

ABSTRAK

Penangkapan ikan secara ilegal atau juga disebut sebagai *illegal fishing* menjadi masalah utama kerugian suatu negara dan menjadi kendala dalam merusak ekosistem yang ada di laut secara cepat (keanekaragaman hayati menjadi berkurang). Salah satu cara untuk mengatasi penangkapan ikan secara berlebihan dan ilegal ini adalah dengan mengawasi daerah perlautan secara ketat melalui perantara teknologi, seperti drone pengawas daerah lautan. Sebagai salah satu langkah untuk pembuatan drone pengawas daerah lautan, adanya beberapa hal yang harus diperhatikan seperti sistem navigasi dan sistem kendali. Untuk sistem navigasi *quadrotor* biasanya menggunakan beberapa sensor terkait dengan orientasi dan ketinggian dari *quadrotor* itu sendiri. Dengan adanya sistem navigasi ini bisa melengkapi untuk sistem kendali *quadrotor*. Salah satu sistem kendali yang diprioritaskan adalah stabilisasi *quadrotor*.

Capstone design ini bertujuan untuk mendesain *Controller* sendiri dengan menggunakan mikrokontroler agar dapat dirancang dengan sistem kendali otomatis atau *autopilot*. Sistem kendali ini akan berfungsi secara baik dengan sistem akuisisi data yang baik. Akuisisi data yang diperlukan antara lain akselerometer, giroskop, magnetometer, dan jarak. Akuisisi data ini bertujuan untuk mengolah keempat data tersebut menjadi orientasi dan ketinggian. Pengolahan data orientasi dilakukan dengan algoritma estimasi orientasi *Madgwick Filter* dan *Kalman Filter* berbasis quaternion dari akselerometer, giroskop, dan magnetometer. Alasan penggunaan quaternion adalah kemampuan untuk meniadakan *gimbal-lock*. Di lain hal, kalibrasi juga dilakukan ke ketiga sensor. Sensor akselerometer dan giroskop dapat dikalibrasikan dengan cara merata-ratakan dari 10000 sampel, sedangkan kalibrasi sensor magnetometer dilakukan dengan metode *least square ellipse fitting*. Hasil fusi dari ketiga sensor dan kalibrasi yang baik akan memperoleh nilai orientasi dengan RMSE yang rendah. Begitu juga, untuk pengolahan data ketinggian hanya menggunakan algoritma *state estimation Kalman Filter* yang disertai dengan kalibrasi dan pergeseran skala (*bias*) sebagai pertimbangan.

Pengujian keakuratan terhadap sensor IMU (*Inertial Measurement Unit*) dan sensor jarak dilakukan dengan cara memperoleh nilai galat kesalahan dalam bentuk *Root Mean Square Error* (RMSE). Hasil *error* paling minimum dengan *Madgwick Filter* $\beta = 0.01$ dan kecepatan proses data 400 Hz dengan representasi *euler* dalam bentuk *homogenous* dengan $RMSE < 1.705^\circ$.

Selain perancangan navigasi yang akurat, sistem *quadrotor* untuk dapat melaksanakan tugas dengan baik juga membutuhkan perancangan sistem kendali. Terutama untuk tujuan pengawasan daerah laut yang memiliki dinamika yang sangat alami seperti kecepatan udara yang tidak teratur

sehingga jika sistem kendali nya tidak dapat mengatasi gangguan tersebut, *quadrotor* tidak akan dapat bekerja dengan semestinya.

Sistem kendali adaptif berprinsip pada menjamin suatu sistem agar dapat beradaptasi dengan kondisi apapun yang terjadi pada robot, selama masih dalam batasan aktuator. Namun selama ini, Model Reference Adaptive Control (MRAC) sebagai jenis sistem kendali adaptif yang paling sering diimplementasikan, masih bermasalah pada *robustness*, karena mengakibatkan *control effort desired* berfrekuensi tinggi akibat penentuan nilai *gain*, sedangkan kemampuan aktuator terbatas, sehingga jika effort yang dihasilkan aktuator tidak memenuhi *desired control effort*, maka sistem tidak stabil.

Untuk mengatasi kondisi tersebut, diperkenalkan sistem kendali kendali adaptif \mathcal{L}_1 yang berprinsip pada modifikasi MRAC, dengan memindahkan bagian berfrekuensi tinggi ke reference model yang merupakan model virtual yang menjadi acuan sistem robot *quadrotor*. Setelah dipindahkan, bagian berfrekuensi tinggi tersebut kemudian difilter menggunakan *Low Pass Filter* (LPF). Proses ini mengakibatkan *desired control effort* yang dihasilkan oleh *controller* memenuhi spesifikasi frekuensi tertentu yang dapat dibangkitkan oleh aktuator. Sehingga *robustness* tetap terjaga.

Kata kunci: *Quadrotor*, Quaternion, *Madgwick Filter*, *Kalman Filter*, IMU, *least square ellipse fitting*, MRAC, kendali adaptif \mathcal{L}_1 .

ABSTRACT

Activity of catching fishes illegally, so-called illegal fishing, has become a majority problem which causes disadvantage or loss to the current country. The other problem, accelerating the ruining of marine ecosystem, has alleviated marine biodiversity. One of the solutions which has been suggested to solve the problem of overwhelming catching fishes activity is to supervise the sea areas strictly using cutting-edge technology such as marine monitoring drone. In order to design it, there will be two systems that need to be understood. The systems are navigation system and control system. In this navigation system, the drone will be complemented with many sensors to define the orientation, position, and altitude of the quadrotor. This system is required to design the next step such as the control system of drone. One of the task is stabilize the quadrotor horizontally and vertically during the execution of actuators.

The vision of this capstone design is to design own controller merely with microcontroller for applying autonomous control system or autopilot system to the drone. This control system will only work well with impressive acquisition data system. Acquisition data of attitude and altitude of quadrotor in this experiment are consecutively obtained from sensor fusion of accelerometer, gyroscope, magnetometer, and distance. Processing of these data aims to determine the orientation and the height between the drone and surface of the earth. There are two algorithms to process data to estimate the orientations such as Madgwick Filter and Kalman Filter based-on quaternion space. The plausible reason of using quaternion space is to avoid the condition of gimbal-lock. On the other hand, calibration or tuning method is also applied to all integrated sensors. The calibration of accelerometer, gyroscope and distance is performed by averaging 10000 sample into a specific value to consider the steady error. Nevertheless, the calibration of magnetometer use a different way which is the methodology of least square ellipse fitting specific. The estimation of discrepancy distance vertically with surface of the earth is processed by using Kalman Filter to reduce the bias error effect of the sensor.

The accuracy test of IMU(Inertial Measurement Unit) sensor and distance sensor are experimented by obtaining error percentage using Root Mean Square Error. The best result of minimum error is performed using Madgwick Filter $\beta=0.01$ with the clock of processing data 400 Hz transforming into homogenous euler representation with RMSE <1.705 .

To perform properly, beside accurate navigation system design, it also need proper control system. Especially for the purpose of monitoring marine areas which have natural dynamics such as

irregular airspeed, so that, if the control system cannot overcome the interference, the quadrotor will not be able to work properly.

The adaptive control system has the principle of ensuring system is able to adapt to any conditions that occur in the robot, as long as it is still within actuator limitation. However, so far, Model Reference Adaptive Control (MRAC) as the type of adaptive control system that is most often implemented, still has problems with robustness, because it results in high-frequency desired control effort due to the determination of gain value, while the actuator's capabilities are limited, so that if the effort generated by the actuator does not meet the desired control effort, then the system is instable.

To overcome this condition, \mathcal{L}_1 Adaptive Control System based on MRAC modification was introduced, by moving the high-frequency part to the reference model which is a virtual model that becomes the reference for the quadrotor robot system. After being moved, the high-frequency part is then filtered using a Low Pass Filter (LPF). This process results in the desired control effort generated by the controller to meet certain frequency specifications that can be generated by the actuator in order to maintain robustness.

Keywords: *Quadrotor, Quaternion, Madgwick Filter, Kalman Filter, IMU, least square ellipse fitting, MRAC, \mathcal{L}_1 Adaptive Control.*

RINGKASAN EKSEKUTIF

Salah satu peristiwa yang sering terjadi di daerah perbatasan yang dapat merugikan negara adalah kegiatan penangkapan ikan secara berlebihan atau illegal. Kegiatan illegal ini baik dilakukan secara sengaja maupun tidak sengaja tetap merugikan suatu negara dan mengurangi atau dapat menyebabkan kepunahan makhluk hidup di dalam lautan yang luas. Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem pengawasan yang handal, ketat, dan fleksibel. Sistem pengawasan yang diajukan dalam naskah ini berupa drone atau *quadrotor*. Sistem ini dikatakan fleksibel dengan *quadrotor* lepas landas dan mendarat dari ke kapal patroli yang sedang melaju di pertengahan laut. *Quadrotor* juga dikategorikan sebagai suatu perangkat dengan sistem yang handal karena koordinasinya berbagai macam *quadrotor* dapat berkomunikasi satu sama lain untuk memperluas daerah pengawasan di perairan. Sistem ini secara konsekuensial juga dapat mengawasi daerah laut secara ketat dengan kondisi jika suatu *quadrotor* mengalami kerusakan dapat digantikan dengan *quadrotor* lainnya di sekitarnya.

Sistem hasil rancangan *quadrotor* pada makalah ini dimulai dengan akuisisi data dari berbagai macam sensor sampai dengan pengendalian *quadrotor*(drone) dalam orientasi dan *Altitude* (ketinggian) dari drone itu sendiri. Data orientasi ini berperan sangat penting dalam menentukan stabilisasi *quadrotor*, sehingga dalam keadaan miring, drone mempunyai kemampuan untuk kembali ke *state* awal tanpa harus menggunakan *remote control*, melainkan secara otomatis dapat kembali ke sudut kemiringan awal, yaitu mendekati sudut 0 derajat di ruang berdimensi tiga. Hasil rancangan pada makalah ini juga bisa mengatur keempat motor dengan kecepatan yang sama walaupun karakteristik setiap motor itu berbeda-beda. Hasil dari sistem perancangan ini memungkinkan sistem stabilisasi orientasi dapat dipenuhi secara maksimal yang didukung dengan pengolahan data dari berbagai macam sensor. Pengolahan data ini sangat krusial dalam mencegah batasan-batasan *quadrotor* itu sendiri. Batasan ini juga sering terjadi pada saat drone berada pada kemiringan 90 derajat, yang dinamakan sebagai *gimbal-lock*.

Drone yang dirancang juga memiliki sistem stabilisasi berupa mengambang di udara pada ukuran ketinggian yang terukur dari sensor. Metode-metode yang digunakan untuk memuluskan sistem dengan penentuan seberapa kuat motor atau seberapa kencang baling-baling motor pada *quadrotor*. Setiap baling-baling akan diatur sedemikian pula dengan kecepatan yang sama untuk mempertahankan posisi secara vertikal. Kinerja, stabil, dan sistem *back-up* juga dapat dilakukan secara maksimal mungkin dengan mencuplik hanya beberapa data sampel untuk pemrosesan data lebih cepat. Secara keseluruhan,

makalah ini dibuat dengan tujuan untuk meriilisasikan satu langkah untuk menciptakan sistem terpadu dan aman dengan menggunakan teknologi terutama di daerah laut.