



INTISARI

SISTEM KENDALI *QUADROTOR* BERBASIS *INPUT* GESTUR TANGAN

Oleh

Ikhlasul Amal Abda'i

22/503512/PA/21642

Pengendalian *quadrotor* menggunakan pengendali jarak jauh konvensional seringkali kurang intuitif bagi pengguna, sehingga penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem kendali berbasis gestur tangan menggunakan *wearable device* yang mengintegrasikan algoritma *Extended Kalman Filter* (EKF) dan *Linear Quadratic Regulator* (LQR). *Wearable device* ini dirancang menggunakan mikrokontroler ESP32 dan sensor IMU BNO055 untuk mendeteksi orientasi tangan, di mana algoritma EKF dengan pendekatan *quaternion* diterapkan untuk meminimalisir *noise* sensor dan mengatasi fenomena *gimbal lock* yang menyebabkan ketidakstabilan. Data referensi dikirimkan secara nirkabel melalui protokol ESP-NOW ke *flight controller* berbasis Teensy 4.1. Metode LQR pada *quadrotor* digunakan untuk menjaga kestabilan terbang dengan merespon perubahan *setpoint*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa estimator EKF mampu menghasilkan data orientasi yang halus tanpa efek *gimbal lock*, dengan standar deviasi sudut *roll* sebesar $0,12^\circ$. Implementasi kendali LQR terbukti responsif dalam mengatasi gangguan dengan rata-rata *rise time* di bawah 1,9 detik, *settling time* kurang dari 3,8 detik, dan *overshoot* maksimum di bawah 20%. Sistem juga mampu menjejak gestur tangan dengan akurasi tinggi, mencapai 95,11% pada sumbu *yaw*, 94,69% pada *pitch*, dan 90,63% pada *roll*, yang dikonfirmasi oleh nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) berturut-turut sebesar 1,26°, 1,38°, dan 1,02°. Selain itu, performa komunikasi nirkabel menunjukkan stabilitas tinggi dengan latensi tertinggi tercatat sebesar 1,122 ms pada jarak pengujian terjauh 15 meter, serta keberhasilan pengiriman data mencapai 100%.

Kata kunci: *quadrotor*, gestur tangan, EKF, LQR

ABSTRACT

QUADROTOR CONTROL SYSTEM BASED ON HAND GESTURE INPUT

By

Ikhlasul Amal Abda'i

22/503512/PA/21642

Quadrotor control using conventional remote controllers is often unintuitive for users; therefore, this study aims to develop a hand gesture-based control system using a wearable device that integrates Extended Kalman Filter (EKF) and Linear Quadratic Regulator (LQR) algorithms. The wearable device is designed using an ESP32 microcontroller and a BNO055 IMU sensor to detect hand orientation, where the EKF algorithm with a quaternion approach is applied to minimize sensor noise and overcome the gimbal lock phenomenon that causes instability. Reference data is transmitted wirelessly via the ESP-NOW protocol to a Teensy 4.1-based flight controller. The LQR method on the quadrotor is utilized to maintain flight stability by responding to setpoint changes. Test results show that the EKF estimator is capable of producing smooth orientation data without gimbal lock effects, with a roll angle standard deviation of 0.12° . The LQR control implementation proves responsive in handling disturbances with an average rise time under 1.9 seconds, settling time less than 3.8 seconds, and maximum overshoot below 20%. The system is also capable of tracking hand gestures with high accuracy, reaching 95.11% on the yaw axis, 94.69% on pitch, and 90.63% on roll, confirmed by Root Mean Square Error (RMSE) values of 1.26° , 1.38° , and 1.02° , respectively. Furthermore, wireless communication performance demonstrates high stability with a maximum recorded latency of 1.122 ms at the farthest test distance of 15 meters, achieving a 100% data transmission success rate.

Keywords: quadrotor, hand gesture, EKF, LQR