

MAKALAH KONTROL OTOMATIK LANJUT



Pendaratan Otomatis *Quadcopter* Pada Platform yang Bergerak Menggunakan Neuro Fuzzy

Disusun oleh:

Eka Wahyu Prasajo/02311950010009

**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020**

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Quadcopter adalah satu dari beberapa teknologi *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) yang paling populer yang dapat dioperasikan dengan menggunakan *remote control* maupun secara *autonomous*. Dalam merancang *Quadcopter*, hal utama yang menentukan keberhasilan dalam perancangannya yaitu memiliki keseimbangan yang baik saat terbang, terutama pada gerak rotasi dan translasi yang sangat mempengaruhi terbang *Quadcopter*. *Quadcopter* merupakan jenis helikopter dengan empat buah motor yang digunakan untuk memutar propeler secara bersamaan agar dapat terbang di udara dan dipasang simetris pada ujung-ujung kerangka utama. Motor depan dan belakang bekerja dengan arah putarannya searah jarum jam (*clockwise*), sedangkan motor kanan dan motor kiri bekerja dengan arah putarannya berlawanan arah jarum jam (*counter clockwise*)[1]. Seiring dengan perkembangannya, pada saat ini sudah banyak dilakukan riset mengenai konfigurasi *Quadcopter* dengan berbagai macam *frame* pendukungnya. Pada setiap penggunaannya, *Quadcopter* dengan jenis *frame* yang digunakan pasti memiliki sistem kendali dan tingkat *maneuverability* yang berbeda-beda. Sistem pengendali penerbangan berfungsi untuk mengendalikan *quadcopter* dengan cara memberikan sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM) ke ESC, selanjutnya ESC akan mengatur kecepatan keempat motor. *Quadcopter* dapat terbang ke arah sumbu x , y , dan z dengan pergerakan putaran ke arah sumbu x dipengaruhi oleh torsi *roll*, pergerakan putaran ke arah sumbu y dipengaruhi oleh torsi *pitch*, pergerakan secara vertikal dipengaruhi oleh gaya *thrust*, dan pergerakan putaran terhadap sumbu z yang dipengaruhi oleh torsi *yaw*[2]. *Quadcopter* dapat terbang dengan stabil apabila pengendali yang digunakan memiliki unjuk kerja yang baik. Riset mengenai UAV khususnya *quadcopter* semakin banyak dilakukan dan Matilde Santos [3] dalam penelitiannya Intelligent Fuzzy Controller of a *quadcopter* dihasilkan gerak *quadcopter* yang baik saat terbang menuju ke ketinggian yang direncanakan, pengaturannya dengan menggabungkan pengendali PID dengan fuzzy controller. Hal ini menunjukkan bahwa fuzzy controller baik digunakan untuk sistem nonlinier yaitu *quadcopter*.

Pendaratan merupakan fase paling krusial pada penerbangan *quadcopter* dimana proses sebelum pendaratan yaitu hover harus terlebih dahulu didapatkan sebelum proses mendarat dengan menjaga kestabilan terbang *quadcopter*. Ukuran yang kecil dari *quadcopter* menjadikan UAV tersebut sulit untuk mendapatkan pengendalian kecepatan turun dan kestabilannya. Gangguan angin merupakan faktor yang sering muncul mempengaruhi

kestabilan *quadcopter* pada saat melakukan pendaratan. Terlebih lagi pendaratan yang akan dicapai memiliki gerakan roll atau pitch yang merepresentasikan gelombang air. Riset menggunakan RC helikopter untuk pendaratan pada tempat yang bergerak oleh F. Saghafi [4] automatic landing of small helicopter pada tempat yang memiliki 4 derajat kebebasan cukup baik performa kontrol SDRE dengan kompensator pada kondisi proses pendaratan.

Auto landing menjadikan proses pendaratan pada tempat yang bergerak ritmik berfrekuensi 0.1Hz dapat dilakukan dengan baik menggunakan neuro fuzzy. Kontroler neuro fuzzy digunakan untuk mengetahui posisi ketinggian terhadap platform yang bergerak sehingga *quadcopter* mampu mendarat pada platform yang mempunyai gerakan roll dan pitch pada saat platform dalam keadaan mendarat. Kestabilan untuk mendarat digunakan kontroler PD agar posisi sudut roll dan pitch bernilai 0.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang digunakan dalam merancang kontrol neuro fuzzy pada *quadcopter* adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana merancang desain kontrol neuro fuzzy pada sistem *quadcopter*?
2. Bagaimana analisa pengaruh kontrol neuro fuzzy sebagai pengendali pendaratan pada *quadcopter*?

1.3 Tujuan

Adapun tujuan yang digunakan dalam merancang kontrol neuro fuzzy pada *quadcopter* adalah sebagai berikut :

1. merancang desain kontrol neuro fuzzy pada sistem *quadcopter*?
2. menganalisa pengaruh kontrol neuro fuzzy sebagai pengendali pendaratan pada *quadcopter*?

1.4 Batasan Masalah

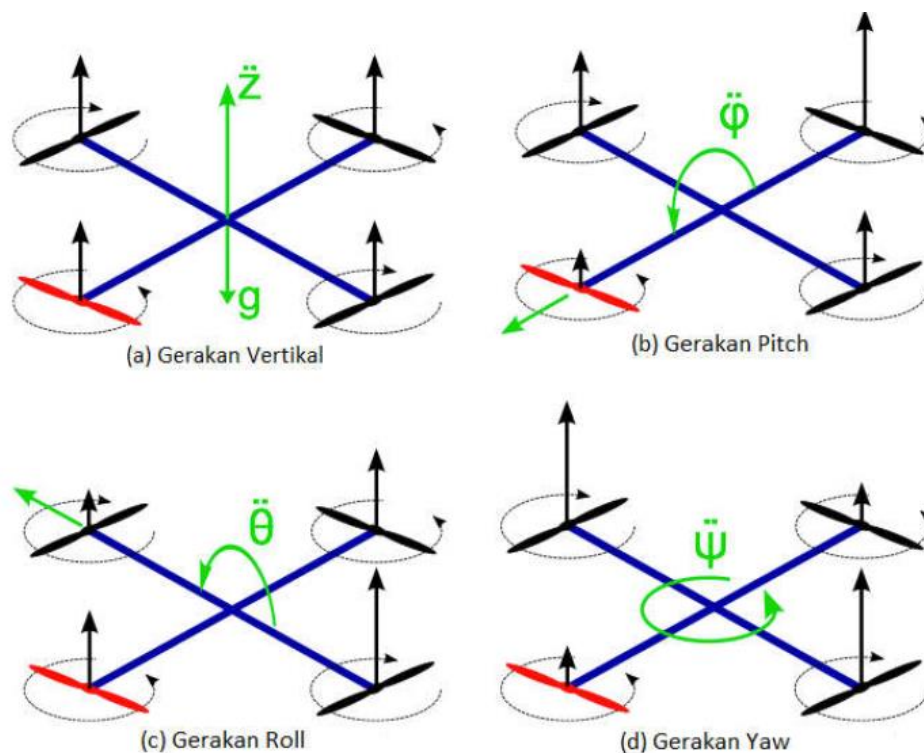
Adapun batasan masalah yang digunakan dalam merancang kontrol neuro fuzzy pada *quadcopter* adalah sebagai berikut :

1. Desain kontrol dilakukan dan disimulasikan menggunakan software matlab
2. Kontrol yang digunakan yaitu neuro fuzzy dengan layer yang digunakan pada perancangan neuro terdiri dari 5 layer.

BAB II DASAR TEORI

2.1 Quadcopter

Quadcopter adalah jenis *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) yang termasuk kategori UAV mikro dan banyak digunakan oleh industri, instansi pendidikan, maupun masyarakat umum. Robot Quadcopter ini memiliki ciri yang *unique* yang mudah untuk dikenali yaitu sesuai namanya memiliki empat buah baling-baling motor pada keempat sisinya yang digunakan sebagai penggeraknya.



Gambar 2.1 jenis gerakan pada *quadcopter*

Gerakan pada quadrotor dibagi menjadi 4 gerakan dasar [5]. Gerakan pertama adalah gerakan vertikal, merupakan gerakan bergerak naik dan turun. Gerakan ini terjadi karena perbedaan kecepatan tiap-tiap motor dengan kecepatan nominal. Apabila kecepatan motor 1-4 melebihi kecepatan nominal maka quadrotor akan bergerak naik dan sebaliknya apabila kecepatan motor 1-4 dibawah kecepatan nominal maka quadrotor akan bergerak turun.

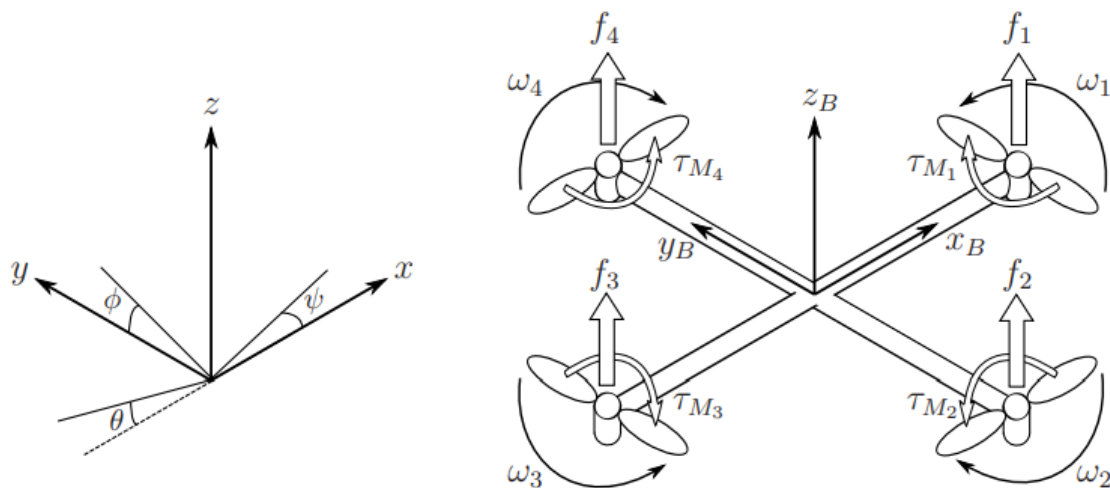
Gerakan yang kedua adalah gerakan roll, yaitu perubahan sudut yang bernilai positif maupun negatif terhadap sumbu X. Gerakan ini dihasilkan dari perbedaan kecepatan antara motor 2 dan 4. Apabila kecepatan motor 2 melebihi kecepatan motor 4 maka yang terjadi adalah roll kiri dan begitupula sebaliknya apabila kecepatan motor 2 lebih rendah daripada kecepatan motor 4 maka yang terjadi adalah roll kanan.

Gerakan ketiga yang ada pada quadrotor adalah gerakan pitch. Gerakan ini sama pada gerakan roll namun perubahan sudutnya terhadap sumbu Y. Motor yang berpengaruh untuk menghasilkan gerakan ini adalah motor 1 dan motor 3. Apabila kecepatan motor 1 lebih cepat dibandingkan motor 3 maka gerakan yang terjadi adalah pitch mundur. Namun apabila kecepatan motor 3 lebih cepat dibandingkan kecepatan motor 1 maka yang terjadi adalah pitch maju.

Gerakan yang terakhir adalah gerakan yaw. Gerakan ini dihasilkan karena perbedaan putaran pasangan motor 1 & 3 serta motor 2 & 4. Ketika motor 1 & 3 putarannya lebih cepat dibandingkan dengan motor 2 & 4 maka yang terjadi adalah yaw kiri begitu pula sebaliknya ketika motor 2 & 4 lebih cepat putarannya dibandingkan putaran motor 1 & 3 maka yang terjadi adalah yaw kanan.

2.2 Model Matematis Quadcopter

Untuk mempermudah dalam merancang model matematis quadcopter maka persamaan direpresentasikan dalam mode state space yang terdiri dari sudut roll (ϕ), sudut pitch (θ), sudut yaw (ψ), kecepatan angular roll ($\dot{\phi}$), kecepatan angular pitch ($\dot{\theta}$), kecepatan angular yaw ($\dot{\psi}$), posisi quadcopter (x, y, z) dan kecepatan quadcopter ($\dot{x}, \dot{y}, \dot{z}$). Adapun model *quadcopter* dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.2 Model *quadcopter*

Salah satu cara untuk memperoleh model matematis *quadcopter* yaitu dengan menggunakan persamaan Newton-Euler [6]. Gerak translasi quadcopter didapatkan berdasarkan persamaan hukum Newton II, didapatkan persamaan sebagai berikut :

$$F_g - F_{thrust} + d_F = m\dot{v} + \omega \times mv \quad (1)$$

dengan

F_g = gaya gravitasi

F_{thrust} = matriks rotasi dari *vertical thrust* $[0 \ 0 \ u1]^T$

d_F = *External distrubance* $[d_x \ d_y \ d_z]^T$

\dot{v} = Percepatan *quadcopter* $[\dot{x} \ \dot{y} \ \dot{z}]^T$

ω = kecepatan *angular* $[\dot{\phi} \ \dot{\psi} \ \dot{\theta}]^T$

v = kecepatan linier $[x \ y \ z]^T$

Sehingga didapatkan persamaan state space gerak translasi sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ mg \end{bmatrix} - (R_z(\psi) \cdot R_y(\theta) \cdot R_x(\phi)) \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ u1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} d_x \\ d_y \\ d_z \end{bmatrix} = m \left[\begin{bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{y} \\ \ddot{z} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \end{bmatrix} \right] \quad (2)$$

Sedangkan gerak rotasi dapat diperoleh dari persamaan sudut euler sistem III yang dapat ditulis sebagai berikut :

$$R_z(\psi) \cdot R_y(\theta) \cdot R_x(\phi) = \begin{bmatrix} c_\theta c_\psi & s_\phi s_\theta c_\psi - c_\phi s_\psi & s_\phi s_\psi + c_\phi s_\theta c_\psi \\ c_\theta s_\psi & s_\phi s_\theta s_\psi + c_\phi c_\psi & -s_\phi c_\psi + c_\phi s_\theta s_\psi \\ -s_\theta & s_\phi s_\theta & c_\phi s_\theta \end{bmatrix} \quad (3)$$

Dengan s adalah *sin* dan c adalah *cos*. Sehingga didapatkan persamaan baru hasil substitusi persamaan sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ mg \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} c_\theta c_\psi & s_\phi s_\theta c_\psi - c_\phi s_\psi & s_\phi s_\psi + c_\phi s_\theta c_\psi \\ c_\theta s_\psi & s_\phi s_\theta s_\psi + c_\phi c_\psi & -s_\phi c_\psi + c_\phi s_\theta s_\psi \\ -s_\theta & s_\phi s_\theta & c_\phi s_\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ u1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} d_x \\ d_y \\ d_z \end{bmatrix} = m \left[\begin{bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{y} \\ \ddot{z} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \end{bmatrix} \right] \quad (4)$$

Jika diasumsikan v dan ω sama dengan 0, sehingga diperoleh \dot{v} yaitu :

$$\ddot{x} = -\frac{1}{m}(s_\phi s_\psi + c_\phi s_\theta c_\psi)U_1 + \frac{1}{m}d_x \quad (5)$$

$$\ddot{y} = -\frac{1}{m}(-s_\phi c_\psi + c_\phi s_\theta s_\psi)U_1 + \frac{1}{m}d_y \quad (6)$$

$$\ddot{z} = -\frac{1}{m}(c_\phi s_\theta)U_1 + \frac{1}{m}d_z \quad (7)$$

Rotasi Persamaan Euler dapat ditulis sebagai berikut :

$$M_b = \omega \times (I \cdot \omega) + I \cdot \dot{\omega} \quad (8)$$

dengan simbol I adalah matriks inersia dan $[U_2 \ U_3 \ U_4]^T$ adalah torsi dari *roll*, *pitch*, dan *yaw*.

$$\begin{bmatrix} U_2 \\ U_3 \\ U_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} I_{xx} \dot{\phi} \\ I_{yy} \dot{\theta} \\ I_{zz} \dot{\psi} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} I_{xx} \ddot{\phi} \\ I_{yy} \ddot{\theta} \\ I_{zz} \ddot{\psi} \end{bmatrix} \quad (9)$$

Selanjutnya, turunan dari kecepatan angular dapat ditulis sebagai berikut :

$$\ddot{\phi} = \frac{U_2 + (I_{yy} - I_{zz}) \dot{\theta} \dot{\psi}}{I_{xx}} \quad (10)$$

$$\ddot{\theta} = \frac{U_3 + (I_{zz} - I_{xx}) \dot{\phi} \dot{\psi}}{I_{yy}} \quad (11)$$

$$\ddot{\psi} = \frac{U_4 + (I_{xx} - I_{yy}) \dot{\phi} \dot{\theta}}{I_{zz}} \quad (12)$$

Persamaan *quadcopter* didapatkan sebagai berikut :

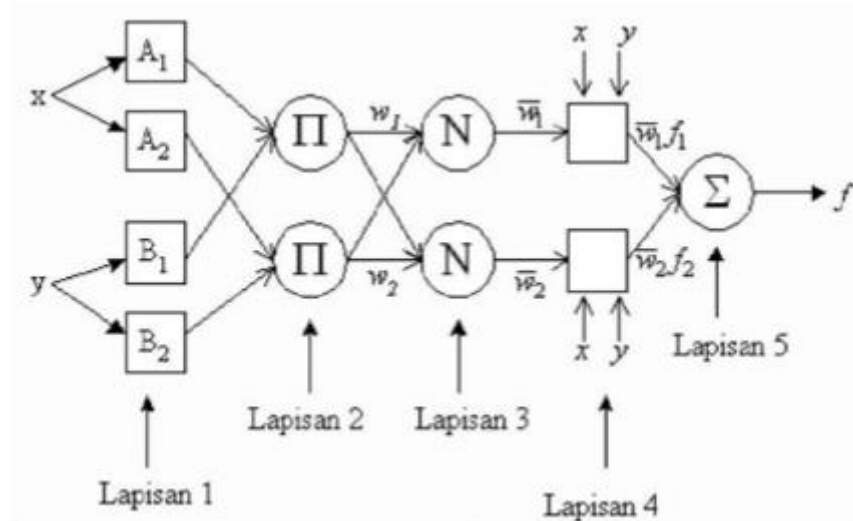
$$X = [x_1 \ x_2 \ x_3 \ x_4 \ x_5 \ x_6 \ x_7 \ x_8 \ x_9 \ x_{10} \ x_{11} \ x_{12}]^T \quad (13)$$

$$X = [x \ y \ z \ \dot{x} \ \dot{y} \ \dot{z} \ \phi \ \theta \ \psi \ \dot{\phi} \ \dot{\theta} \ \dot{\psi}]^T \quad (14)$$

Persamaan *quadcopter* memiliki dua belas *state*, yakni tiga *state* posisi $[x \ y \ z]^T$ yang terdapat pada *state* $[x_1 \ x_2 \ x_3]^T$, tiga *state* kecepatan $[\dot{x} \ \dot{y} \ \dot{z}]^T$ yang terdapat pada *state* $[x_4 \ x_5 \ x_6]^T$, tiga *state* *roll*, *pitch*, dan *yaw* $[\phi \ \theta \ \psi]^T$ yang terdapat pada *state* $[x_7 \ x_8 \ x_9]^T$, dan tiga *state* kecepatan Angular $[\dot{\phi} \ \dot{\psi} \ \dot{\theta}]^T$ yang terdapat pada *state* $[x_{10} \ x_{11} \ x_{12}]^T$.

2.3 Kontrol Neuro Fuzzy

Sistem hibrida yang menggabungkan logika fuzzy, jaringan saraf tiruan, algoritma genetika, dan kecerdasan buatan lainnya sudah banyak dikembangkan untuk menyelesaikan berbagai masalah yang berkaitan dengan optimalisasi. Konsep hibrida dikembangkan karena pada metode kecerdasan buatan ini memiliki kelebihan dan kekurangan masing masing, sehingga dengan konsep hibrida akan diperoleh suatu metode yang lebih baik dalam menyelesaikan permasalahan optimasi.



Gambar 2.3 Model kontrol *Neuro Fuzzy*

Kontroler NF (Neuro Fuzzy) merupakan sistem hibrida yang menggabungkan konsep logika fuzzy dengan jaringan saraf tiruan (JST). Logika fuzzy memiliki kelebihan dalam pengambilan keputusan, sedangkan JST memiliki kelebihan dalam adaptasi melalui kemampuan pembelajaran yang dimilikinya. Kekurangan logika fuzzy dalam hal penentuan parameter yang sifatnya intuitif dapat diatasi dengan JST. Pada kontroler NF, logika fuzzy akan direpresentasikan dalam JST yang memungkinkan terjadinya pembelajaran di dalamnya dan akan terjadi perubahan bobot untuk mengubah parameter pada logika fuzzy.