



PENGEMBANGAN SISTEM KONTROL FORMASI PEMIMPIN-PENGIKUT DAN PENJEJAKAN JALUR BERBASIS KOMUNIKASI DESENTRALISASI

Shania Argiliana (23824007) | Pembimbing : Ir. Estiyanti Ekawati, M.T., Ph.D. & Faqihza Mukhlis, S.T., M.T., Ph.D.

LATAR BELAKANG

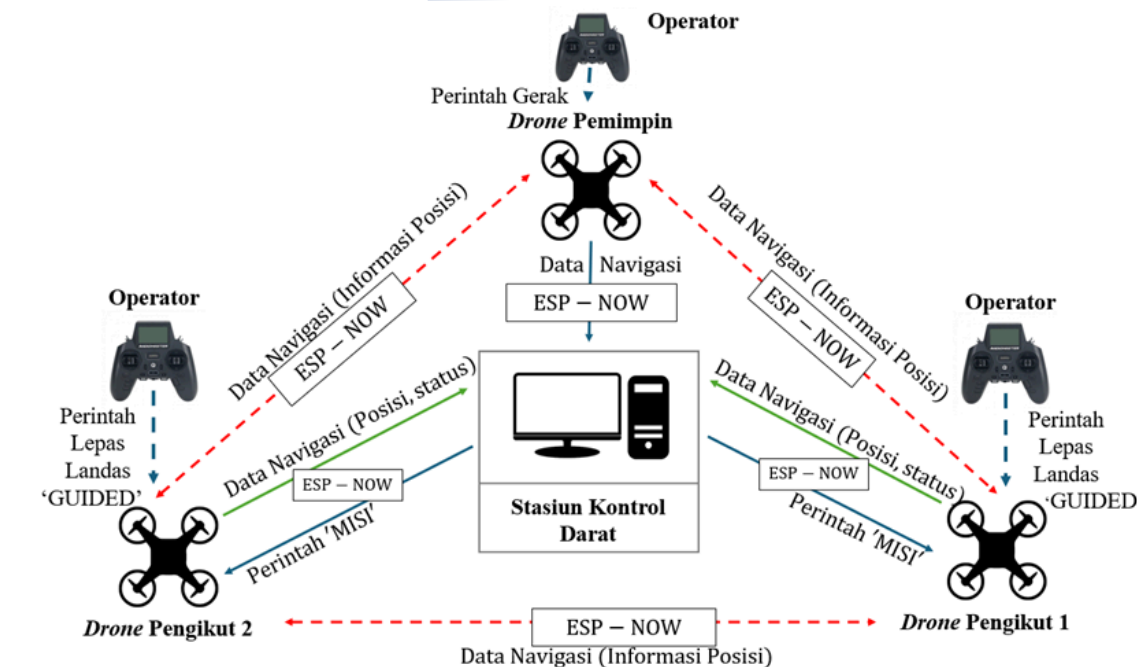
Perkembangan teknologi otonom, kontrol otomatis, dan kecerdasan buatan mendorong penerapan *drone* dalam misi kolaboratif seperti pemetaan, militer, dan sipil. Dengan demikian, muncul kebutuhan akan sistem *drone* jamak yang andal. Pendekatan kontrol formasi pemimpin-pengikut menjadi populer karena mampu menyederhanakan koordinasi antar *drone* dengan tetap menjaga kestabilan dan efisiensi. Namun, keberhasilan formasi sangat bergantung pada komunikasi *real-time* antar *drone*. Komunikasi berbasis Wi-Fi meski efektif, memiliki kelemahan seperti ketergantungan pada titik pusat. Oleh karena itu, penelitian ini mengembangkan sistem *drone* jamak berbasis ESP-NOW yang mendukung komunikasi langsung antar *drone* tanpa infrastruktur tambahan, untuk memungkinkan kontrol formasi yang stabil, sinkron, dan efisien.

TUJUAN PENELITIAN

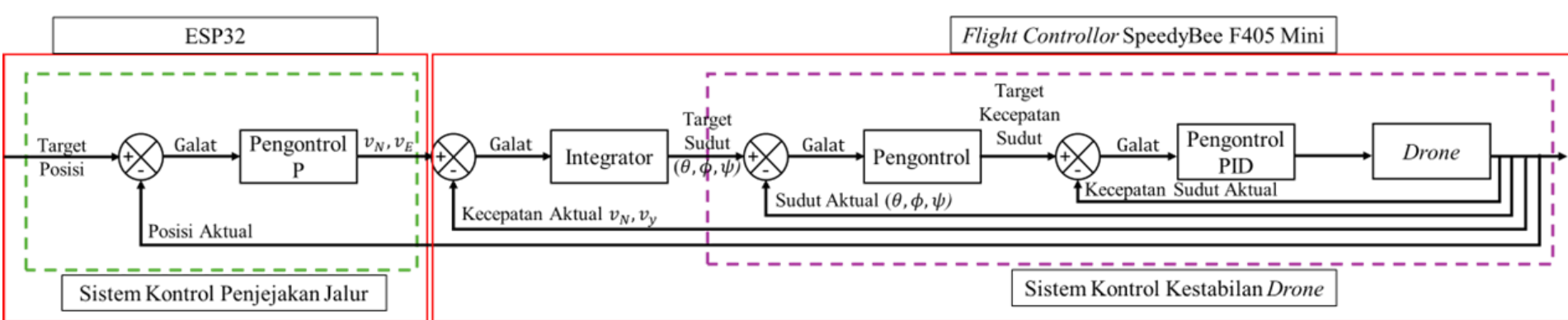
- Merancang sistem *drone* jamak dengan formasi pemimpin-pengikut, termasuk memilih dan mengembangkan perangkat keras yang mendukung komunikasi desentralisasi.
- Mengembangkan arsitektur komunikasi desentralisasi berbasis ESP32 yang mudah diterapkan, memiliki latensi rendah (<20 ms), dan mampu menjaga formasi dengan galat posisi < ±50 cm dan galat sudut < ±10°.
- Merancang kontrol posisi dan formasi agar *drone* pengikut dapat mengikuti jalur dan menjaga formasi berdasarkan pergerakan *drone* pemimpin.

METODOLOGI

Arsitektur Komunikasi



Sistem Kontrol Drone

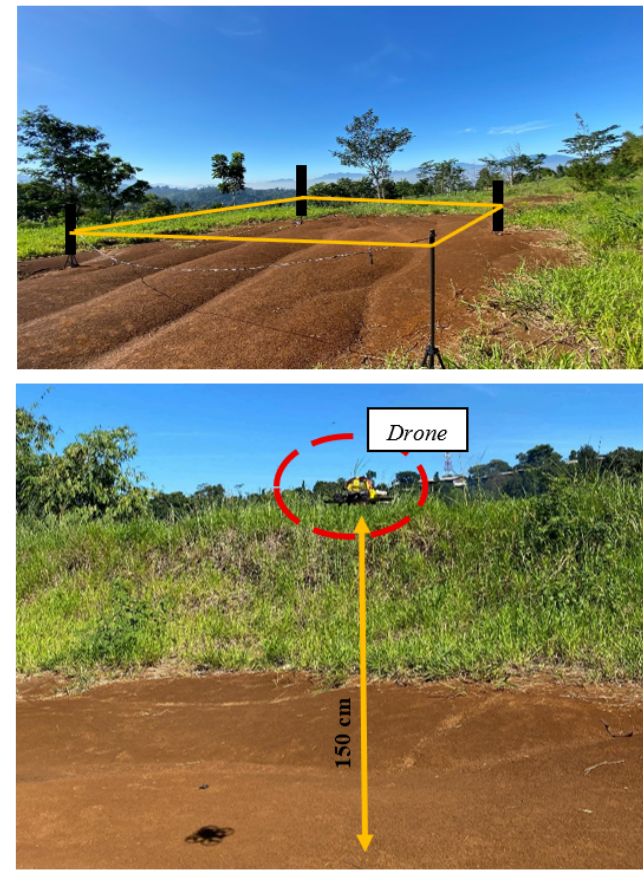
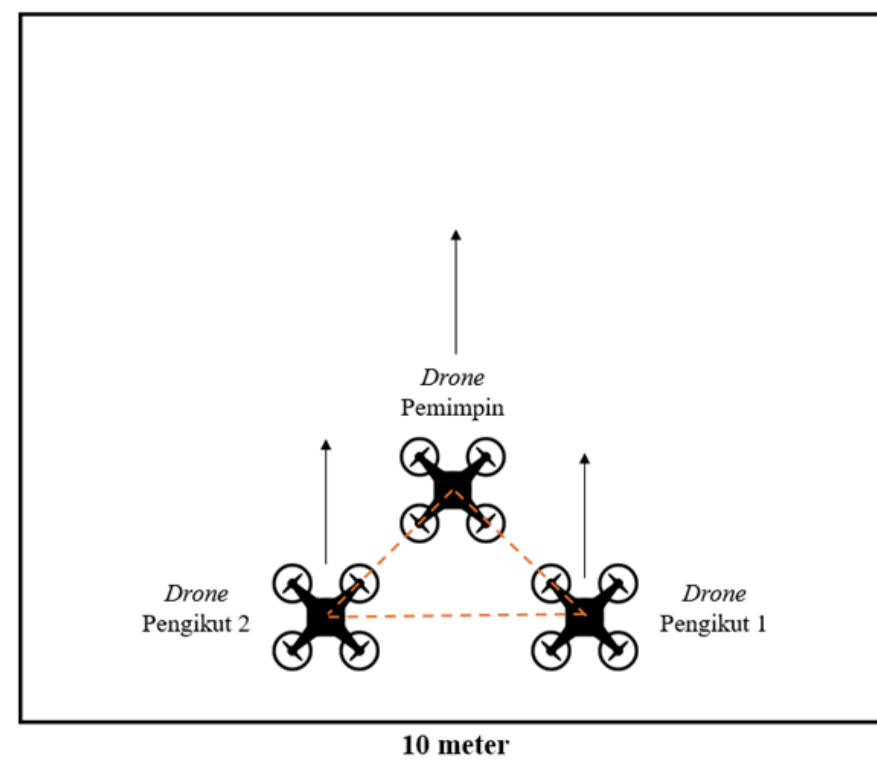


KESIMPULAN

Sistem *drone* jamak dengan formasi pemimpin-pengikut berhasil dibangun dan diuji menggunakan ESP32. Komunikasi antar *drone* menggunakan ESP-NOW menunjukkan latensi rendah (rata-rata 18,7 ms), cukup responsif untuk menjaga formasi waktu nyata. *Drone* pengikut mampu mengikuti pergerakan pemimpin dengan galat posisi rendah (RMSE ~30 cm) dan mempertahankan formasi segitiga dengan arah yang konsisten (RMSE galat sudut <7°). Sistem kontrol dan komunikasi yang dirancang terbukti efektif dan efisien untuk implementasi *drone* jamak secara desentralisasi. Dengan demikian, Sistem kontrol ini telah berhasil diimplementasikan secara langsung pada mikrokontroler ESP32 dengan kinerja yang baik dan waktu eksekusi yang cukup sepat, sehingga memungkinkan penerapan pada sistem *drone* jamak secara waktu nyata.

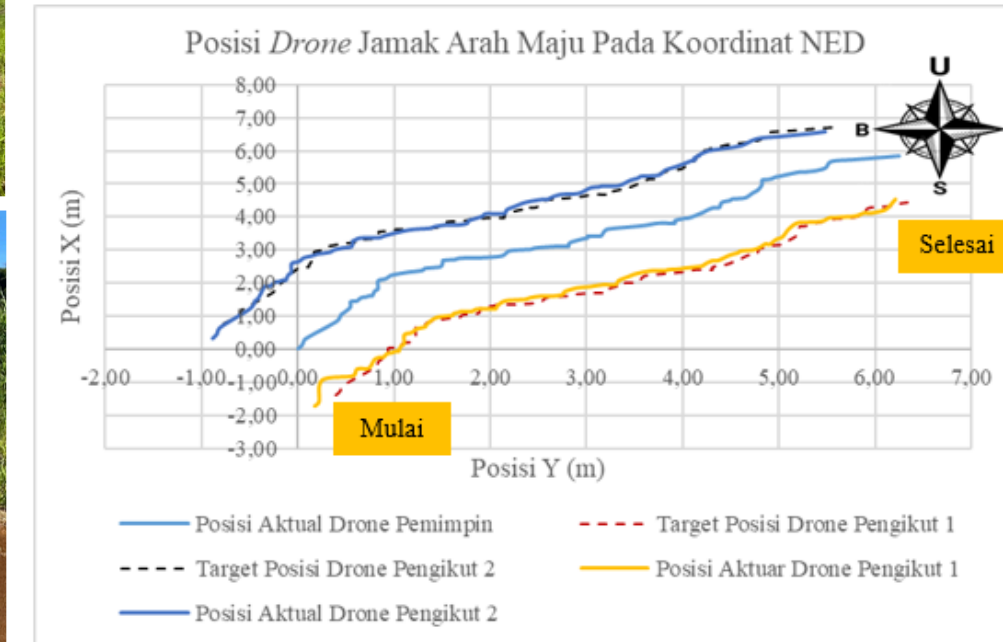
Eridani, D., Rochim, dan Cesara, F., N. (2021): Comparative Performance Study of ESP-NOW, Wi-Fi, Bluetooth Protocols based on Range, Transmission Speed, Latency, Energy Usage and Barrier Resistance.

AREA PENGUJIAN

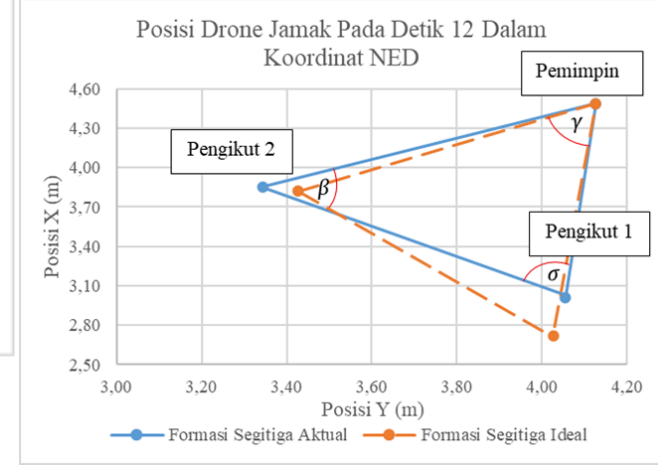
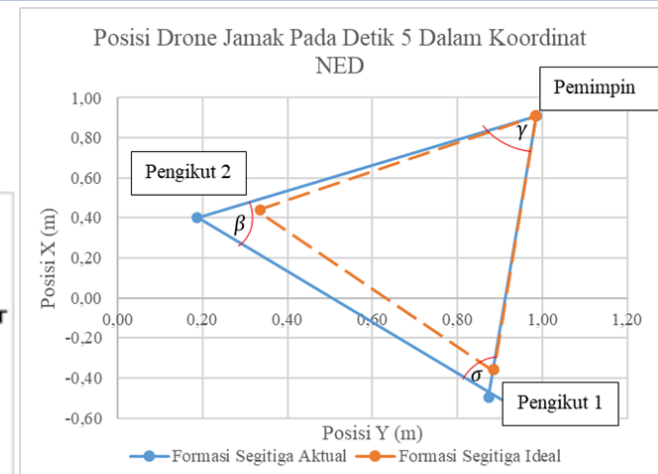


PENGUJIAN FORMASI DRONE JAMAK

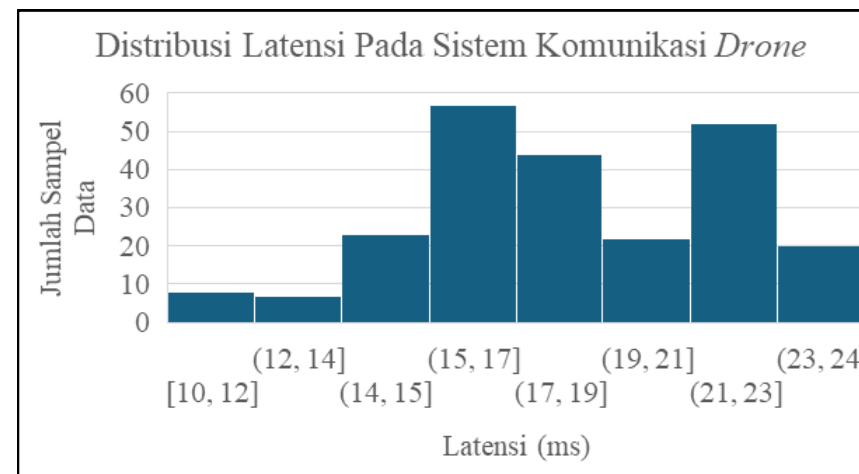
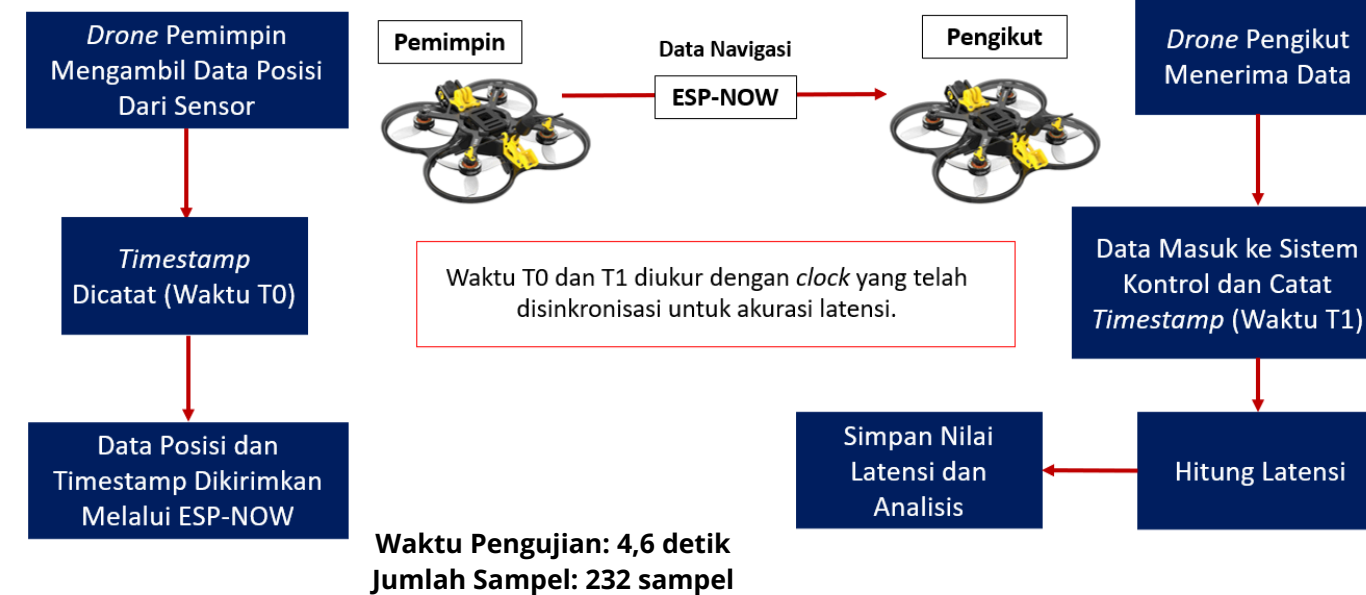
Drone Bergerak Maju



Detik 5			Detik 12		
σ (°)	γ (°)	β (°)	σ (°)	γ (°)	β (°)
52,6	68,6	58,8	58,3	66,1	55,6



PENGUJIAN LATENSI KOMUNIKASI DRONE

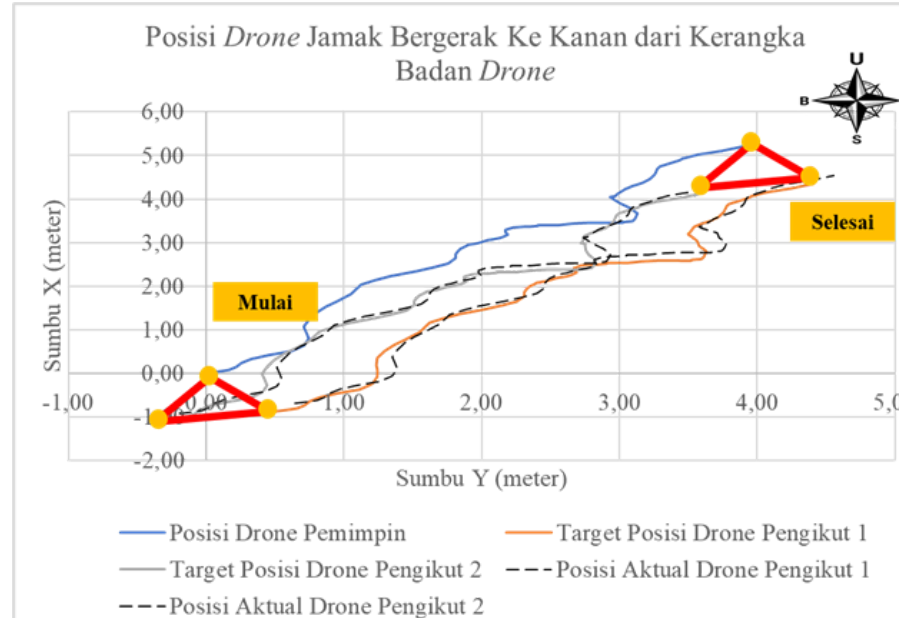


Distribusi stabil, mendukung bahwa komunikasi ESP-NOW stabil

Latensi 18,7 ms. Dampak ke keterlambatan posisi sekitar 0,95 cm pada kecepatan 0,5 m/s.

- Rata-Rata Latensi : 18,7 ms
- Minum Latensi : 10 ms
- Maksimum Latensi: 24 ms
- Modus: 15 - 17 ms dan 21 - 23 ms

Drone Bergerak Ke Samping



Evaluasi Panjang Sisi Formasi Segitiga

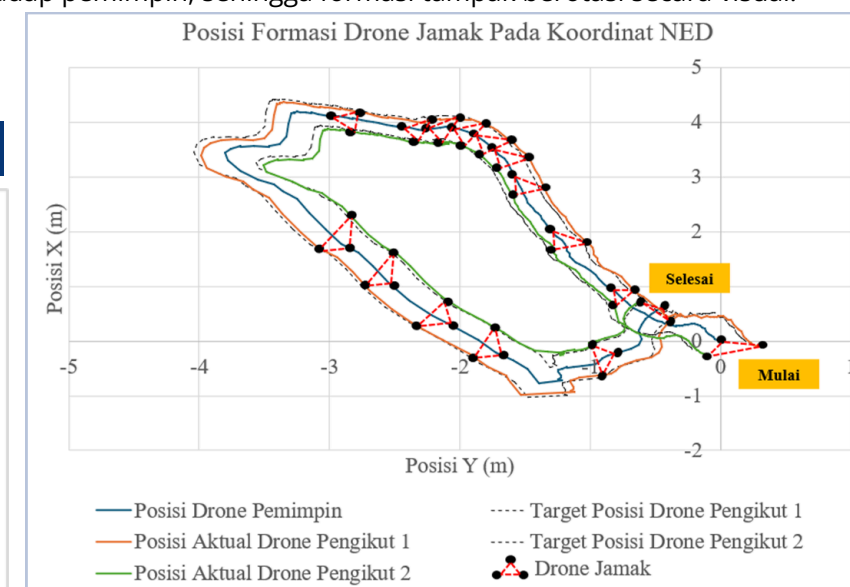
	Sisi A	Sisi B	Sisi C
Nilai Rata-Rata Galat	13,2 cm	14,2 cm	13,2 cm
Simpangan Baku Galat	8,5 cm	12,9 cm	6,4 cm
Deviasi Maksimum	36 cm	51 cm	35 cm
RMSE	15,7 cm	19,3 cm	14,7 cm

Galat sisi B menunjukkan simpangan baku tertinggi sebesar 12,9 cm dan nilai RMSE terbesar (19,3 cm) dibandingkan galat sisi A dan C

Sistem kontrol yang dirancang bekerja secara efektif dalam menjaga konsisten formasi dan mengikuti lintasan yang ditargetkan

Drone Bergerak Pola Persegi

Pergerakan *drone* pemimpin dikendalikan secara manual searah dengan yaw-nya, sementara *drone* pengikut tidak mengatur yaw sehingga tidak mengikuti orientasi tubuh pemimpin. Akibatnya, saat pemimpin berbelok pada pola persegi, pengikut bergerak memutar secara relatif (pivot) terhadap pemimpin, sehingga formasi tampak berotasi secara visual.



	Sisi A	Sisi B	Sisi C
Nilai Rata-Rata Galat	4,4 cm	5,3 cm	5,1 cm
Simpangan Baku Galat	5,7 cm	5,8 cm	5,8 cm

Drone	E_{xw} (cm)	E_{yy} (cm)	RMSE (cm)
Pengikut 1	19	23	30
Pengikut 2	20	24	31