

PENGARUH KETINGGIAN DAN KECEPATAN DRONE QUADCOPTER TERHADAP AKURASI PENGUKURAN DATA CUACA BERBASIS SENSOR ANEMOMETER

Dasman¹, Ilhamda², Robby Alpajri³, Al⁴, Aswir Premadi^{5*}

¹²³⁴⁵Program Studi Teknologi Rekayasa Instalasi Listrik, Fakultas Vokasi,
Institut Teknologi Padang

*Corresponding Author E-mail: aswir.premadi@itp.ac.id

Abstract

The use of drones as a weather monitoring system has seen significant progress, particularly in reaching difficult-to-access areas and collecting real-time atmospheric data. This study aims to analyze the effect of variations in drone altitude and flight speed on the accuracy of weather parameter measurements, such as temperature and wind speed, using an anemometer sensor. The experiment was conducted in an area located approximately 1,800 meters above sea level, by flying a quadcopter drone at altitudes of 50 m, 100 m, and 150 m above ground level. The results show that variations in flight speed affect the stability of wind measurements, while temperature shows high stability at various altitudes. This study confirms the potential of using UAVs to support direct weather observation systems as part of efficient disaster mitigation.

Keywords: drone, weather monitoring, quadcopter, anemometer, temperature, wind speed

Abstrak

Penggunaan drone sebagai sistem pemantauan cuaca telah mengalami kemajuan signifikan, khususnya dalam menjangkau wilayah sulit akses serta pengumpulan data atmosfer secara *real-time*. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi ketinggian dan kecepatan terbang drone terhadap akurasi pengukuran parameter cuaca, seperti suhu dan kecepatan angin, dengan menggunakan sensor anemometer. Eksperimen dilakukan pada kawasan yang berada sekitar 1800 mdpl, dengan menerbangkan drone quadcopter pada ketinggian 50 m, 100 m, dan 150 m dari permukaan tanah. Hasil menunjukkan bahwa variasi kecepatan terbang berpengaruh terhadap kestabilan pengukuran angin, sementara suhu menunjukkan stabilitas tinggi pada berbagai ketinggian. Studi ini menegaskan potensi penggunaan UAV dalam mendukung sistem pengamatan cuaca secara langsung sebagai bagian dalam mitigasi bencana secara efisien.

Kata kunci: drone, pemantauan cuaca, quadcopter, anemometer, suhu, kecepatan angin

1. PENDAHULUAN

Pemantauan cuaca memainkan peran penting dalam berbagai sektor seperti pertanian, transportasi, dan mitigasi bencana. Sistem konvensional seperti stasiun cuaca dan satelit memiliki keterbatasan dalam fleksibilitas dan cakupan wilayah. Drone, atau *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV), telah muncul sebagai solusi alternatif karena kemampuannya menjangkau area sulit dan mengumpulkan data atmosfer secara cepat dan akurat. Dari penelitian Elston et al., (2015); dan Gao et al., (2021), menyatakan bahwa parameter seperti kecepatan dan ketinggian terbang dapat mempengaruhi kualitas data atmosfer yang dikumpulkan, sehingga dapat meninjau efektivitas sistem drone quadcopter berbasis sensor anemometer dalam pemantauan cuaca [1,2].

2. METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan pendekatan rancang bangun (*engineering design*) dengan mengembangkan purwarupa/*prototype* drone quadcopter berbasis sensor anemometer. Sistem

dirancang untuk mengukur parameter suhu dan kecepatan angin pada tiga ketinggian: 50 m, 100 m, dan 150 m. Selanjutnya dilakukan pendekatan terbaru dalam UAV meteorological sensing [3,4], sistem dikembangkan untuk menjamin kestabilan data dan efisiensi pengambilan keputusan berbasis data atmosfer.

2.1 Desain Sistem

Drone dirancang menggunakan platform quadcopter karena kestabilan manuvernya yang lebih baik pada kondisi angin ringan hingga sedang [5]. Struktur drone dimodifikasi agar mampu menahan getaran dan efek turbulensi, sebagaimana disarankan dalam studi oleh Gao et al. (2021), untuk meningkatkan akurasi sensor.

Komponen utama sistem meliputi:

- Drone: Quadcopter
- Sensor Anemometer digital (untuk mengukur kecepatan angin dan suhu)[6],
- GPS berbasis RTK (Real-Time Kinematic) untuk akurasi posisi,
- Unit Kendali Mikroprosesor (Arduino Mega),
- Modul penyimpanan data SD card dan transmisi nirkabel LoRa (untuk pengiriman data secara real-time). Selain itu data juga dikumpulkan setiap 1 detik menggunakan sistem penyimpanan *onboard*.

Konfigurasi sensor mengikuti arsitektur terdesentralisasi agar sensor tidak saling memengaruhi, sesuai praktik oleh Elston et al. (2015) dalam drone meteorologi kecil.



Gambar 1. Drone Quadcopter Pemantau Cuaca

2.2 Lokasi dan Rentang Pengujian

Uji lapangan dilakukan di Bukit Cambai, Alahan Panjang, Solok, pada ketinggian landasan 1800 mdpl – lokasi dengan karakteristik dataran tinggi yang ideal untuk observasi atmosfer mikro. Pengujian dilakukan pada tiga variasi ketinggian terbang: 50 m, 100 m, dan 150 m dari landasan, serta variasi kecepatan drone dari 0,1 m/s hingga 5 m/s.

2.3 Prosedur Pengambilan Data

Sensor dikalibrasi sebelum diterbangkan. Drone diterbangkan secara semi-otomatis pada lintasan vertikal menggunakan GPS *waypoint navigation*. Setiap penerbangan mencatat data suhu dan kecepatan angin setiap detik, sebagaimana digunakan oleh Bao et al. (2024) dalam validasi data radar cuaca. Untuk meningkatkan presisi data:

- Pengambilan sampel dilakukan pada waktu pagi hari (08:00–09:00) saat atmosfer relatif stabil.
- Pengukuran dibandingkan dengan data anemometer manual sebagai pembandingan lapangan.
- Data disimpan dalam microSD dan dikirim ke stasiun pemantau (*ground station*) melalui modul LoRa [7].

2.4 Analisis Data

Data dianalisis menggunakan statistik deskriptif dan uji stabilitas waktu nyata. Pola fluktuasi suhu dan kecepatan angin diplot berdasarkan ketinggian dan waktu. Konsistensi data dievaluasi berdasarkan standar deviasi dan koefisien variasi antar pengukuran. Selain itu, perbandingan dilakukan antara sensor drone dan pengukuran manual untuk memvalidasi performa sensor *onboard*.

Analisis tambahan mengacu pada pendekatan RTK-correction UAV untuk validasi pengukuran atmosfer yang dilakukan oleh Bao et al., (2024), guna menilai seberapa besar penyimpangan drone dari nilai sebenarnya dalam rentang vertikal.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Kestabilan Data Suhu Pada Berbagai Ketinggian

Hasil pengukuran suhu udara pada ketinggian 50, 100, dan 150 meter menunjukkan kestabilan yang tinggi, dengan fluktuasi hanya berkisar antara 0,1°C hingga 0,2°C. Nilai suhu tercatat berada pada rentang 23,6°C hingga 23,7°C, yang menandakan bahwa drone mampu menjaga kestabilan data suhu meskipun terdapat variasi ketinggian.

Fenomena ini sesuai dengan temuan dari Elston et al. (2015) dan Amodu & Othman (2023), yang menyatakan bahwa suhu udara cenderung lebih stabil secara vertikal dibandingkan kecepatan angin, terutama pada pagi hari saat atmosfer masih tenang. Hal ini juga mengindikasikan bahwa konfigurasi sensor pada drone telah mampu meminimalkan gangguan aerodinamis terhadap akurasi sensor suhu.

3.2 Pengaruh Ketinggian Terhadap Kecepatan Angin

Data pengukuran menunjukkan bahwa kecepatan angin meningkat seiring dengan bertambahnya ketinggian. Pada ketinggian 50 meter, kecepatan angin berkisar antara 0,7–1,2 m/s, sementara pada 150 meter, angin dapat mencapai hingga 4 m/s. Peningkatan ini disebabkan oleh berkurangnya hambatan dari vegetasi dan bangunan pada ketinggian yang lebih tinggi serta perbedaan tekanan udara vertikal yang lebih tajam.

Grafik gabungan yang ditampilkan menunjukkan tren peningkatan kecepatan angin dari bawah ke atas. Fenomena ini konsisten dengan hukum gradien angin (*wind shear*) yang dijelaskan dalam kajian oleh Gao et al. (2021), di mana aliran udara menjadi lebih cepat pada lapisan yang lebih tinggi karena pengaruh friksi yang lebih kecil.

3.3 Efek Kecepatan Terbang Terhadap Akurasi Data

Salah satu poin krusial dari pengamatan ini adalah pengaruh kecepatan terbang drone terhadap kestabilan pengukuran, khususnya pada parameter kecepatan angin. Saat drone terbang dengan kecepatan rendah (sekitar 0,5 m/s), fluktuasi data relatif kecil dan sensor dapat membaca kondisi atmosfer dengan baik. Namun pada kecepatan tinggi (>4 m/s), terjadi peningkatan turbulensi yang mengganggu kestabilan pembacaan sensor anemometer.

Hasil ini sejalan dengan simulasi dan uji lapangan oleh Bao et al. (2024), yang menemukan bahwa drone yang bergerak terlalu cepat menghasilkan *noise* aerodinamis yang lebih tinggi, mengurangi akurasi data atmosferik yang dikumpulkan.

3.4 Perbandingan Sensor Manual vs. Onboard Anemometer

Perbandingan antara data yang dikumpulkan oleh sensor anemometer manual dan sensor pada drone menunjukkan perbedaan rata-rata di bawah 0,2 m/s, yang masih dalam batas toleransi teknis. Hal ini menegaskan bahwa anemometer otomatis yang dipasang pada drone dapat menjadi alternatif yang andal dalam pengukuran kecepatan angin di lapangan.

Keuntungan sistem otomatis ini adalah efisiensi dan kemampuan mengumpulkan data pada berbagai titik dan ketinggian, sesuatu yang sulit dilakukan secara manual. Studi oleh Ahmed et al. (2022) menekankan bahwa penggunaan sensor digital yang disematkan pada drone meningkatkan resolusi spasial data meteorologi dan mengurangi risiko human error [8,9].

3.5 Evaluasi Sistem Secara Keseluruhan

Secara keseluruhan, sistem prototipe drone quadcopter pemantau cuaca yang dirancang menunjukkan performa baik dalam mengukur dua parameter utama cuaca: suhu dan kecepatan angin. Beberapa keunggulan yang teridentifikasi dari sistem ini antara lain:

- Stabilitas suhu menunjukkan drone dapat digunakan untuk pengamatan mikroklimat jangka pendek.
- Responsivitas kecepatan angin yang baik terutama pada ketinggian 50–150 meter.
- Reproduksibilitas data tinggi di antara beberapa pengukuran yang dilakukan dalam waktu dan tempat yang sama.

Meskipun demikian, tantangan utama masih pada pengaruh kecepatan drone terhadap kestabilan pengukuran, serta keterbatasan pada aspek daya tahan baterai dan transmisi data *real-time*.

4. KESIMPULAN

Penggunaan drone quadcopter untuk pemantauan cuaca terbukti efektif dalam mengukur suhu dan kecepatan angin secara *real-time*. Variasi ketinggian tidak berdampak signifikan pada akurasi suhu, namun kecepatan drone mempengaruhi kestabilan data angin. Untuk itu kecepatan drone harus dioptimalkan agar tidak menurunkan akurasi data atmosfer. Sementara data yang diperoleh dari sensor *onboard* memiliki korelasi tinggi dengan pengukuran manual.

Dengan demikian sistem ini cocok untuk digunakan di daerah terpencil atau sebagai bagian dari sistem peringatan dini, dan drone quadcopter dapat digunakan sebagai platform yang andal untuk pemantauan cuaca mikro secara vertikal.

Untuk pengujian berikutnya perlu penambahan sensor kelembaban dan sistem transmisi data nirkabel dengan jangkauan lebih jauh akan memperluas cakupan pemantauan dan efisiensi operasional.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Elston, B. Argrow, M. Stachura, D. Weibel, D. Lawrence, and D. Pope, "Overview of Small Fixed-Wing Unmanned Aircraft for Meteorological Sampling," *J. Atmos. Oceanic Technol.*, vol. 32, no. 1, pp. 97–115, Jan. 2015, doi: 10.1175/JTECH-D-13-00236.1.
- [2] M. Gao, C. H. Hugenholtz, T. A. Fox, M. Kucharczyk, T. E. Barchyn, and P. R. Nesbit, "Weather Constraints on Global Drone Flyability," *Sci. Rep.*, vol. 11, no. 1, pp. 1–13, 2021, doi: 10.1038/s41598-021-91325-w.
- [3] Y. Bao, C. Lu, F. Ye, B. Kang, X. Wang, Z. Bu, M. Zhang, and Q. Yang, "RTK-Based UAV Method for Validating Weather Radar Radial Velocity," *J. Meteorol. Instrum.*, vol. 58, pp. 211–220, 2024.
- [4] O. A. Amodu and M. Othman, "Survey on Design Aspects and Opportunities in UAV-Based Environmental Sensing," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 38765–38785, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3278910.
- [5] V. Kishor and S. Singh, "Design and Development of Arduino UNO-Based Quadcopter," *Int. J. Eng. Manuf. Sci.*, vol. 7, no. 1, pp. 14–19, 2017.
- [6] A. Premadi, A.M.N. Putra, "Perancangan anemometer berbasis Internet", *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 3, no. 1, pp. 57-61, 2014.
- [7] D. Aziz, S. Algburi, S. Alani, and S. Mahmood, "Design and Implementation of GPS Based Quadcopter Control System," in *Proc. 5th EAI Int. Conf. on Future Internet Technologies and Trends*, 2020, doi: 10.4108/eai.28-6-2020.2297931.
- [8] F. Ahmed, J. C. Mohanta, A. Keshari, and P. S. Yadav, "Recent Advances in Unmanned Aerial Vehicles: A Review," *Arab. J. Sci. Eng.*, vol. 47, no. 7, pp. 7963–7984, Jul. 2022, doi: 10.1007/s13369-022-06738-0.
- [9] A. Al, F. Fajrin, A. Effendi, A. Bachtiar, A. Premadi, "Improved Performance of Hexacopter's Roll Balance Control System", *International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS)*, Vol.14, no. 3, pp.1458-1470, 2023.