FOC dan suplai tegangan 12 S yang memberikan daya dorong optimal. Ukuran *wheelbase* mencapai 1407 mm dengan dimensi terbuka 2007x2007x542 mm dan dimensi lipat 945x848x542 mm, serta berat *frame* sekitar 5,92 kg. Drone ini mampu membawa beban maksimum hingga 25 kg saat lepas landas, sehingga cukup efisien untuk menjangkau area pertanian yang luas dalam satu kali penerbangan [3]. Selain itu, desain *drone* EFT-E610P mengutamakan stabilitas dan kemudahan penggunaan dengan sistem enam sumbu yang memberikan keseimbangan dan kelincahan saat terbang di berbagai kondisi medan. *Frame* *drone* terbuat dari material teknik canggih yang kuat dan ringan, memudahkan perakitan dan perawatan. Fitur-fitur pendukung seperti radar penghindar rintangan dan sensor pengikut kontur tanah juga biasanya dapat diintegrasikan untuk meningkatkan akurasi penyemprotan dan keselamatan operasional. Dengan spesifikasi teknis tersebut, EFT-E610P menjadi solusi efisien dan ekonomis bagi petani yang ingin mengadopsi teknologi drone dalam praktik pertanian modern mereka.

Gambar 1. *Drone* EFT - E610P

Namun, salah satu tantangan teknis yang sering dihadapi dalam pengoperasian *drone* pertanian adalah masalah getaran yang terjadi selama penerbangan [4], [5]. Getaran ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain ketidakseimbangan baling-baling [6], ketidaksejajaran motor, serta kondisi mekanis pada rangka dan sambungan drone yang kurang optimal [7]. Selain itu, faktor eksternal seperti angin kencang dan medan yang tidak rata juga dapat memperparah tingkat getaran yang dialami *drone*. Getaran yang berlebihan tidak hanya mengganggu stabilitas dan kontrol *drone* saat terbang, tetapi juga dapat mempercepat kerusakan komponen elektronik dan mekanik, sehingga mengurangi umur pakai *drone* secara keseluruhan.

Dampak dari getaran yang tidak terkontrol ini sangat signifikan, terutama dalam konteks pertanian presisi [8], [9] yang mengandalkan akurasi tinggi dalam penyemprotan dan pemantauan lahan. Getaran dapat menyebabkan penyemprotan bahan kimia menjadi tidak merata, sehingga mengurangi efektivitas perlindungan tanaman dan berpotensi menimbulkan pemborosan serta dampak negatif terhadap lingkungan. Selain itu, getaran yang terus-menerus dapat menurunkan kualitas data yang diperoleh dari sensor dan kamera *drone*, sehingga menghambat pengambilan keputusan yang tepat dalam pengelolaan pertanian. Oleh karena itu, pemahaman dan penanganan masalah getaran menjadi aspek penting dalam pengembangan dan optimalisasi penggunaan drone pertanian agar dapat memberikan manfaat maksimal bagi sektor pertanian modern.

Pada penelitian ini, pengujian karakteristik getaran dilakukan dengan menggunakan set-up alat uji yang terdiri dari sensor *accelerometer*, sistem akuisisi data, dan software MatLab. Sensor *accelerometer* dipasang pada titik strategis di struktur drone EFT-E610P untuk merekam respons getaran selama pengujian. Data dari sensor-sensor tersebut kemudian diteruskan ke *data acquisition system* yang berfungsi mengonversi dan menyimpan sinyal getaran menjadi data digital. Untuk menganalisis data hasil pengujian, digunakan *software* khusus analisis yaitu MatLab yang mampu menampilkan hasil spektrum frekuensi, dan parameter dinamik lain yang diperlukan. Prosedur pengambilan data dilakukan dengan menetapkan titik-titik pengukuran pada bagian-bagian utama drone seperti rangka utama, lengan, dan area di sekitar motor. Pengujian dilakukan dalam kondisi kecepatan 2,4,6,8,10 m/s dengan sudut serang sebesar 15°. Variasi kondisi ini bertujuan untuk melihat pengaruh faktor operasional terhadap respons getaran pada struktur *drone*.

2. METODE PENELITIAN

Getaran merupakan gerakan secara bolak balik dalam suatu interval waktu tertentu. Getaran berkaitan dengan gerakan osilasi benda, sedangkan gaya berkaitan dengan gerak tersebut. Kebanyakan mesin dan struktur rekayasa akan mengalami getaran dengan jumlah derajat tertentu dengan rancangan memerlukan pertimbangan sifat osilasinya. Sehingga bisa disimpulkan bahwa semua benda yang memiliki massa dan elastisitas mampu bergetar [10]. Batas maksimal getaran untuk *drone hexacopter* dengan amplitudo sebesar 0.5 G pada frekuensi sekitar 50 Hz umumnya dianggap sebagai ambang toleransi operasional yang aman untuk menjaga stabilitas dan integritas struktur drone. Nilai ini mencerminkan bahwa percepatan getaran tidak boleh melebihi 0.5 kali percepatan gravitasi bumi saat drone beroperasi, terutama di frekuensi utama getaran yang dapat menimbulkan resonansi seperti 50 Hz, agar tidak terjadi kerusakan mekanis maupun gangguan pada sistem kontrol penerbangan *drone hexacopter*.

Getaran yang ditimbulkan *drone* saat sedang dioperasikan dapat terjadi dari berbagai sumber eksternal maupun internal yang seluruhnya dapat mempengaruhi kinerja *drone*. Kondisi eksternal yang dapat mempengaruhi getaran dapat terjadi melalui turbulensi udara dimana pergerakan udara yang tidak teratur dapat menyebabkan drone bergetar saat terbang. Hal ini bisa disebabkan oleh variasi kecepatan dan arah angin, serta faktor-faktor seperti perbedaan suhu dan tekanan udara. Selain itu gangguan dari luar *drone*, serta konsep aerodinamika

menyebutkan tentang gaya hambat (*drag*) menjadi salah satu faktor yang memengaruhi getaran. *Flutter* merupakan bentuk instabilitas aeroelastik di mana energi dari aliran udara memasuki sistem getar struktur dan memperkuat amplitudo getaran pada frekuensi tertentu, sehingga getaran tidak mereda tetapi justru meningkat hingga menyebabkan kerusakan atau patahnya komponen [11]. Kondisi ini terjadi pada frekuensi alami struktur yang beresonansi dengan gaya aerodinamik, dan dipengaruhi oleh kecepatan aliran udara, kekakuan struktur, massa, serta redaman internal. *Flutter* biasanya muncul pada kecepatan kritis tertentu yang disebut flutter kecepatan, di atasnya getaran akan berkembang secara eksponensial [12].

Untuk mengukur getaran pada drone selama penerbangan, digunakan sensor *accelerometer*. *Accelerometer* sendiri adalah perangkat yang berfungsi untuk mengukur percepatan, mendeteksi adanya getaran (vibrasi), serta mencatat percepatan akibat gaya gravitasi (inklinasi). Sensor ini mengukur percepatan yang timbul dari pergerakan objek tempat sensor tersebut terpasang. Pada Gambar 2 Sensor *accelerometer* dipasang dengan kokoh pada drone, kemudian dilakukan proses kalibrasi agar sensor dapat mengenali posisi drone secara tepat. Setelah terpasang, sensor ini akan mendeteksi dan mencatat nilai getaran yang muncul akibat pergerakan drone selama terbang. Pengukuran getaran dilakukan menggunakan accelerometer tipe DANT 41, yang mampu mengukur percepatan pada tiga sumbu utama, yaitu sumbu x, y, dan z.



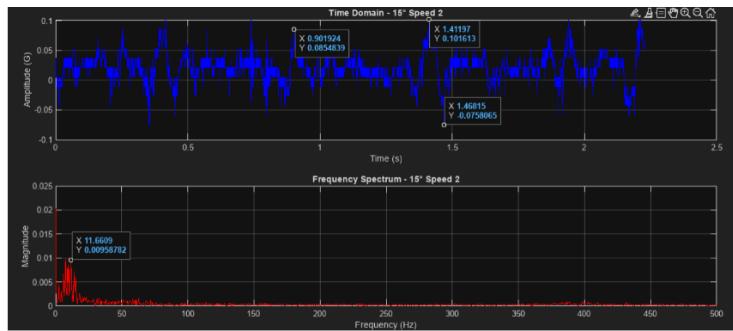
Gambar 2. Letak Sensor *accelerometer*

Analisis modal pada penelitian ini dilakukan secara eksperimental dengan pengumpulan data menggunakan sensor *accelerometer* yang telah terpasang. Setelah data getaran terkumpul, sinyal tersebut diproses melalui beberapa tahapan, seperti filtering untuk menghilangkan *noise*, ekstraksi sinyal utama, dan identifikasi frekuensi alami serta mode bentuk getar dengan software analisis modal. Hasil akhir berupa parameter frekuensi alami yang selanjutnya dianalisis untuk menilai karakteristik dinamik drone EFT-E610P. Analisis domain waktu adalah domain frekuensi, atau sering disebut spektrum frekuensi (FFT) [13], yang menguraikan sinyal getaran kompleks menjadi komponen-komponen frekuensi individualnya. Grafik domain frekuensi ini memungkinkan kita untuk mengidentifikasi frekuensi dominan dari getaran, yang sering kali menjadi petunjuk penting untuk menemukan sumber getaran seperti ketidakseimbangan baling-baling atau masalah pada motor.

3. HASIL DAN ANALISIS

3.1. Hasil pengujian dengan kecepatan 2 m/s dan sudut serang 15°

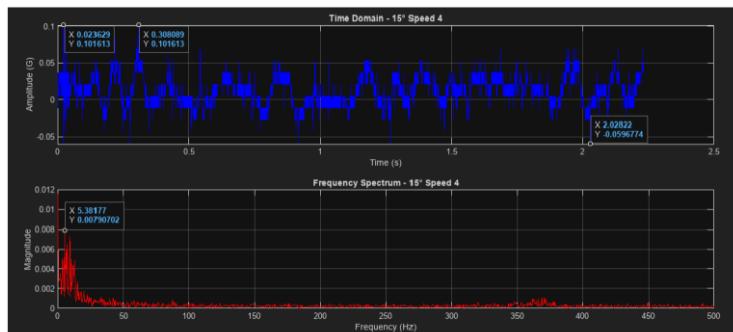
Pada Gambar 3 terlihat bahwa titik X: 1.41197, Y: 0.101613. Pada waktu sekitar 1.41 detik, amplitudo getaran mencapai sekitar +0.102 G. Ini merupakan nilai amplitudo positif tertinggi yang ditandai pada grafik dan mendekati batas atas sumbu Y, menunjukkan getaran yang cukup signifikan pada momen tersebut. Adapun terlihat titik X: 1.46815, Y: -0.078065. Pada waktu sekitar 1.47 detik, sesaat setelah puncak positif tertinggi, amplitudo getaran turun hingga sekitar -0.078 G. Ini menunjukkan adanya osilasi yang cukup antara nilai positif dan negatif dalam waktu singkat. Puncak Dominan terlihat titik X: 11.6609, Y: 0.00958762. Ini adalah frekuensi dominan utama pada sekitar 11.66 Hz dengan magnitudo sekitar 0.0096. Puncak lain yang lebih kecil juga terlihat di sekitar 20-30 Hz, tetapi magnitudo mereka jauh lebih rendah dibandingkan puncak di 11.66 Hz.



Gambar 3. Grafik Hasil Kecepatan 2 m./s AoT 15°

3.2. Hasil pengujian dengan kecepatan 4 m/s dan sudut serang 15°

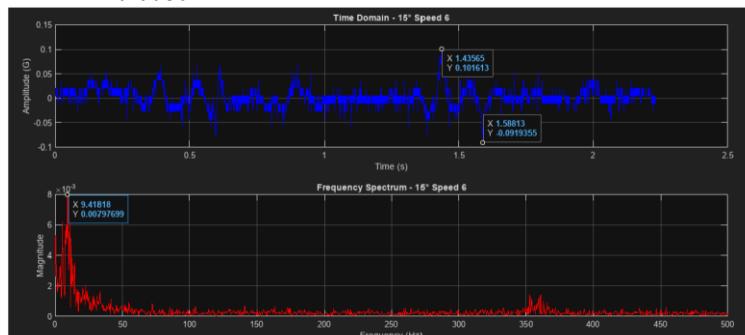
Pada Gambar 4, yaitu domain waktu untuk kondisi 15° Kecepatan 4, terlihat bahwa pada titik X: 0.023629, Y: 0.101613. Pada waktu sekitar 0.02 detik, amplitudo getaran mencapai sekitar +0.102 G. Ini merupakan salah satu nilai amplitudo positif tertinggi yang ditandai pada grafik dan mendekati batas atas sumbu Y, menunjukkan getaran yang cukup signifikan pada momen awal rekaman. Selain itu, pada waktu sekitar 2.03 detik, terlihat titik X: 2.02822, Y: -0.0596774. Pada momen tersebut, amplitudo getaran turun hingga sekitar -0.060 G, menunjukkan adanya getaran negatif yang cukup jelas menjelang akhir interval pengukuran. Sementara itu, pada grafik bagian bawah, yaitu Spektrum Frekuensi untuk kondisi yang sama, Puncak Dominan terlihat pada titik X: 5.38177, Y: 0.00790702. Ini adalah frekuensi dominan utama pada sekitar 5.38 Hz dengan magnitudo sekitar 0.0079.



Gambar 4. Grafik Hasil Kecepatan 4 m./s AoT 15°

3.3. Hasil pengujian dengan kecepatan 6 m/s dan sudut serang 15°

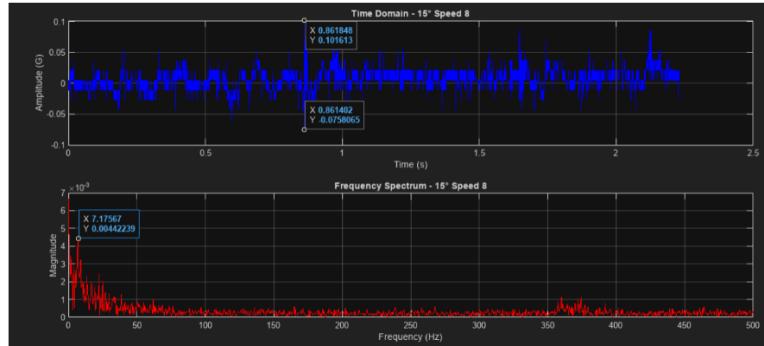
Pada Gambar 5, yaitu Domain Waktu untuk kondisi 15° Kecepatan 6, terlihat bahwa pada titik X: 1.43565, Y: 0.101613. Pada waktu sekitar 1.44 detik, amplitudo getaran mencapai sekitar +0.102 G. Ini merupakan nilai amplitudo positif tertinggi yang ditandai pada grafik dan mendekati batas atas sumbu Y, menunjukkan getaran yang cukup signifikan pada momen tersebut. Adapun, sesaat setelah puncak positif tersebut, pada waktu sekitar 1.59 detik, terlihat titik X: 1.58813, Y: -0.0919355. Pada momen ini, amplitudo getaran turun hingga sekitar -0.092 G. Sementara itu, pada grafik bagian bawah, yaitu Spektrum Frekuensi untuk kondisi yang sama, Puncak Dominan terlihat pada titik X: 9.41818, Y: 0.00797699. Ini adalah frekuensi dominan utama pada sekitar 9.42 Hz dengan magnitudo sekitar 0.0080.



Gambar 5. Grafik Hasil Kecepatan 6 m./s AoT 15 °

3.4. Hasil pengujian dengan kecepatan 8 m/s dan sudut serang 15°

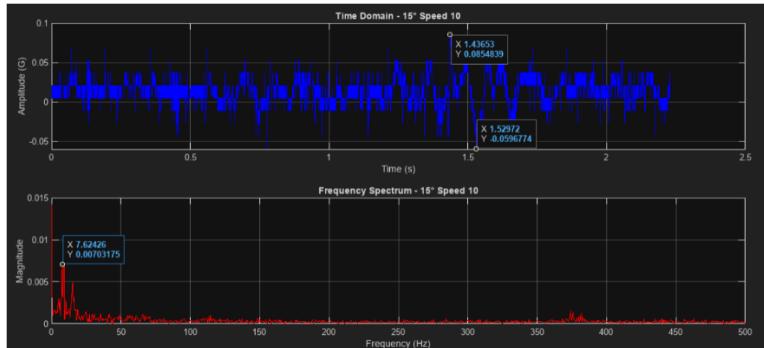
Pada Gambar 6, yaitu Domain Waktu untuk kondisi 15° Kecepatan 8, terlihat bahwa pada titik X: 0.861948, Y: 0.101613. Pada waktu sekitar 0.86 detik, amplitudo getaran mencapai sekitar +0.102 G. Ini merupakan nilai amplitudo positif tertinggi yang ditandai pada grafik dan mendekati batas atas sumbu Y, menunjukkan getaran yang cukup signifikan pada momen tersebut. Adapun, sesaat setelah puncak positif tersebut, pada waktu yang hampir bersamaan sekitar 0.86 detik, terlihat titik X: 0.861402, Y: -0.0758065. Pada momen ini, amplitudo getaran turun hingga sekitar -0.076 G. Sementara itu, pada grafik bagian bawah, yaitu Spektrum Frekuensi untuk kondisi yang sama, Puncak Dominan terlihat pada titik X: 7.17567, Y: 0.00442239. Ini adalah frekuensi dominan utama pada sekitar 7.18 Hz dengan magnitudo sekitar 0.0044.



Gambar 6. Grafik Hasil Kecepatan 8 m./s AoT 15°

3.5. Hasil pengujian dengan kecepatan 10 m/s dan sudut serang 15°

Pada Gambar 7, yaitu domain waktu untuk kondisi 15° Kecepatan 10, terlihat bahwa pada titik X: 1.43653, Y: 0.0854839. Pada waktu sekitar 1.44 detik, amplitudo getaran mencapai sekitar +0.085 G. Ini merupakan nilai amplitudo positif yang relatif tinggi yang ditandai pada grafik. Adapun, sesaat setelah puncak positif tersebut, pada waktu sekitar 1.53 detik, terlihat titik X: 1.52972, Y: -0.0596774. Sementara itu, pada grafik bagian bawah, yaitu Spektrum Frekuensi untuk kondisi yang sama, Puncak Dominan terlihat pada titik X: 7.62426, Y: 0.00703175. Ini adalah frekuensi dominan utama pada sekitar 7.62 Hz dengan magnitudo sekitar 0.0070.



Gambar 7. Grafik Hasil Kecepatan 10 m./s AoT 15 °

3.6. Analisis Getaran dalam Domain Waktu

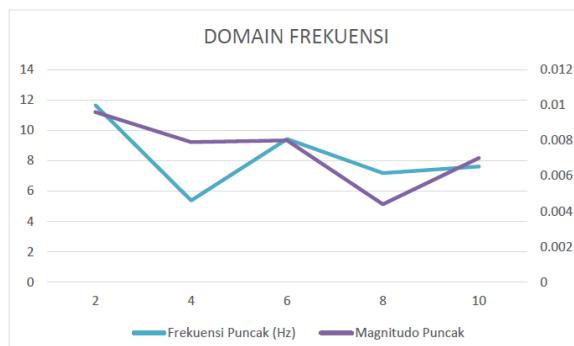
Data getaran dalam domain waktu menunjukkan bagaimana amplitudo getaran berfluktuasi seiring waktu selama interval pengukuran 2.5 detik. Secara umum, pada semua tingkat kecepatan yang diuji, sinyal getaran yang terekam memiliki karakteristik noise-like atau acak. Ini mengindikasikan bahwa getaran pada drone tidak didominasi oleh satu frekuensi tunggal yang stabil, melainkan merupakan kombinasi kompleks dari berbagai komponen getaran yang saling bercampur. Meskipun terlihat acak, observasi kunci adalah nilai amplitudo puncak maksimum dan minimum yang dicapai. Pada sebagian besar pengujian kecepatan 2 m/s, 4 m/s, 6 m/s, dan 8 m/s, amplitudo puncak positif tertinggi secara konsisten mencapai sekitar +0.102 G. Sebagai contoh, pada pengujian Kecepatan 2 m/s, amplitudo mencapai +0.102 G pada detik ke-1.41 dan langsung turun ke -0.078 G pada detik ke-1.47, menunjukkan perubahan yang signifikan. Pola serupa juga terlihat pada Kecepatan 4 m/s puncak positif +0.102 G pada detik ke-0.02 dan ke-0.31, Kecepatan 6 puncak positif +0.102 G pada detik ke-1.44 dan osilasi ke -0.092 G pada detik ke-1.59, serta Kecepatan 8 puncak positif +0.102 G dan osilasi ke -

0.076 G pada detik ke-0.86. Hanya pada Kecepatan 10, nilai puncak positif sedikit menurun menjadi sekitar +0.085 G.

Perubahan domain waktu pada tiap kecepatan menunjukkan bahwa, meskipun frekuensi getaran bertambah seiring naiknya kecepatan jarak antar puncak makin pendek, amplitudo puncak justru tetap konstan pada kecepatan rendah-menengah dan mulai menurun pada kecepatan sangat tinggi. Hal ini disebabkan oleh kombinasi faktor desain mekanik, peredaman alami, serta kontrol motor drone yang secara efektif membatasi respons getaran pada nilai tertentu. Konsistensi amplitudo puncak pada kecepatan rendah hingga menengah menunjukkan karakteristik redaman dan kestabilan respons getaran sistem drone, hal ini menandakan adanya batas maksimum respons getar. Pada kecepatan sangat tinggi, penurunan amplitudo puncak memperlihatkan pengaruh karakteristik redaman dinamis atau respons nonlinier sistem terhadap beban getaran, yang menjadi bagian penting dalam karakteristik getaran secara keseluruhan. Dengan demikian, pola perubahan amplitudo dan frekuensi pada tiap kecepatan merefleksikan bagaimana karakteristik getaran seperti redaman, kekakuan berperan dalam menjaga kestabilan dan keamanan operasi drone di berbagai kondisi kecepatan.

3.7. Analisis Getaran dalam Domain Frekuensi

Grafik domain frekuensi memegang peranan krusial dalam menemukan hal yang menjadi pemicu getaran pada drone EFT-E610P. Grafik ini secara efektif memisahkan sinyal getaran kompleks yang terekam dalam domain waktu menjadi komponen frekuensi individualnya, dengan menunjukkan magnitudo getaran pada setiap frekuensi. Dari serangkaian data yang didapatkan, terlihat adanya puncak-puncak magnitudo yang sangat menonjol pada frekuensi tertentu, yang menjadi indikator utama adanya sumber getaran dominan pada kondisi pengujian masing-masing. Secara spesifik, observasi terhadap frekuensi dominan menunjukkan pola yang menarik, pada Kecepatan 2 m/s, puncak getaran terkuat berada di 11.66 Hz magnitudo 0.0096, kemudian bergeser ke 5.38 Hz magnitudo 0.0079, pada Kecepatan 4 m/s naik lagi ke 9.42 Hz magnitudo 0.0080, pada Kecepatan 6 m/s, menurun ke 7.18 Hz magnitudo 0.0044 pada Kecepatan 8 m/s, dan sedikit meningkat ke 7.62 Hz magnitudo 0.0070 pada Kecepatan 10 m/s.



Gambar 8. Grafik perbandingan Domain Frekuensi

Berdasarkan grafik pada gambar 8 terdapat perbandingan yang jelas antara frekuensi puncak dan magnitude puncak pada tiap tingkat kecepatan. Pada kecepatan 2 m/s, frekuensi getaran utama yang terdeteksi adalah sekitar 11.66 Hz. Magnitudo getaran di titik ini adalah 0.0096, yang jika dianggap sebagai akselerasi relatif terhadap gravitasi bumi (G), nilainya hanya sekitar 0.96% dari 1G. Saat kecepatan meningkat ke 4 m/s, frekuensi utama menurun menjadi 5,38 Hz. Magnitudo turun sedikit menjadi 0.0079. Di kecepatan 6 m/s, frekuensi puncak naik kembali ke 9.42 Hz dengan magnitudo sedikit naik menjadi 0.0080. Pada kecepatan 8 m/s, frekuensi puncak menurun ke 7.18 Hz dan magnitudo turun signifikan ke 0.0044. Saat drone mencapai kecepatan maksimum pengujian 10 m/s, frekuensi puncak adalah 7.62 Hz dengan magnitudo 0.0070.

Frekuensi getaran puncak pada semua kondisi pengujian berada jauh di bawah batas maksimum 50 Hz, yang umumnya dianggap sebagai frekuensi maksimum toleransi getaran untuk menjaga kestabilan struktural dan fungsi sensor drone. Magnitudo getaran di bawah 0.01 G pada semua titik pengujian, jauh di bawah batas maksimal praktis 0.5 G. Percepatan getaran yang dialami drone saat operasi normal sangat kecil dan aman dari risiko getaran berlebih. Korelasi antara magnitude dan frekuensi puncak secara umum menunjukkan hubungan titik tertentu, di mana kenaikan frekuensi puncak diikuti penurunan magnitude. Hal ini dapat disebabkan oleh karakteristik sistem atau faktor eksternal yang mempengaruhi respons mesin secara dinamis. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa frekuensi puncak naik seiring kecepatan hingga titik tertentu, kemudian turun

4. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian dan analisa yang telah penulis lakukan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Karakteristik getaran pada drone EFT-E610P ditunjukkan oleh adanya pola-pola khusus pada amplitudo, frekuensi, periode, dan bentuk gelombang selama pengujian operasional. Getaran yang terjadi pada drone memiliki simpangan yang relatif konsisten pada rentang kecepatan tertentu dan mengalami perubahan pola osilasi sesuai dengan variasi kecepatan serta kondisi struktur. Frekuensi dominan getaran cenderung mengalami pergeseran, menunjukkan respons dinamis struktur terhadap perubahan gaya rangsangan yang diberikan dari luar, yang juga dipengaruhi oleh sifatkekakuan, redaman, serta desain dan sambungan komponen drone. Bentuk gelombang yang diamati di domain waktu memperlihatkan pola osilasi getaran yang terukur menunjukkan karakteristik noise-like atau acak. Apabila dilihat dengan periode dan kecepatan perubahan yang menggambarkan sifat dinamis dari sistem getaran. Perilaku getaran ini menandakan system drone bekerja dalam rentang karakteristik normal jika dilihat dari kestabilan simpangan.
2. Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa karakteristik getaran pada drone EFT-E610P tidak memberikan pengaruh negatif atau menimbulkan permasalahan berarti terhadap operasi penerbangan. Seluruh parameter getaran, seperti simpangan amplitudo, frekuensi, dan periode, berada dalam rentang nilai yang wajar sesuai dengan getaran alami sistem drone. Hal ini menunjukkan bahwa getaran yang terdeteksi merupakan bagian dari respons normal struktur drone terhadap gaya rangsangan selama terbang, lonjakan amplitudo, atau pola getaran abnormal yang dapat membahayakan kestabilan maupun kinerja drone. Dengan demikian, karakteristik getaran yang diamati hanya mencerminkan perilaku alami system mekanis drone yang masih stabil dan aman untuk digunakan sesuai fungsinya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] V. V. Sangeetha Jebalin *et al.*, “Optimization of Herbicide Dose and Spray Fluid for Drone-Based Weed Management in Irrigated Barnyard Millet,” *Appl. Ecol. Environ. Res.*, vol. 22, no. 6, pp. 6173–6186, 2024, doi: 10.15666/aeer/2206_61736186.
- [2] V. V. S. Jebalin *et al.*, “Effects of drone-assisted precision weed management on irrigated barnyard millet,” *Plant Sci. Today*, vol. 11, p. 5372, Dec. 2024, doi: 10.14719/pst.5372.
- [3] “E SERIES HEXACOPTER (10-20KG AGRICULTURE DRONE FRAME),” *EFT Electronic Technology Co., Ltd.*, 2025. <https://www.effort-tech.com/en/e6>.
- [4] J. Aminuddin, N. Effendy, S. Afrilianti, and H. Farris, “Penerapan Wavelet Transform pada Analisis Error Pembacaan Internal Measurement Unit dengan Berbagai Variasi Level Cairan pada Tangki Drone Sprayer di PT . Frogs Indonesia Yogyakarta,” vol. 2, no. 5, 2025.
- [5] C. Widiasari and R. S. A. Dulan Este, “Rancang Bangun Drone Quadcopter Tanpa Awak Penyiram Pupuk Tanaman,” *J. Elektro dan Mesin Terap.*, vol. 6, no. 2, pp. 81–90, 2020, doi: 10.35143/elementer.v6i2.4396.
- [6] A. N. Hafizi, M. A. Asyraf, M. A. Haqimi, and M. M. Zahar, “Dron Perlumbaan Arduino dengan Kamera FPV,” *Multidiscip. Appl. Res. Innov.*, vol. 4, no. 4, pp. 232–239, 2023.
- [7] L. A. N. Wibawa, “Analisis Frekuensi Natural Rangka Main Landing Gear Pesawat UAV Menggunakan Ansys Workbench,” *J. Mesin Nusant.*, vol. 5, no. 1, pp. 65–73, 2022, doi: 10.29407/jmn.v5i1.17580.
- [8] R. Efendi and D. Sagita, “Teknologi Pertanian Masa Depan dan Peranannya dalam Menunjang Ketahanan Pangan,” *Sultra J. Mech. Eng.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–12, 2022, doi: 10.54297/sjme.v1i1.297.
- [9] F. R. Tulungen, “Teknologi Pertanian Presisi Untuk Meningkatkan Efisiensi Produksi Padi Di Indonesia,” *J. Cahaya Mandalika*, vol. 5, no. 1, pp. 720–727, 2024.
- [10] Z. Arifin, A. F. Zakki, and M. Iqbal, “Studi Karakteristik Getaran Global Kapal Supply Vessel 70 m dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga,” *J. Tek. Perkapalan*, vol. 5, no. 1, pp. 137–141, 2017.
- [11] D. Schäfer, C. Vidy, C. Mack, and J. Arnold, “Assessment of body-freedom flutter for an unmanned aerial vehicle,” *CEAS Aeronaut. J.*, vol. 10, no. 3, pp. 845–857, 2019, doi: 10.1007/s13272-018-0353-9.
- [12] A. B. Djatmiko, “Perancangan Sirip Roket RX 450 Akibat Pengaruh Terjadinya Flutter,” in *Seminar Nasional Rekayasa dan Aplikasi Teknik Mesin di Industri*, 2021, no. November, pp. 34–42.
- [13] A. M. Chowdhury, A. Imran, and M. M. Hasan, “FFT-UAVNet: FFT Based Human Action Recognition for Drone Surveillance System,” *2023 5th Int. Conf. Sustain. Technol. Ind. 5.0, STI 2023*, vol. 0, pp. 1–6, 2023, doi: 10.1109/STI59863.2023.10465205.