

Autonomous Navigation onto Autodocking Drone System using Computer Vision

Article History:

Received

20 December 2024

Revised

2 January 2025

Accepted

26 January 2025

**LISA KRISTIANA¹, KEINDRA BAGAS MAULANA¹
SHAFIRA KURNIA FASYA¹, MUHAMMAD ZUFAR DAFY¹
MUKTIADI AKHMAD JANUAR²**

¹Institut Teknologi Nasional Bandung, Indonesia

²PT. Pertamina (Persero), Indonesia

Email (korespondensi): lisa@itenas.ac.id

ABSTRAK

Autodocking adalah teknologi canggih yang memungkinkan drone mendarat secara otomatis di stasiun docking yang telah ditentukan, Computer vision memainkan peran penting dalam sistem autodocking drone, memungkinkan drone untuk "melihat" objek yang di maksud. Permasalahan pada kontrol drone adalah presisi dari penentuan dan penempatan objek yang dalam hal ini adalah docking, dimana masih terjadi selisih atau error antara set point docking yang diinginkan. Solusi yang diajukan dalam artikel ini adalah menggunakan algoritma PID Controller (Proportional-Integral-Derivative Controller). Dengan menggunakan PID controller, drone dapat mengatur pergerakannya dengan lebih presisi, menjaga stabilitas, dan memastikan pendaratan yang tepat. Hasil yang dicapai dengan menggunakan pendekatan tersebut, mencapai 90% tingkat keberhasilan (presisi) dengan kendali beberapa parameter lingkungan.

Kata kunci: *Proportional-Integral-Derivative Controller, Autonomous Drone, Computer Vision, Autodocking System*

ABSTRACT

Autodocking is a sophisticated technology that allows drones to land automatically at a predetermined docking station. Computer vision plays an important role in the drone autodocking system, allowing the drone to "see" the intended object. The problem with drone control is the precision of determining and placing objects, in this case docking, where there is still a difference or error between the desired docking set point. The solution proposed in this article is to use the PID Controller (Proportional-Integral-Derivative Controller) algorithm. By using a PID controller, the drone can regulate its movements more precisely, maintain stability, and ensure proper landing. The results achieved using this approach, reached a 90% success rate (precision) with control of several environmental parameters. first page. The abstract contains a summary of backgrounds, methods, and research results, with the maximum number of characters being 150.

Keywords: *Proportional-Integral-Derivative Controller, Autonomous Drone, Computer Vision, Autodocking System*



1. PENDAHULUAN

Drone, atau Pesawat Tanpa Awak (PTTA), telah menjadi teknologi yang semakin populer dan banyak digunakan dalam berbagai bidang, termasuk militer, pertanian, survei pemetaan, dan pengiriman barang. Popularitas ini didorong oleh kemampuan drone untuk mengakses area yang sulit dijangkau, melakukan tugas yang berbahaya bagi manusia, serta meningkatkan efisiensi dan efektivitas dalam berbagai operasi **(Hidayath, dkk, 2022)(Babgei & Suryoatmojo, 2020)**.

Drone otonom adalah pesawat tanpa awak yang dapat menjalankan misi secara mandiri menggunakan sistem robotik dan komputer, didukung oleh perangkat seperti Pixhawk dan software navigasi open-source seperti ArduPilot **(Wardoyo, 2022)**. Drone ini memiliki kemampuan untuk melakukan berbagai tugas, seperti pemetaan, pemantauan, penyemprotan, dan pengiriman barang. Namun, penggunaannya menghadapi sejumlah permasalahan, termasuk kegagalan sistem, kerentanan terhadap serangan siber, keterbatasan sensor, dampak cuaca buruk, serta tantangan regulasi dan privasi. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun potensinya besar, teknologi drone otonom masih memerlukan pengembangan untuk mencapai keandalan dan keamanan optimal **(Sani, 2022)**.

Autodocking adalah teknologi canggih yang memungkinkan drone mendarat secara otomatis di stasiun docking yang telah ditentukan, sekaligus mengisi daya tanpa intervensi manusia **(Wardhana, 2021)**. Teknologi ini menawarkan berbagai manfaat, seperti meningkatkan efisiensi operasional dengan menghilangkan kebutuhan akan pengendalian manual, memperluas jangkauan misi drone melalui pengisian daya di lokasi strategis, dan mendukung operasi drone yang berkelanjutan tanpa sering kembali ke pangkalan. Sistem autodocking biasanya terdiri dari tiga komponen utama: sistem penentuan posisi seperti GPS atau vision system untuk menentukan lokasi drone dan stasiun docking, sistem komunikasi untuk koordinasi antara drone dan stasiun docking, serta sistem kontrol yang mengarahkan drone menuju pendaratan yang presisi.

Computer vision memainkan peran penting dalam sistem autodocking drone, memungkinkan drone untuk "melihat" dan memahami gambar atau video yang diambil oleh kamera **(Pratama, 2022)**. Teknologi ini digunakan untuk mendeteksi dan melokalisasi stasiun docking berdasarkan bentuk, warna, atau marker khusus. Selain itu, algoritma computer vision juga dapat menghitung jarak dan orientasi drone relatif terhadap stasiun docking, yang sangat penting untuk mencapai pendaratan yang presisi. Dengan menggunakan data visual ini, sistem dapat mengarahkan drone menuju stasiun docking secara akurat. Namun, tantangan yang dihadapi termasuk perubahan kondisi pencahayaan dan kompleksitas lingkungan yang dapat mempengaruhi kinerja system **(Priambodo, 2021)**. Misalnya, penelitian pada Face Tracking for Flying Robot Quadcopter menunjukkan bagaimana prinsip deteksi dan pengendalian pergerakan drone berdasarkan visual dapat diterapkan pada autodocking **(Volden, Ø., 2022)** meskipun konteksnya berbeda.

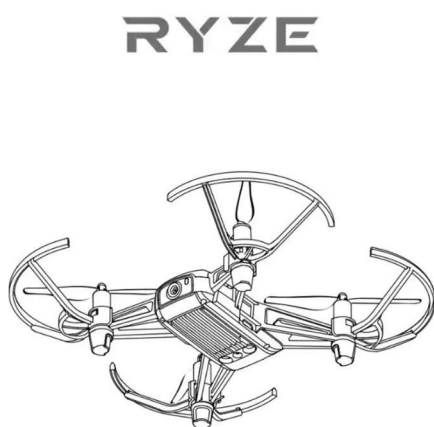
Sementara itu, sensor infrared pada drone digunakan untuk mendeteksi objek **(Dompeipen, 2021)** yang memancarkan panas, serta mengukur suhu dan membantu navigasi, terutama di lingkungan dengan sedikit cahaya. Sensor ini dapat mendeteksi rintangan dan membantu dalam penghindaran hambatan, yang sangat berguna dalam fase akhir pendaratan. Dalam sistem autodocking, sensor infrared dapat digunakan untuk mendeteksi jarak drone ke stasiun docking dan memastikan penyelarasan posisi yang tepat sebelum pendaratan **(Maray, 2022)**.

Agar drone dapat beroperasi secara efektif, diperlukan sistem kontrol yang canggih. Sistem kontrol drone bertanggung jawab untuk mengendalikan pergerakan drone, menstabilkan posisinya, dan menjalankan misi yang telah ditentukan **(Hidayath, dkk, 2022)**. Salah satu algoritma yang sering digunakan dalam sistem kontrol drone adalah PID Controller (Proportional-Integral-Derivative Controller). PID bekerja dengan cara mengukur selisih antara nilai yang diinginkan (setpoint) dan nilai aktual yang diterima dari sensor, kemudian menghitung sinyal kendali untuk memperbaiki perbedaan tersebut **(Febriyan, 2021)**. PID terdiri dari tiga komponen: Proportional (Kp) untuk menentukan respons terhadap error, Integral (Ki) untuk mengatasi error yang terus-menerus, dan Derivative (Kd) untuk meredam perubahan error yang cepat **(Leite, P., 2019)**. Dengan menggunakan PID controller, drone dapat mengatur pergerakannya dengan lebih presisi, menjaga stabilitas, dan memastikan pendaratan yang tepat.

2. METODOLOGI

Perancangan sistem ini menggunakan metode deteksi ArUco yang diterapkan melalui OpenCV untuk mendeteksi titik docking drone secara presisi. ArUco marker adalah fiducial marker yang memungkinkan ekstraksi informasi posisi (x, y, z) dengan akurasi tinggi berdasarkan gambar yang diambil oleh kamera drone. Dengan mendeteksi marker ini, sistem dapat menentukan koordinat relatif antara drone dan titik docking, memungkinkan penyesuaian posisi secara dinamis. Setelah koordinat (x, y, z) diperoleh, data tersebut akan digunakan sebagai input bagi sistem kontrol PID untuk mengatur pergerakan drone menuju titik docking. Kontrol PID (Proportional, Integral, Derivative) berfungsi untuk menyesuaikan posisi drone secara real-time dengan mengoreksi kesalahan dalam orientasi dan ketinggian. Selain itu, sistem dapat mengirimkan perintah langsung ke drone berdasarkan perubahan posisi yang terdeteksi, sehingga memungkinkan pendaratan otomatis yang lebih stabil dan presisi.

2.1 Material



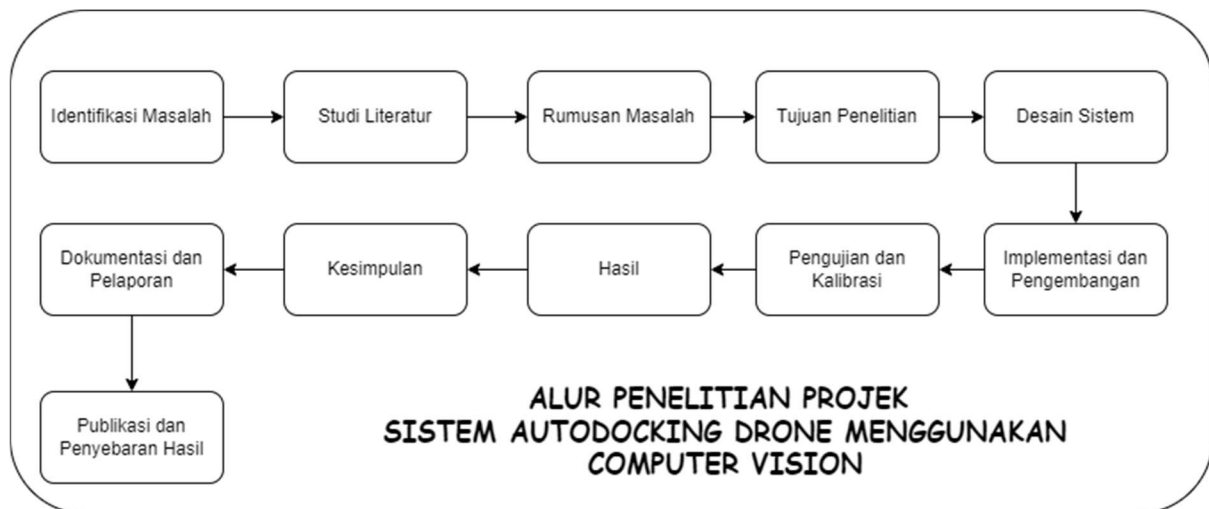
Spesifikasi

Aircraft (Model: TLW004)	
Weight (including Propeller Guards)	87 g
Max Speed	17.8 mph (28.8 kph)
Max Flight Time	13 minutes (0 wind at a consistent 9mph (15 kph))
Operating Temperature Range	32° to 104° F (0° to 40° C)
Operating Frequency Range	2.4 to 2.4835 GHz
Transmitter (EIRP)	20 dBm (FCC) 19 dBm (CE) 19 dBm (SRRC)
Camera	
Max Image Size	2592×1936
Video Recording Modes	HD: 1280×720 30p
Video Format	MP4
Flight Battery	
Capacity	1100 mAh
Voltage	3.8 V
Battery Type	LiPo
Energy	4.18 Wh
Net Weight	25±2 g
Charging Temperature Range	41° to 113° F (5° to 45° C)
Max Charging Power	10 W

Tabel 1. Spesifikasi drone yang digunakan

Spesifikasi drone yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1. Drone ini memiliki fitur yang mendukung kebutuhan sistem, termasuk kemampuan kamera untuk pemrosesan citra serta performa penerbangan yang sesuai untuk implementasi navigasi berbasis komputer vision.

2.2 Metode Yang digunakan



Gambar 1. Alur Penelitian

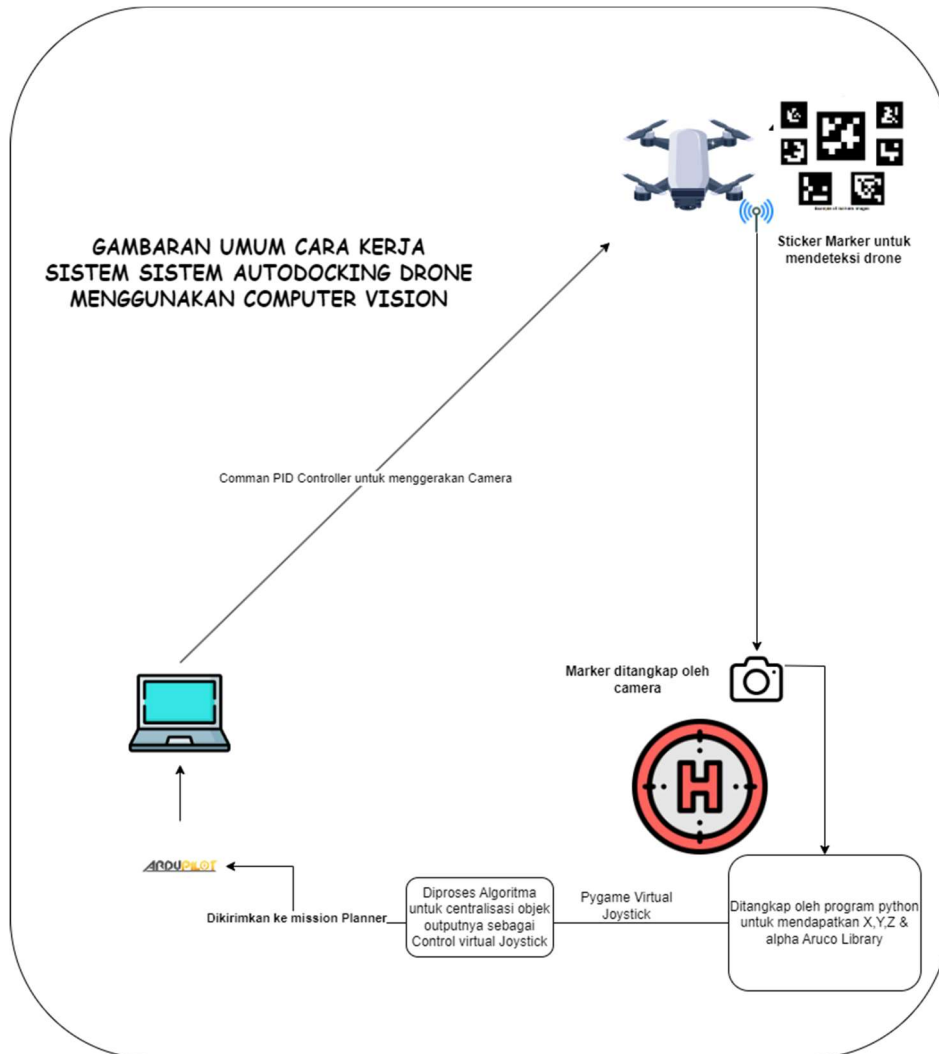
Alur penelitian yang dijelaskan dalam Gambar 1 Alur Penelitian mencakup tahapan sistematis dalam pengembangan sistem navigasi dan autodocking drone (**Dohi, 2024**). Pada tahap Identifikasi Masalah, penelitian ini berfokus pada tantangan dalam pendaratan otonom drone menggunakan pemrosesan citra. Untuk mendukung analisis ini, dilakukan Studi Literatur terkait teknologi deteksi marker, pengolahan citra menggunakan OpenCV, serta sistem kendali yang sesuai untuk mengarahkan drone secara presisi.

Selanjutnya, pada tahap Desain Sistem, drone yang digunakan dipilih berdasarkan spesifikasi yang mendukung pengolahan citra secara real-time dan integrasi dengan algoritma kendali. Sistem autodocking ini memanfaatkan deteksi ArUco Marker, yang memungkinkan drone memperoleh koordinat XYZ dengan akurasi tinggi untuk melakukan pendaratan secara otonom (**Kristiana, 2021**). Setelah sistem dirancang, dilakukan Implementasi dan Pengembangan, di mana algoritma deteksi marker diterapkan pada drone (**Kristiana, 2020**) dan dikombinasikan dengan kontrol PID untuk mengatur pergerakan serta stabilisasi drone saat mendekati titik docking.

Tahap berikutnya adalah Pengujian dan Kalibrasi, di mana drone diuji untuk memastikan keakuratan deteksi marker serta respons kendali dalam berbagai kondisi lingkungan. Hasil yang diperoleh kemudian dianalisis untuk mengevaluasi efektivitas sistem. Setelah mendapatkan hasil yang sesuai, dilakukan Dokumentasi dan Pelaporan agar sistem dapat dikembangkan lebih lanjut. Terakhir, hasil penelitian ini dipublikasikan melalui Publikasi dan Penyebaran Hasil, sehingga dapat menjadi referensi bagi penelitian dan pengembangan lebih lanjut dalam bidang navigasi drone berbasis computer vision.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Metode Yang digunakan



Gambar 2. Cara Kerja Sistem

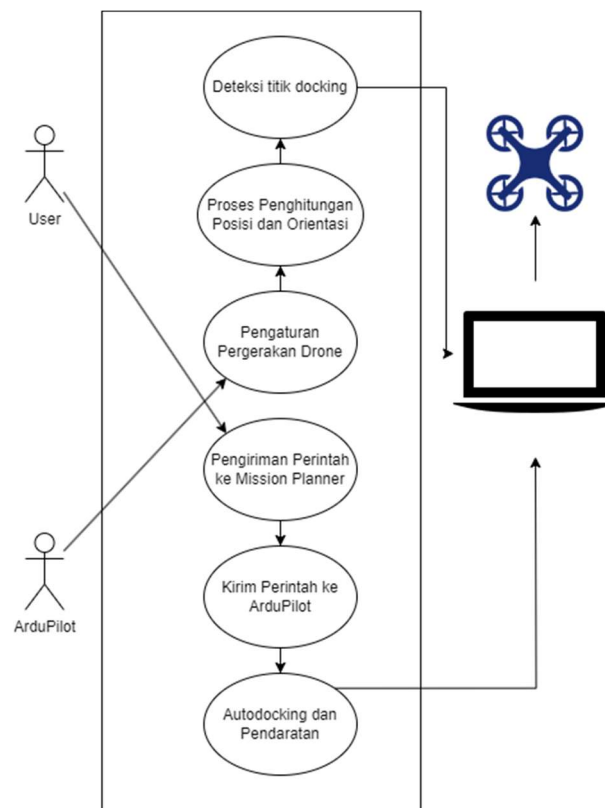
Gambar 2 menunjukkan cara kerja sistem autodocking drone menggunakan computer vision dengan memanfaatkan marker ArUco sebagai titik acuan pendaratan. Sistem ini bekerja dengan menangkap gambar marker melalui kamera drone, kemudian memprosesnya untuk mendapatkan koordinat X, Y, Z, (Altitude, Longitude dan Latitude) serta sudut rotasi α (alpha) menggunakan library OpenCV ArUco. Data tersebut digunakan untuk mengontrol pergerakan drone agar dapat melakukan pendaratan secara otomatis dengan akurasi tinggi.

Proses dimulai saat kamera drone mendeteksi marker yang telah ditempatkan pada titik docking. Gambar yang diperoleh akan diolah menggunakan program Python untuk menentukan posisi relatif drone terhadap marker. Informasi ini dikonversi menjadi perintah kendali menggunakan Pygame Virtual Joystick, yang memungkinkan sistem mengontrol pergerakan drone secara real-time agar tetap berada di jalur pendaratan.

Setelah informasi posisi diproses, sistem mengirimkan data ke Mission Planner melalui ArduPilot, yang kemudian mengatur navigasi drone secara otomatis menuju titik pendaratan. Dengan memanfaatkan kontrol PID (Proportional-Integral-Derivative), drone dapat menyesuaikan posisinya secara dinamis hingga berada tepat di atas marker sebelum akhirnya melakukan pendaratan.

Pendekatan ini memungkinkan drone untuk melakukan docking secara otonom dengan tingkat presisi tinggi. Dengan kombinasi deteksi marker ArUco, pengolahan citra OpenCV, joystick virtual, dan kendali PID, sistem dapat memastikan drone mampu mendarat dengan stabil meskipun ada gangguan atau perubahan posisi drone selama proses pendaratan berlangsung.

3.2 Use Case



Gambar 3. Use Case

Gambar 3 menunjukkan Use Case sistem autodocking drone berbasis computer vision dengan integrasi ArduPilot dan Mission Planner. Diagram ini menjelaskan alur interaksi antara pengguna, sistem, dan drone dalam proses pendaratan otomatis.

Proses dimulai dengan deteksi titik docking menggunakan kamera drone yang mengenali marker ArUco. Setelah marker terdeteksi, sistem melakukan proses perhitungan posisi dan orientasi, yaitu menentukan koordinat Altitude, Longitude dan Latitude (X, Y, Z), serta sudut rotasi (*tilting* dan *yawning*) drone terhadap titik docking. Informasi ini digunakan untuk mengoreksi jalur penerbangan drone menuju lokasi pendaratan yang tepat.

Selanjutnya, data posisi dan orientasi tersebut dikirimkan ke modul pengaturan pergerakan drone, yang berfungsi sebagai kontrol utama agar drone dapat bergerak secara stabil dan akurat menuju titik docking. Sistem kemudian mengirimkan perintah ke Mission Planner, yang bertugas mengatur navigasi dan parameter penerbangan drone sesuai data yang diterima.

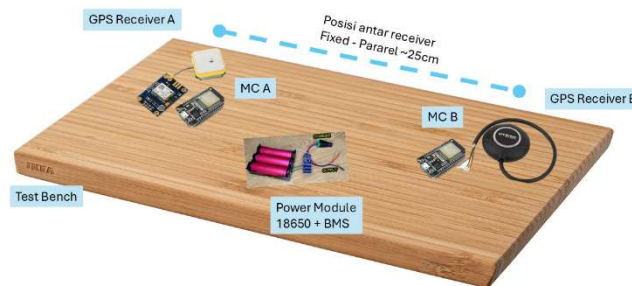
Setelah perintah dikonfirmasi, Mission Planner menginstruksikan ArduPilot* untuk mengeksekusi perintah navigasi. ArduPilot kemudian mengontrol drone berdasarkan data dari sistem pengolahan citra dan kendali gerak. Akhirnya, drone menjalankan prosedur autodocking dan pendaratan, memastikan drone mendarat dengan presisi tinggi tanpa intervensi manual dari pengguna.

Dengan pendekatan ini, sistem autodocking drone (**Gong, L., 2022**), dapat bekerja secara otomatis dan efisien, mengurangi risiko kesalahan pendaratan serta meningkatkan akurasi navigasi menggunakan kombinasi computer vision dan kendali ArduPilot.

3.2 Pengujian

Pengujian system autodocking di mulai dengan test pendaratan dengan menggunakan sensor GPS, Dimana "base station" di tunjukkan pada Gambar 4.

GPS Sensor "Base Station" Test-Bench



Mission Briefing

Test 1 – Standstill

- Cek position lock
- Cek satellite lock

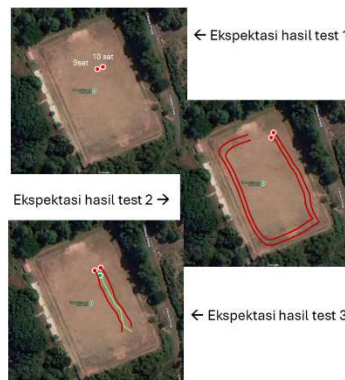
Test 2 – Moving

- Cek path odometri

Test 3 – Compare Dgn Drone GPS

- Compare lat long antara Base & Drone

Output: GPS Feasibility analysis for GPS-Based auto-following & docking



Gambar 4. Pengujian Base Station

Pengujian tahap pertama adalah mempertahankan koordinat Altitude, Longitude dan Latitude dan mengunci posisi drone dan menyetarakan dengan posisi satelit. Pengujian ini disebut sebagai standstill dengan mengunci koordinat Altitude, Longitude dan Latitude drone pada timeframe tertentu dengan koordinat Altitude, Longitude dan Latitude satelit.

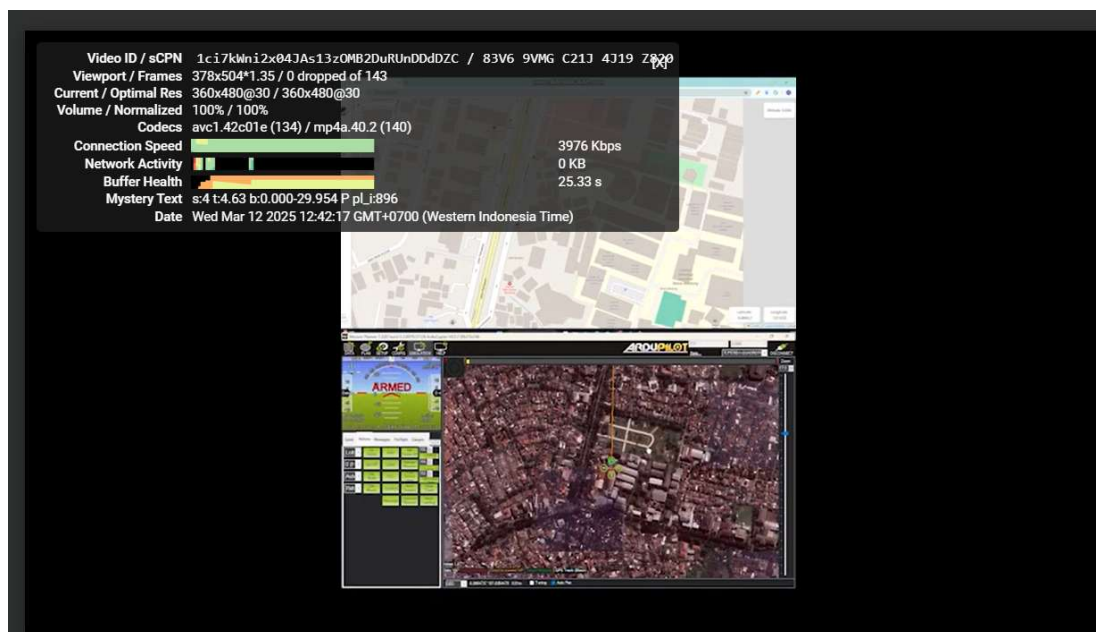
Pengujian tahap kedua adalah 'Moving – Test' dengan memperhatikan jalur dari odormetri.

Pengujian terakhir dengan membandingkan posisi drone dengan base station. Pada tahap ini kalkulasi antara posisi longitude, altitude dan latitude drone dan base station di iterasi hingga posisi drone mencapai base station.

Parameter yang digunakan pada pengujian ini didiskripsikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter pengujian drone pada ruang terbuka

No	Parameter	Value/Unit
1	Kecepatan angin	1 – 2 Knot
2	Temperature	30 – 35 °C
3	Altitude (Min – Max) bergantung juga dengan control wireless	1 – 36 m
4	Longitude – latitude (Line of Sight)	30 Max
5	Battery Capacity Lithium	100%

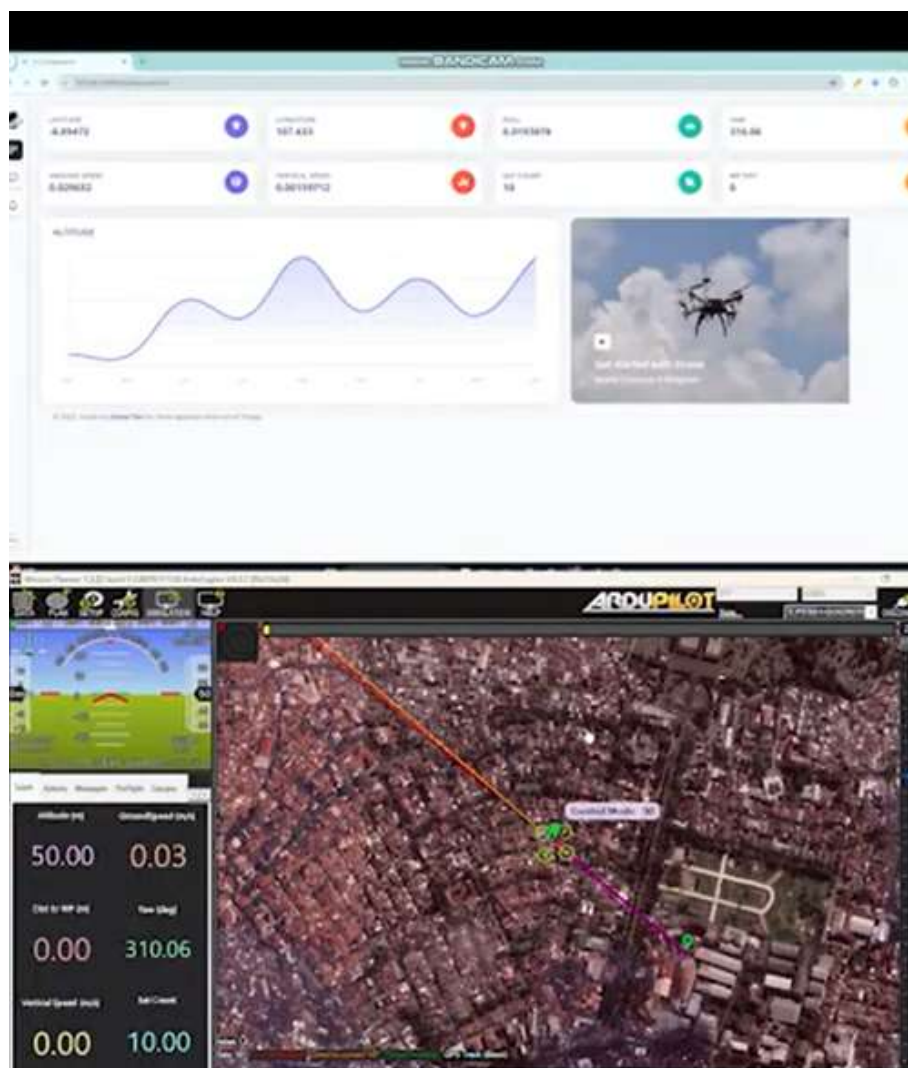


Gambar 5. Hasil pengujian Awal

Tuliskan Nama Penulis sebagai header halaman genap



Gambar 6. Hasil pengujian mode 'Standstill'



Gambar 7. Hasil pengujian mode 'Moving'



Gambar 8. Hasil pengujian mode Kalkulasi dan iterasi posisi docking



Gambar 9. Grafik pengujian mode Kalkulasi dan iterasi posisi docking

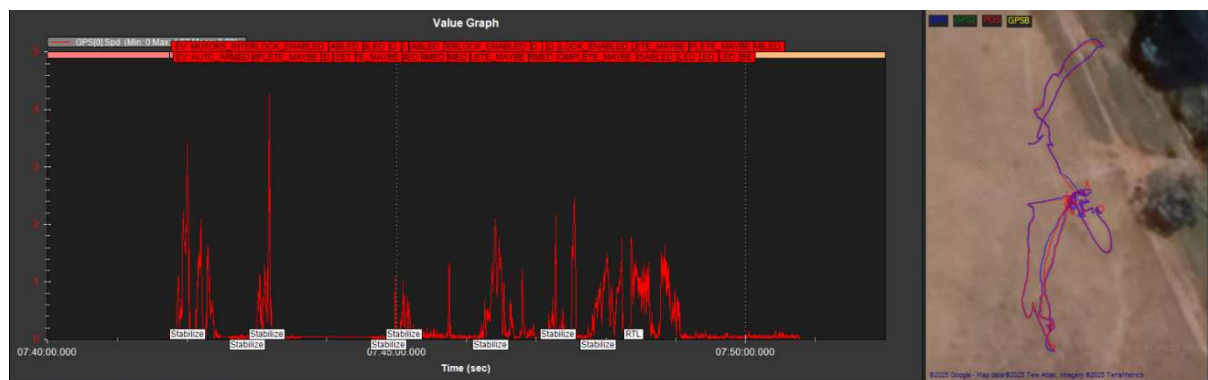
Pada Gambar 9 menunjukkan grafik pengujian mode kalkulasi dan iterasi antara posisi docking dengan posisi drone. Fluktuasi yang terjadi dikarenakan beberapa parameter seperti kecepatan angin (pada saat di ruang terbuka) mempengaruhi kestabilan drone.

Docking mode di uji dengan beberapa range parameter pada Tabel 1 dengan hasil pengujian yang ditunjukkan pada Gambar 10 – 14.

Tuliskan Nama Penulis sebagai header halaman genap



Gambar 10. Grafik pengujian Altitude saat mode Kalkulasi dan iterasi posisi docking



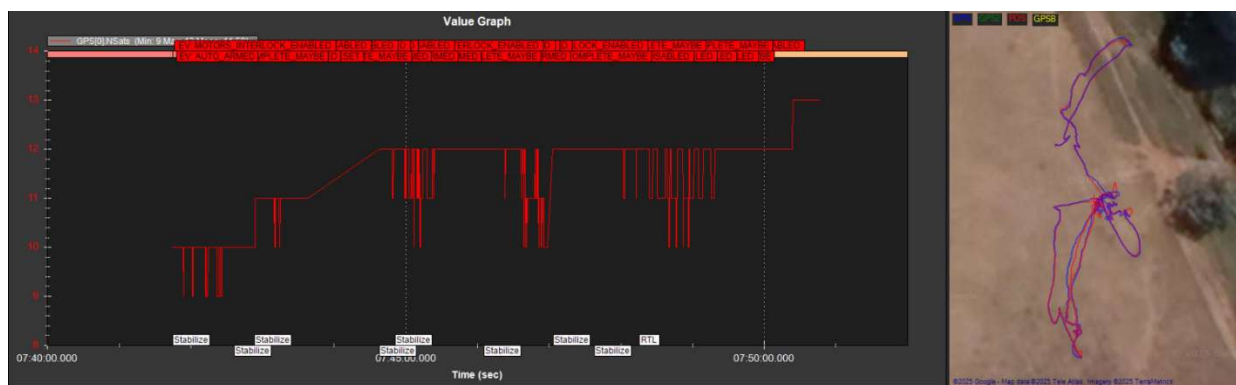
Gambar 11. Grafik pengujian Kecepatan saat mode Kalkulasi dan iterasi posisi docking



Gambar 12. Grafik pengujian Yaw saat mode Kalkulasi dan iterasi posisi docking



Gambar 13. Grafik pengujian Pitch saat mode Kalkulasi dan iterasi posisi docking



Gambar 14. Grafik pengujian GPS Locked Satellite Count saat mode Kalkulasi dan iterasi posisi docking

Posisi yang dikalkulasi dan mengalami iterasi di tunjukkan pada Gambar 14, Dimana GPS Locked memberikan kestabilan posisi, seperti terlihat pada notifikasi 'Stabilize).

Pengujian ini dilakukan sebanyak 30 kali dengan penggantian baterai sebanyak 30 kali. Penggantian baterai (recharge) setiap saat pengujian dilakukan dengan eksperimen bahwa daya baterai akan mempengaruhi kecepatan terbang dan respon drone pada saat di kendalikan. Penggantian baterai ini juga memungkinkan kondisi daya yang optimal untuk menggerakkan propeller/baling-baling drone melawan arus kuat angin pada pengambilan data di ruang terbuka. Hasil menunjukkan posisi drone Kembali ke koordinat semula (docking) sebesar 90% dengan Tingkat kegagalan sebesar 10% dikarenakan beberapa sebab seperti perubahan arah angin yang cukup ekstrim pada saat drone mendekati koordinat docking.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem autodocking drone berbasis computer vision menggunakan marker ArUco untuk mendeteksi titik docking dengan lebih akurat. Dengan memanfaatkan koordinat Altitude, Longitude dan Latitude serta orientasi yang diperoleh dari marker ArUco, dengan hasil navigasi drone dan kalkulasi presisi sebesar 90%. Selain itu, implementasi kontrol PID diharapkan dapat meningkatkan stabilitas dan ketepatan pergerakan drone saat mendekati titik pendaratan. Meskipun penelitian ini masih dalam tahap pengembangan, pendekatan yang digunakan memiliki potensi untuk meningkatkan efisiensi

dan akurasi proses pendaratan drone secara otomatis, sehingga dapat diaplikasikan dalam berbagai bidang, seperti logistik, inspeksi industri, dan operasi pencarian serta penyelamatan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih pada pendanaan Prodi Informatika dan Institut Teknologi Nasional Bandung sehingga eksperimen ini dapat dilakukan untuk kemudian di pameran dalam event Indodefense 2025.

DAFTAR RUJUKAN

- Wardoyo, A. S. (2022). *An Analysis of the Performance of Autonomous Navigation on an Ardupilot-Controlled Rover*.
- Sampurno, B., Putra, I. F., Mashuri, Widiyono, E., Mursid, M., & Suhariyanto. (2023). *GPS Navigation System on Autonomous Ship as an Effort to Increase Fish Catch for Fishermen in Pamekasan, Indonesia*.
- Khosyi'in, M., Prasetyowati, S. A. D., Suprpto, B. Y., & Nawawi, Z. (2022). *The Impact of Telemetry Received Signal Strength of IMU/GNSS Data Transmission on Autonomous Vehicle Navigation*.
- Hidayath, M. I. T., Wicaksono, M. F. A., & Pohan, G. A. (2022). *Analisa Pengaruh Manuver dan Kecepatan pada Pesawat Tanpa Awak Tipe Fixed Wing dengan Variasi Airfoil Berbasis Ardupilot*.
- Babgei, A. F., & Suryoatmojo, H. (2020). *Building an Unmanned Aerial Vehicle for Humanitarian Aid Delivery*.
- Priambodo, A. S., Arifin, F., Nasuha, A., & Winursito, A. (2021). *Face Tracking for Flying Robot Quadcopter Based on Haar Cascade Classifier and PID Controller*.
- Maray, A. H., Ahmed, K. I., Habaebi, M. H., & Islam, M. R. (2023). *Design and Implementation of Low-Cost Vein-Viewer Detection Using Near-Infrared Imaging*.
- Darussalam, A. G., Aprilia, A. R., Hidayat, R., Wibisono, A., & Suhendri. (2021). *Pemanfaatan RFID, Loadcell, dan Sensor Infrared untuk Miniatur Penukaran Sampah Botol Plastik*.
- Prasetio, Y. R., & Satria, B. (2022). *Sistem Keamanan Rumah Menggunakan Sensor Passive Infrared Receiver dan SMS Gateway Berbasis Arduino*.
- Poerbaningtyas, E., Dradjat, R. S., Endharti, A. T., Sakti, S. P., Widjajanto, E., Yueniwati, Y., & Purnomo, M. H. (2020). *Optimizing Infrared Camera Resolution for Small Object Detection Using Subpixel Rendering and PIFS in Multiresolution Image Analysis*.
- Kristiana, L., Idris, N. A., Manurung, A. O., Darlis, A. R., Dewi, I. A., & Lidyawati, L. (2021, October). Obstacle awareness system of an indoor UAV with multi-sensor fusion

- algorithm. *In 2021 17th International Conference on Quality in Research (QIR): International Symposium on Electrical and Computer Engineering (pp. 32-37). IEEE.*
- Kristiana, L., & Aditya, H. D. (2020). The Viability of Leap Motion Implementation in Controlling Drone using K-Nearest Neighbor Algorithm. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, 8(3), 683.
- Dohi, R., & Higashi, Y. (2024). Study on Improvement of Docking Mechanism for Docking–Undocking Drones in the Air and Docking Control Using an Onboard Camera. *Journal of Robotics and Mechatronics*, 36(5), 1026-1036.
- Volden., Stahl, A., & Fossen, T. I. (2022). Vision-based positioning system for auto-docking of unmanned surface vehicles (USVs). *International Journal of Intelligent Robotics and Applications*, 6(1), 86-103.
- Leite, P. N. B. (2019). *A self-guided docking architecture for autonomous surface vehicles* (Master's thesis, Universidade do Porto (Portugal)).
- Gong, L., Wu, Y., Gao, B., Sun, Y., Le, X., & Liu, C. (2022). Real-time dynamic planning and tracking control of auto-docking for efficient wireless charging. *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, 8(3), 2123-2134.