

PENGARUH KECEPATAN ANGIN TERHADAP STABILITAS UAV DAN KUALITAS CITRA INSPEKSI STRUKTUR JEMBATAN

Muhammad Hanif Faisal ¹⁾, Alan Putranto²⁾, Saima Putrini R Harahap ³⁾, dan Syarifah Umi Kalsum⁴⁾

^{1, 2, 3, 4}Jurusan Teknik Sipil dan Pertambangan, Politeknik Negeri Ketapang
E-mail: alanputranto@politap.ac.id

Abstract

This study investigates the influence of wind speed on drone stability and the quality of images captured during flight. The primary problem addressed is the degradation of image quality caused by drone instability due to varying wind conditions. The aim of this research is to determine the threshold of wind speed that affects drone hover stability and to quantify the required free radius to ensure safe and stable image acquisition. A quantitative-descriptive approach was used, employing field observations with controlled drone hovering under natural wind conditions. Wind speed was measured using a digital anemometer, while image quality was assessed based on sharpness and motion blur using image processing software. The results indicate that at wind speeds below 1 m/s, the drone remains highly stable with no additional radius needed. However, as wind speed increases to 1–2 m/s, 2–3 m/s, and ≥ 3 m/s, the required safety radius expands to 0.5 m, 1.0 m, and 2.0 m respectively. Furthermore, image quality significantly deteriorates at higher wind speeds due to increased motion and vibration. In conclusion, drone operations for visual data acquisition should ideally be performed at wind speeds below 2 m/s to maintain optimal stability and image quality.

Keywords: *drone stability, wind speed, image quality, hover safety radius, field observation*

PENDAHULUAN

Inspeksi jembatan merupakan kegiatan penting untuk menjaga keselamatan dan fungsionalitas infrastruktur transportasi. Seiring dengan bertambahnya usia jembatan, kebutuhan akan teknik inspeksi yang andal dan efisien semakin meningkat guna mencegah kegagalan struktural serta mendukung strategi pemeliharaan preventif (Panigati *et al.*, 2022). Inspeksi jembatan secara konvensional seringkali memerlukan tenaga kerja, waktu, dan sumber daya yang besar serta dapat menimbulkan risiko keselamatan karena adanya kebutuhan untuk mengakses area yang sulit dijangkau (Song *et al.*, 2023). Keterbatasan ini telah mendorong minat yang tinggi terhadap penggunaan Unmanned Aerial Vehicles (UAV) atau drone, yang menawarkan potensi pengumpulan data yang aman, hemat biaya, dan komprehensif dari sudut pandang yang menantang (Ameli *et al.*, 2022).

Drone telah berhasil diterapkan dalam tugas inspeksi visual menggunakan kamera beresolusi tinggi untuk menilai kerusakan struktural seperti retak, pengelupasan, dan perubahan warna (Jeong *et al.*, 2021). Selain itu, teknologi ini memungkinkan peningkatan dan analisis citra menggunakan teknik *computer vision*, yang berkontribusi pada identifikasi dan dokumentasi kerusakan yang lebih akurat (Hu *et al.*, 2024). Namun, salah satu permasalahan utama yang memengaruhi kualitas citra pada inspeksi berbasis drone adalah kestabilan terbang,

yang dapat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan eksternal seperti kecepatan angin. Kecepatan angin yang tinggi dapat menyebabkan getaran atau pergeseran drone, yang menghasilkan citra buram atau berkualitas rendah dan mengurangi akurasi hasil inspeksi (Mandirola *et al.*, 2022).

Meskipun kemajuan teknologi drone telah meningkatkan kemampuannya untuk melayang dan bernavigasi secara otonom, kebutuhan akan kondisi terbang yang stabil tetap menjadi faktor penentu dalam memperoleh data inspeksi berkualitas tinggi. Beberapa studi menunjukkan bahwa kualitas citra sangat terkait dengan kemampuan drone untuk mempertahankan posisi tetap terhadap struktur yang diinspeksi, yang menjadi semakin sulit di bawah kondisi angin yang bervariasi (Aliyari *et al.*, 2021). Terlepas dari kemajuan teknologi tersebut, masih terdapat kekurangan dalam protokol standar yang mengaitkan variabel lingkungan seperti kecepatan angin dengan perencanaan inspeksi dan harapan terhadap kualitas data.

Berdasarkan pertimbangan tersebut, permasalahan utama dalam penelitian ini adalah bagaimana pengaruh kecepatan angin terhadap kestabilan drone dan kualitas citra yang dihasilkan selama inspeksi jembatan. Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis hubungan antara kecepatan angin, kestabilan terbang drone, dan kualitas citra yang dihasilkan. Studi ini bertujuan untuk menentukan ambang batas operasional yang aman terhadap kondisi angin, mendefinisikan radius bebas hambatan yang diperlukan untuk operasi drone yang stabil, serta mengevaluasi dampak ketidakstabilan terhadap ketajaman dan tingkat keburaman citra. Temuan dari penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi pada pengembangan pedoman operasional untuk inspeksi jembatan berbasis drone guna menjamin akuisisi data yang andal di bawah kondisi lingkungan yang bervariasi.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif-deskriptif dengan metode observasi eksperimental lapangan untuk mengkaji pengaruh kecepatan angin terhadap kestabilan drone dan kualitas citra yang dihasilkan. Pengujian dilakukan secara langsung di lapangan tanpa intervensi atau manipulasi variabel, sehingga variasi kecepatan angin diperoleh secara alami dari perubahan kondisi cuaca selama waktu pengambilan data. Fokus utama penelitian ini adalah menilai hubungan antara kecepatan angin dengan radius bebas hambatan drone saat hover, serta mengkaji kualitas gambar berdasarkan kestabilan visual hasil tangkapan kamera drone.

Penelitian dilaksanakan di jembatan Pawan V kabupaten Ketapang guna mensimulasikan kegiatan monitoring jembatan berbasis UAV dengan turbulensi lokal. Waktu pelaksanaan dipilih pada pagi hingga siang hari, ketika variasi angin terjadi secara alami dan stabil. Drone diterbangkan pada ketinggian ± 3 meter dalam kondisi diam (hover) untuk memaksimalkan sensitivitas terhadap gangguan angin, sementara alat ukur kecepatan angin (anemometer digital) digunakan untuk mencatat nilai kecepatan angin selama tiap sesi pengujian berlangsung selama 30 detik.

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah kecepatan angin (x) yang diukur dalam satuan meter per detik (m/s), sedangkan variabel terikat terdiri atas dua indikator utama, yaitu kestabilan drone yang direpresentasikan melalui radius bebas hambatan (m), serta kualitas citra yang ditinjau dari aspek visual seperti ketajaman, blur, dan kestabilan frame. Seluruh pengujian dilakukan dengan menjaga variabel kontrol tetap konstan, yakni menggunakan tipe drone dan kamera yang sama, ketinggian terbang yang tetap, serta durasi dan mode pemotretan yang seragam.

Pengumpulan data dilakukan dengan menerbangkan drone (detail spesifikasi pada tabel 1) pada posisi hover di atas titik tetap. Saat kecepatan angin mencapai rentang tertentu, drone akan mengambil citra visual jembatan. Pergerakan horizontal drone akibat angin diamati untuk menentukan radius bebas hambatan yang diperlukan agar drone tetap aman dari tabrakan dengan objek sekitarnya. Selain itu, hasil kualitas citra dinilai berdasarkan ketajaman gambar dan tingkat blur akibat gangguan eksternal.

Tabel 1
Spesifikasi drone (UAV)

Spesifikasi	Detail
Model	S159
Bobot	260 gram
Baterai	7.4 V, 2200 mAh Li-ion
Waktu terbang maksimum	20 – 28 menit
Jarak kontrol horizontal	± 2000 m
Jarak kontrol vertikal	± 120 m
Resolusi video	8K
Fitur kamera	Ultra HD, EIS
Navigasi & Stabilitas	GPS, optical flow, barometer, headless mode
Fitur Pintar	Obstacle avoidance, follow-me, waypoint, return to home, gesture control, orbit mode
Ukuran (Unfold/Fold)	34×30×9.5 cm / 15×9×9.5 cm
Frekuensi Operasi	2.4 GHz
Material	Plastik acrylonitrile butadiene styrene (ABS)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengamatan dan validasi lapangan (gambar 1) menunjukkan bahwa kecepatan angin memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kestabilan drone selama proses akuisisi data visual. Kestabilan tersebut kemudian berdampak langsung pada kualitas gambar dan video yang dihasilkan oleh kamera drone. Berdasarkan pengelompokan data dan analisis terhadap pengujian di lapangan, hubungan antara kecepatan angin (x) dan kebutuhan radius bebas hambatan, serta kualitas citra, dapat dijelaskan pada tabel 2 berikut.

Tabel 2
 Hubungan antara kecepatan angin dan kestabilan UAV

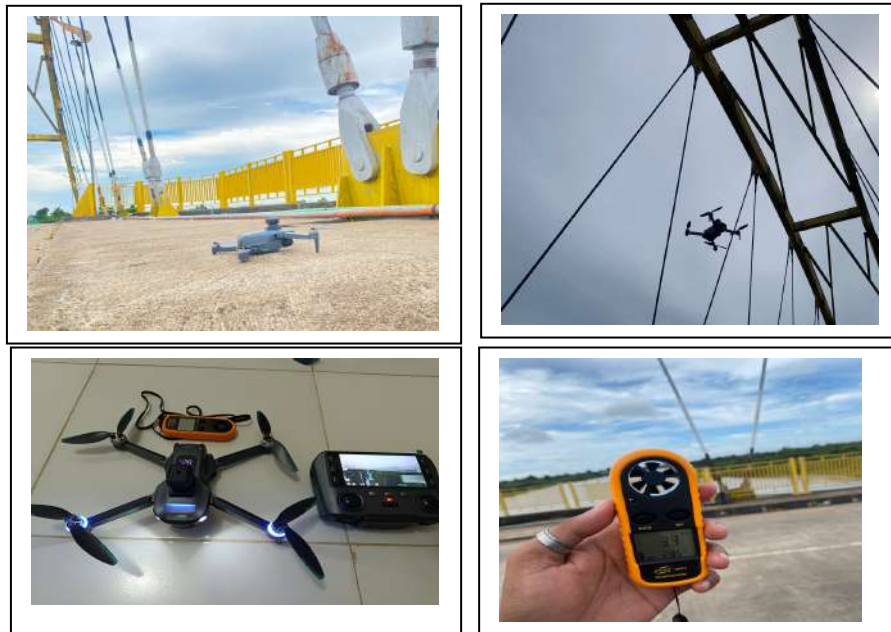
Rentang kecepatan angin, x (m/s)	Stabilitas	Radius bebas hambatan, r (m)
$0 \leq x < 1$	Stabil	0,0
$1 \leq x < 2$	Mulai terganggu	0,5
$2 \leq x < 3$	Kurang stabil	1
$x \geq 3$	Tidak stabil	2

Stabilitas drone sangat menentukan kualitas data visual yang diperoleh. Dalam kondisi $0 \leq x < 1$ m/s, drone mampu menjaga posisi dan orientasi kamera secara presisi. Hasil gambar atau video yang diperoleh pada kondisi ini menunjukkan ketajaman yang optimal, minim distorsi gerak, dan tidak terdapat blur akibat guncangan.

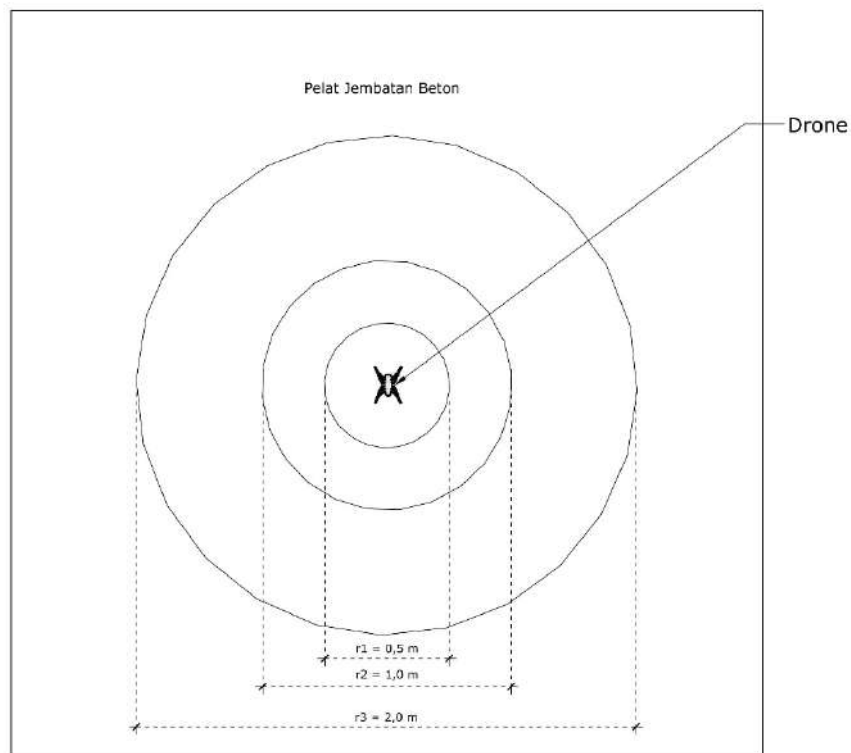
Pada rentang $1 \leq x < 2$ m/s, drone mulai mengalami gangguan ringan. Meskipun kamera masih dapat menghasilkan gambar yang dapat digunakan, terdapat indikasi penurunan kualitas visual, seperti munculnya motion blur atau goyangan kecil terutama jika tidak didukung oleh sistem gimbal yang baik.

Pada rentang $2 \leq x < 3$ m/s, kualitas gambar menurun secara signifikan. Gambar cenderung mengalami ketidakteraturan posisi akibat pergerakan drone yang tidak stabil, serta peningkatan noise atau kegagalan fokus. Kondisi ini memerlukan radius aman minimum 1 meter serta pengaturan kamera dengan kecepatan rana tinggi dan penggunaan gimbal 3-axis.

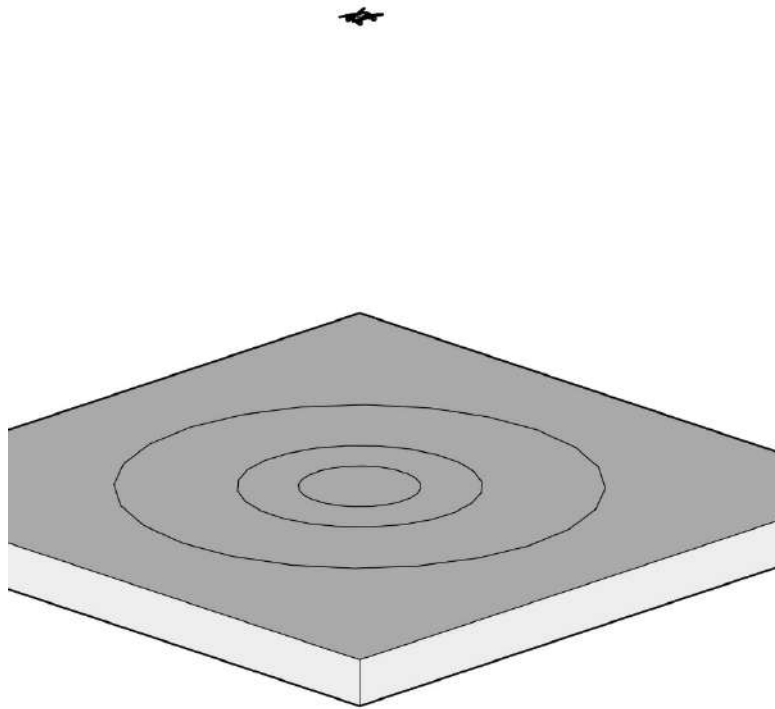
Sementara itu, pada kondisi $x \geq 3$ m/s, hasil pengambilan gambar tidak lagi dapat dijamin kualitasnya. Guncangan yang besar menyebabkan terjadinya rolling shutter, gambar tidak sejajar, hingga hilangnya objek fokus. Pada kecepatan ini, disarankan untuk menunda operasi atau menggunakan drone dengan sistem stabilisasi lanjutan dan sensor angin *real-time*. Detail radius terbang bebas hambatan dan perspektif 3D dapat dilihat pada gambar 2 dan gambar 3.



Gambar 1. Validasi lapangan



Gambar 2. Radius terbang bebas rintangan



Gambar 3. Perspektif 3D UAV dan radius terbang

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa kecepatan angin berpengaruh signifikan terhadap kestabilan drone dan kualitas citra yang dihasilkan. Pada kecepatan angin rendah ($0 \leq x < 1$ m/s), drone menunjukkan kestabilan tinggi dengan kualitas gambar optimal dan tidak memerlukan radius bebas hambatan tambahan. Namun, seiring peningkatan kecepatan angin, kestabilan menurun dan radius aman meningkat bertahap: 0,5 m pada $1 \leq x < 2$ m/s, 1,0 m pada $2 \leq x < 3$ m/s, dan 2,0 m pada $x \geq 3$ m/s.

Penurunan kestabilan ini berdampak langsung pada hasil visual, seperti munculnya motion blur, distorsi, hingga kehilangan fokus pada kondisi angin tinggi. Oleh karena itu, operasi drone untuk akuisisi data visual disarankan dilakukan pada kecepatan angin di bawah 2 m/s, dengan dukungan sistem stabilisasi kamera dan pemantauan angin secara real-time untuk menjaga kualitas dan keamanan pengambilan data.

ACKNOWLEDGEMENT

This research was funded by the Internal Research Grant for Beginner Lecturers (Hibah Penelitian Dosen Pemula Internal) in 2025. The authors would like to express their sincere gratitude to the Directorate of Research and Community Service at Politeknik Negeri Ketapang for the financial and administrative support provided during the implementation of this study.

DAFTAR PUSTAKA

Panigati, T., Zini, M., Striccoli, D., Giordano, P. F., Tonelli, D., Limongelli, M. P., & Zonta, D. (2025). Drone-based bridge inspections: Current practices and future directions. *Automation in Construction*, 173, 106101.

Song, H., Yoo, W. S., & Zatar, W. (2022, June). Interactive bridge inspection research using drone. In *2022 IEEE 46th Annual Computers, Software, and Applications Conference (COMPSAC)* (pp. 1002-1005). IEEE.

Ameli, Z., Aremanda, Y., Friess, W. A., & Landis, E. N. (2022). Impact of UAV hardware options on bridge inspection mission capabilities. *Drones*, 6(3), 64.

Jeong, E., Seo, J., & Wacker, J. (2021). Grayscale drone inspection image enhancement framework for advanced bridge defect measurement. *Transportation Research Record*, 2675(8), 603-612.

Hu, D., Yee, T., & Goff, D. (2024). Automated crack detection and mapping of bridge decks using deep learning and drones. *Journal of Civil Structural Health Monitoring*, 14(3), 729-743.

Mandirola, M., Casarotti, C., Peloso, S., Lanese, I., Brunesi, E., & Senaldi, I. (2022). Use of UAS for damage inspection and assessment of bridge infrastructures. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 72, 102824.

Aliyari, M., Ashrafi, B., & Ayele, Y. Z. (2022). Hazards identification and risk assessment for UAV-assisted bridge inspections, *Structure and Infrastructure Engineering* 18: 412–428.