

Kode>Nama Rumpun Ilmu* : 455/Teknik Kendali

**LAPORAN
BANTUAN PENELITIAN KOPERTIS V**



**OPTIMASI KENDALI ALTITUDE QUADROTOR PADA KEADAAN TRANSIEN
MENGUNAKAN PENGENDALI FUZZY BERBASIS POLINOMIAL ITAE**

PENGUSUL

Iswanto, S.T, M.Eng dan NIDN : 0502098101

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA

January 2017

**HALAMAN PENGESAHAN
PENELITIAN DOSEN MUDA**

Judul Penelitian : OPTIMASI KENDALI ALTITUDE QUADROTOR PADA KEADAAN TRANSIEN MENGGUNAKAN PENGENDALI FUZZY BERBASIS POLINOMIAL ITAE

Kode>Nama Rumpun Ilmu : 455 / Teknik Kendali

Ketua Peneliti

a. Nama Lengkap : Iswanto, S.T, M.Eng
b. NIDN : 0502098101
c. Jabatan Fungsional : Asisten Ahli
d. Program Studi : Teknik Elektro Medik
e. Nomor HP : 08995023004
f. Alamat surel (e-mail) : iswanto_te@umy.ac.id

Anggota Peneliti (1)

a. Nama Lengkap :
b. NIDN :
c. Perguruan Tinggi :

Anggota Peneliti (2)

a. Nama Lengkap :
b. NIDN :
c. Perguruan Tinggi :

Biaya Penelitian : - diusulkan ke Dikti Rp. 5.000.000
- dana internal PT Rp.
- dana institusi lain Rp.
- inkind sebutkan Rp.

Yogyakarta, 1-Februari-2017



Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik

Jazatul Ikhsan, S.T., M.T., Ph.D
NIK : 19720524 199804 123 037

Ketua Peneliti,

Iswanto, S.T., M.Eng
NIK : 19810902 201010 123 057



Menyetujui,
Ketua lembaga penelitian

Hilman Latief, Ph.D.
NIK : 19750912 200004 113 033

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI.....	iii
RINGKASAN.....	iv
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian.....	2
1.4. Target Luaran	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	1
2.1. Pemodelan Quadrotor.....	3
2.2. Kendali logika fuzzy	6
2.2.1. Fuzzifikasi atau Pengaburan	6
2.2.2. Interpretasi Aturan Jika-Maka Fuzzy	7
2.2.3. Defuzzifikasi atau Penegasan	7
BAB 3. METODE PENELITIAN	8
3.1. Alat dan Bahan	8
3.1.1 Alat	8
3.1.2 Bahan	8
3.3 Perancangan Sistem.....	8
BAB 4. ANALISA DAN HASIL	9
4.1. Pemodelan Quadrotor.....	9
4.2. Stategi Kendali	13
4.3. Fuzzy Logic Controler	16
BAB 5. KESIMPULAN.....	23
DAFTAR PUSTAKA	24
Lampiran 1. Justifikasi Anggaran Penelitian.	26
Lampiran 2. Susunan organisasi tim peneliti dan pembagian tugas.	27
Lampiran 3. Biodata ketua dan anggota.....	28
Lampiran 4. Surat pernyataan ketua peneliti (Lampiran 6). Error! Bookmark not defined.	

RINGKASAN

Unmanned aerial vehicle (UAV) merupakan pesawat tanpa awak yang dikontrol secara langsung oleh operator atau dikontrol secara otomatis dan telah diimplementasikan pada dunia militer untuk pemantau dan pengawasan suatu daerah bencana alam. Quadrotor merupakan salah satu jenis UAV dengan type rotary-wing seperti helicopter yang empat motor. Hover merupakan saat kondisi UAV melayang di udara pada posisi ketinggian tertentu. Agar dapat melakukan hover diperlukan sistem kendali untuk mengendalikan kecepatan keempat motor dengan besaran kecepatan yang sama.

Penelitian ini mengusulkan sistem kendali melayang pada quadrotor dengan pengendali metode fuzzy. Ada 4 rancangan metode fuzzy yang digunakan dalam penelitian ini yaitu fuzzy dengan single *input single output* (SISO) dan fuzzy dengan *multi input single output* (MISO) untuk rule 3x3, 5x5, dan 7x7. Untuk parameter-parameter fuzzy ditentukan dengan cara coba-coba. Dalam penelitian ini set point yang digunakan 1 meter.

Kata kunci : UAV, *Quadrotor*, kendai logika fuzzy, *altitude*..

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1. Latar belakang

Unmanned aerial vehicles (UAVs) merupakan wahana berupa pesawat terbang yang dikendalikan dari jarak jauh atau secara *autonomous* dengan sistem otomatis yang lebih dinamis dan kompleks. Terdapat dua jenis type UAV, yaitu pesawat *fixed wing*, dan *rotary wing*. Pesawat *fixed wing* adalah sebuah UAV yang terbang dengan memanfaatkan bentuk yang aerodinamis untuk terbangnya (Hwangbo & Kanade 2013). Sedangkan *rotary wing* merupakan UAV yang terbang dengan menggunakan gaya angkat dari kecepatan putaran motor (Ahmed & Pota 2009).

UAV digunakan keperluan militer seperti monitoring perbatasan atau bahkan mengintai musuh saat perang, keperluan sipil seperti foto udara untuk keperluan mapping, dan keperluan tim search and rescue (sar) seperti untuk monitoring daerah yang terkena bencana. Untuk keperluan tersebut maka dibutuhkan UAV dengan type *rotary wing* yang dapat melakukan posisi melayang pada ketinggian yang telah ditentukan. *Rotary wing* yang memiliki 4 Unit baling-baling yang didesain simetris dengan konfigurasi menyilang disebut *quadrotor*.

Beberapa peneliti telah melakukan penelitian tentang quadrotor diantaranya Altug et al (Altug et al. 2002) menggunakan sensor kamera untuk mengetahui ketinggian quadrotor dan algoritma feedback linearization dan backstepping yang diterapkan untuk simulasi kendali quadrotor dengan menggunakan Matlab. Dari hasil percobaan terlihat bahwa algoritma backstepping lebih baik dari feedback linearization.

Pada tahun 2004 beberapa peneliti menerapkan algoritma PID dengan LQ yang diterapkan pada quadrotor seperti yang dilakukan oleh Bouabdallah, Noth, et al (Bouabdallah, Noth, et al. 2004). Algoritma tersebut digunakan untuk mengendalikan quadrotor pada saat VTOL. Algoritma kendali klasik dan algoritma kendali modern tersebut dapat mengendalikan roll, pitch dan yaw pada saat quadrotor take off ataupun landing. Algoritma kendali klasik PID dikembangkan menjadi PD^2 dan diterapkan untuk kendali attitude quadrotor oleh Tayebi & McGillvray (Tayebi & McGillvray 2004) yang digunakan untuk VTOL. PD^2 mengendalikan kecepatan ke empat putaran motor dengan kecepatan yang sama, sehingga quadrotor dapat take-off dan landing secara vertical.

Dari penelitian sebelumnya, beberapa peneliti menggunakan kendali konvensional sehingga kurang memperhatikan lingkungan yang terdapat gangguan angin. Dengan permasalahan tersebut maka dibutuhkan sebuah pengendali adaptive yang mampu mengatasi masalah gangguan angin. Algoritma fuzzy logic controller merupakan salah satu algoritma

kendali adaptive yang mampu beradaptasi di lingkungan .

Selain kendali konvensional, kendali adaptif seperti algoritma *fuzzy logic controller (FLC)* digunakan untuk kendali altitude quadrotor. Algoritma ini digunakan dan dimodifikasi untuk keanggotaan *output* dengan 5 member anggota oleh Santos et al (Santos et al. 2010) untuk mengendalikan posisi *altitude* quadrotor pada lingkungan yang tidak terdapat gangguan. Peneliti yang lain diantaranya Fakurian et al. (Fakurian et al. 2014) memodifikasi himpunan masukan fuzzy dengan fuzzification type segitiga dan gaussian. Dengan menggunakan algoritma tersebut, quadrotor dapat hover pada ketinggian yang sudah ditentukan pada lingkungan yang tidak ada gangguan.

Salah satu kriteria kinerja yang baik dalam kendali *hover* quadrotor adalah tanggapan yang cepat atau minimum. Namun, tanggapan yang cepat cenderung menyebabkan *osilasi* dan memerlukan isyarat kendali yang cukup besar. Dapat dikatakan bahwa pada keadaan *transien*, penggunaan isyarat kendalinya cenderung kurang baik dan kurang stabil. Untuk mencapai kinerja yang baik, maka tanggapan keluaran sistem berupa *rise time* harus cepat, *overshoot* yang minimal, *settling time* yang cepat dan kesalahan keadaan tunak yang minimal. Berdasar latar belakang tersebut terlihat bahwa tanggapan keluaran sistem kendali belum cukup baik saat quadrotor melayang pada ketinggian tertentu, maka diperlukan suatu strategi atau metode algoritma kendali agar tanggapan sistem yang berupa *overshoot*, *settling time* yang minimum dan memiliki tanggapan keluaran dengan kinerja yang cukup baik dan stabil pada keadaan *transien*.

1.2. Rumusan Masalah

Perlu merancang metode algoritma kendali agar diperoleh tanggapan kecepatan yang optimal pada saat quadrotor melakukan *hover* pada keadaan *transien*, yaitu memiliki *overshoot* dan *settling time* yang minimum. Selain itu dapat mengembalikan quadrotor pada posisi semula saat quadrotor terkena turbulensi angin vertikal.

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasar perumusan masalah, maka penelitian ini bertujuan sebagai berikut.

1. Mengembangkan sistem kendali altitude adaptif agar quadrotor dapat take-off dan hover pada ketinggian yang sudah ditentukan.
2. Mengembangkan dan membandingkan sistem kendali altitude adaptif dengan tiga algoritma pengambil keputusan menggunakan kendali logika fuzzy untuk diterapkan pada lingkungan yang terdapat gangguan dan tidak ada gangguan.

3. Mengamati kinerja sistem kendali altitude adaptif untuk mengoptimalkan kendali fuzzy.

1.4. Target Luaran

Target luaran penelitian ini

1. Membantu dalam memberikan solusi untuk mengatasi masalah dalam take-off dan landing berupa gangguan angin vertical di bidang *Aerospace* khususnya dalam mengoptimalkan kinerja kendali altitude sebagai upaya mengatasi masalah tersebut.
2. Memberikan kontribusi pada metode penentuan nilai keanggotaan masukan dan keluaran himpunan fuzzy serta penentuan *rule base* fuzzy yang berkaitan dengan minimum isyarat kendali, *overshoot*, *settling time* dan dapat stabil pada keadaan *transien*.
3. Prosiding pada seminar ilmiah baik yang berskala lokal, regional maupun nasional; dan
4. Pengayaan bahan ajar

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Quadrotor merupakan salah satu jenis UAV dengan type rotary-wing seperti helicopter yang memiliki beberapa kelebihan, diantaranya kemampuan Vertical Take Off and Landing (VTOL), kemampuan melayang tetap diudara, dapat terbang di area tertutup, berbahaya dan tidak dapat dijangkau manusia dan memiliki kemampuan manuver yang baik (Bouabdallah, Murrieri, et al. 2004). Quadrotor bergerak dengan menggunakan gaya angkat yang dihasilkan keempat rotor yang terdiri dari sepasang rotor yang berhadapan berputar searah jarum jam dan berlawanan arah jarum jam.

Quadrotor memerlukan kendali altitude yang digunakan mengatur kecepatan keempat motor agar berputar dengan kecepatan yang sama, sehingga setiap motor menghasilkan gaya angkat yang sama. Kendali altitude merupakan sistem yang digunakan untuk mengatur ketinggian maupun untuk take-off dan landing UAV. Beberapa penelitian yang telah dilakukan oleh beberapa peneliti menggunakan algoritma kendali tradisional dengan menggunakan persamaan kinematik dan dinamik quadrotor. Kendali PID digunakan untuk mengatur kecepatan motor (Bouabdallah & Siegwart 2007). Kendali tersebut mengendalikan altitude dan attitude pada quadrotor, sehingga quadrotor stabil saat terbang.

Beberapa peneliti mengembangkan kendali altitude quadrotor dengan algoritma modern seperti yang dilakukan oleh Waslander et al (Waslander et al. 2005). Kendali *Integral Sliding Mode* dan *reinforcement learning* digunakan untuk mengendalikan ketinggian quadrotor. Tanggapan keluaran sistem dari kendali *Integral Sliding Mode* memiliki *rise time* cepat, dan *settling time* yang cepat tetapi terdapat *overshoot*. Sedangkan dengan menggunakan kendali *reinforcement learning* tidak terdapat *overshoot* tetapi *rise time* lambat.

Kendali Integral Backstepping digunakan oleh Bouabdallah & Siegwart (Bouabdallah & Siegwart 2007) untuk kendali attitude, altitude dan posisi yang diterapkan pada quadrotor OS4. Kendali altitude digunakan agar quadrotor berada pada ketinggian yang ditentukan. Sehingga digunakan sensor sonar untuk mendapatkan nilai ketinggian quadrotor. Dengan menggabungkan sensor sonar dengan kendali Integral Backstepping maka tanggapan keluaran tidak memiliki overshoot, tetapi *rise time* lama.

Beberapa peneliti mengembangkan algoritma kendali altitude untuk quadrotor diantaranya Lee et al (Lee et al. 2012). Agar dapat *hover* pada ketinggian tertentu, quadrotor memerlukan sensor dan kendali. Sensor *ultrasonic* digunakan dalam penelitian mereka. Sedangkan kendali *dynamic surface control* digunakan untuk kendali hover quadrotor pada lingkungan yang tidak terdapat gangguan.

Terdapat peneliti melakukan penelitian kendali posisi ketinggian untuk kendali *hover* quadrotor diantaranya Johan et al. (Johan et al. 2013) melakukan penelitian sistem kendali *hover* menggunakan algoritma kendali *non linier* dengan menggunakan feedback linierization. Selain menggunakan kendali nonlinier, sensor *vision* digunakan agar quadrotor dapat hover pada ketinggian yang sudah ditentukan pada lingkungan tanpa gangguan. Dari hasil percobaan didapatkan sistem stabil dan tidak terdapat osilasi tetapi masih terjadi overshoot.

Algoritma Sliding Mode diteliti oleh (Runcharoon & Srichatrapimuk 2013) yang diterapkan pada kendali altitude quadrotor, sehingga quadrotor dapat take-off pada lingkungan *indoor*. Selain untuk take-off, kendali altitude juga diterapkan untuk posisi hover yang diteliti oleh diantaranya Esteves et al. (Esteves et al. 2015) menggunakan kendali LQR agar quadrotor dapat take-off pada ketinggian yang ditentukan di lingkungan *indoor*. Sehingga quadrotor tidak mengalami gangguan berupa angin vertical. Kendali masih terdapat *overshot* dan *osilasi*.

Sedangkan peneliti Min et al. (Min et al. 2011) mengendalikan altitude quadrotor menggunakan kendali *robust*. Kendali ini termasuk kendali *non linier*. Kendali ini memodifikasi kendali PD yang terdahulu. Dengan kendali ini quadrotor stabil dan dapat memperbaiki *overshoot*. Tetapi kendali ini memiliki *raise time* yang lama.

Sensor ketinggian juga digunakan oleh peneliti Drak et al. (Drak et al. 2015) untuk mengendalikan quadrotor. Terdapat dua sensor yang digunakan untuk mengendalikan *altitude* quadrotor. Sensor tersebut menggunakan sensor *ultrasonic* dan sensor kamera. *Algoritma Fault-diagnosis (FD)* yang diterapkan pada quadrotor jenis Qball-X4. Dalam simulasinya, quadrotor dapat melakukan *hover* pada ketinggian yang diinginkan tetapi masih belum stabil dan masih terdapat osilasi.

Sedangkan kendali *PID* digunakan oleh Joyo et al. (Joyo et al. 2013) untuk mengendalikan sistem quadrotor yang *non linier*. Dalam simulasinya, kendali ini dapat menstabilkan quadrotor pada saat melayang, tetapi kendali ini masih ada masalah berupa masih terdapat *overshoot* saat quadrotor menuju ke ketinggian yang diinginkan.

Model predictive control (MPC) digunakan oleh Alexis et al. (Alexis et al. 2011) untuk mengendalikan posisi *altitude*. Kendali ini digabungkan dengan sensor yang berupa sensor IMU dan sonar. Untuk mendapatkan ketinggian yang diinginkan, digunakan sensor sonar untuk mengukur jarak quadrotor dengan tanah. Sedangkan IMU digunakan untuk menjaga agar quadrotor berada pada ketinggian yang diinginkan. Dalam simulasinya, quadrotor masih ada gangguan pada kendali *altitude*.

Adaptive Sliding Mode Control digunakan oleh Modirrousta & Khodabandeh (Modirrousta & Khodabandeh 2014) untuk mengendalikan quadrotor. Kendali ini dapat

menstabilkan quadrotor saat melakukan *hover* pada ketinggian tertentu. Kendali ini juga dapat menghilangkan *overshoot* akan tetapi kendali ini memiliki *rise time* yang lama.

Peneliti bernama Stowers et al. (Stowers et al. 2011) menggunakan sensor untuk membuat quadrotor hover pada ketinggian tertentu. Sensor *kinect* digunakan sebagai masukan kendali untuk mengendalikan quadrotor. Kendali yang digunakan dengan menambahkan algoritma *gaussian* pada model kendali dinamic. Dengan menggabungkan metode kedalaman dari sensor *kinect* dan modifikasi kendali dinamic maka quadrotor dapat melakukan *hover* pada ketinggian yang ditentukan. Akan tetapi quadrotor masih terdapat *noise* pada kendali *altitudenya*.

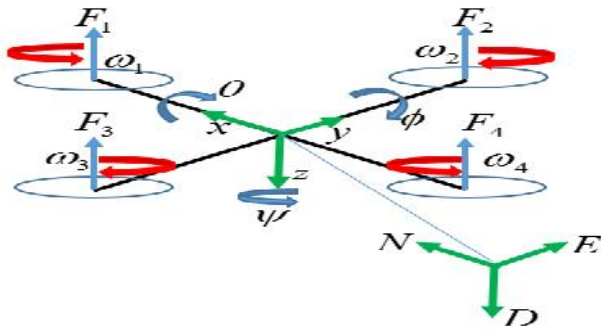
Kendali *robust* diterapkan pada *SlidingMode Control* (SMC) oleh Efe (Efe 2007) untuk mengendalikan posisi *altitude* yang rendah. Dengan menggabungkan *robust* ke SMC, maka quadrotor dapat *hover* pada ketinggian yang ditentukan. Dalam simulasinya masih terdapat beberapa masalah berupa *noise* yang berupa *osilasi* yang sangat kecil pada kendali *altitude*.

Selain algoritma kendali tersebut, terdapat algoritma kendali cerdas. Algoritma ini tidak menggunakan persamaan dinamic quadrotor untuk sistem pengendali. Algoritma FLC salah satu algoritma kendali cerdas. Peneliti yang menggunakan algoritma ini diantaranya Bhatkhande & Havens (Bhatkhande & Havens 2014). Algoritma Fuzzy digunakan untuk mengendalikan quadrotor agar stabil. Kelemahan yang lain yaitu sistem masih ada *overshoot*. Selain itu penggunaan energi sangat besar.

Berdasarkan tinjauan pustaka yang dilakukan, maka pada penelitian ini metode kendali yang digunakan untuk mengendalikan kestabilan hover quadrotor adalah menggunakan metode kendali *altitude*. Metode yang digunakan untuk mengendalikan quadrotor pada posisi *altitude* adalah dengan algoritma FLC. Penelitian ini berbeda dengan peneliti sebelumnya.

2.1. Pemodelan Quadrotor

Quadrotor merupakan UAV yang memiliki 4 baling-baling yang terdiri dari dua baling baling berputar searah jarum jam dan dua baling baling berputar berlawanan arah jarum jam, seperti pada gambar 1. Gambar 1 merupakan pemodelan quadrotor dengan menggunakan model Corke [12]. Quadrotor memiliki kerangka badan x, y , dan z , dimana z menunjukkan arah gravitasi bumi yang menghadap ke bawah. Sehingga saat quadrotor melakukan take-off sumbu z bernilai negatif.



Gambar 1. Pemodelan quadrotor

Quadrotor merupakan UAV dengan sistem MIMO dengan masukan sistem berupa 4 motor dan keluaran berupa 12 state. Quadrotor dimodelkan menggunakan 12 state untuk model state-space. State untuk posisi quadrotor dalam world frame dilambangkan sebagai $\begin{bmatrix} x & y & z \end{bmatrix}^T$, Untuk state variabel sudut roll, pitch, yaw dilambangkan sebagai $\begin{bmatrix} \phi & \theta & \psi \end{bmatrix}^T$, Untuk kecepatannya disebabkan sumbu x, y, z dilambangkan sebagai $\begin{bmatrix} \dot{x} & \dot{y} & \dot{z} \end{bmatrix}^T$, State variabel kecepatan sudut yang karena sumbu x, y, z dilambangkan sebagai $\begin{bmatrix} \dot{\phi} & \dot{\theta} & \dot{\psi} \end{bmatrix}^T$. Berdasarkan hukum kedua Newton tentang gerak translasi didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$F = m \dot{v} + (\dot{S} \times mv) \tag{1}$$

Dimana $\dot{S} = \begin{bmatrix} \dot{\phi} & \dot{\theta} & \dot{\psi} \end{bmatrix}^T$ dan $v = \begin{bmatrix} \dot{x} & \dot{y} & \dot{z} \end{bmatrix}^T$. Dari gambar 1, gaya yang bekerja pada Quadrotor bisa didapatkan

$$F = F_g - F_{thrust} \tag{2}$$

$$F = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ mg \end{bmatrix} - {}^w R_B \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ T \end{bmatrix}$$

Oleh karena itu, persamaan 2 dapat dinyatakan sebagai

$$\epsilon = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} - {}^w R_B \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ T \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \end{bmatrix} \tag{3}$$

di mana m adalah massa Quadrotor, T adalah dorong vertikal Quadrotor melawan gravitasi dan WRB adalah matriks rotasi dari tubuh-frame dengan dunia-frame atau inersia-frame. Dari persamaan 3 didapatkan persamaan percepatan linier dari pusat massa sebagai berikut

$$\epsilon = \frac{1}{m} \begin{vmatrix} -T(c_w s_r c_{\xi} + s_w s_{\xi}) \\ -T(c_w s_r s_{\xi} + s_w c_{\xi}) \\ mg - T(c_w c_r) \end{vmatrix} - \begin{vmatrix} (\dot{q}\dot{z} - \dot{r}\dot{y}) \\ (\dot{r}\dot{x} - \dot{p}\dot{z}) \\ (\dot{p}\dot{y} - \dot{q}\dot{x}) \end{vmatrix} \quad (4)$$

Jadi, percepatan linear x , y dan z dari pusat massa dengan asumsikan \dot{p} ; \dot{q} ; \dot{r} ; \dot{x} ; \dot{y} ; $\dot{z} \approx 0$, maka

$$\ddot{x} = -\frac{1}{m} T(c_w s_r c_{\xi} + s_w s_{\xi}) \quad (5)$$

$$\ddot{y} = -\frac{1}{m} T(c_w s_r s_{\xi} - s_w c_{\xi}) \quad (6)$$

$$\ddot{z} = mg - \frac{1}{m} T(c_w c_r) \quad (7)$$

Menggunakan hukum rigid-body rotasi, kita memiliki

$$\Gamma = I\dot{\mathcal{S}} + (\dot{\mathcal{S}} \times I\dot{\mathcal{S}}) \quad (8)$$

di mana, I adalah momen inersia Quadrotor

$$I = \begin{vmatrix} I_x & 0 & 0 \\ 0 & I_y & 0 \\ 0 & 0 & I_z \end{vmatrix} \quad (9)$$

Kemudian, persamaan 16 dapat ditulis sebagai

$$I\dot{\mathcal{S}} = \begin{vmatrix} \ddagger_x \\ \ddagger_y \\ \ddagger_z \end{vmatrix} - \begin{vmatrix} \dot{p} \\ \dot{r} \\ \dot{q} \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} I_x \dot{p} \\ I_y \dot{r} \\ I_z \dot{q} \end{vmatrix}$$

Persamaan berikut mendefinisikan hubungan antara kecepatan sudut dari masing-masing rotor dan saat quadrotor gerak rotasi, ingat bahwa ini adalah untuk quadrotor berbentuk plus,

$$\ddot{p} = \frac{\ddagger_x}{I_x} - \frac{I_z - I_y}{I_x} \dot{q}\dot{r} \quad (10)$$

$$\ddot{q} = \frac{\ddagger_y}{I_y} - \frac{I_x - I_z}{I_y} \dot{p}\dot{r} \quad (11)$$

$$\ddot{r} = \frac{\ddagger_z}{I_z} - \frac{I_y - I_x}{I_z} \dot{p}\dot{q} \quad (12)$$

Sekarang, kita melihat pada kecepatan sudut, p ; q dan r . Mereka dapat diperoleh dari tingkat Euler sudut menggunakan matriks transformasi

$$\begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -s_w \\ 0 & c_w & s_w c_w \\ 0 & -s_w & c_w c_w \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{W} \\ \dot{\eta} \\ \dot{\xi} \end{bmatrix} \quad (13)$$

Dari persamaan 13, dapat diperoleh nilai roll, pitch dan yaw dengan menginvers matriks Wronskian,

$$\begin{bmatrix} \dot{W} \\ \dot{\eta} \\ \dot{\xi} \end{bmatrix} = \frac{1}{c_w} \begin{bmatrix} c_w & s_w s_w & c_w s_w \\ 0 & c_w c_w & -s_w c_w \\ 0 & s_w & c_w \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix} \quad (14)$$

Jadi, roll, pitch dan yaw adalah

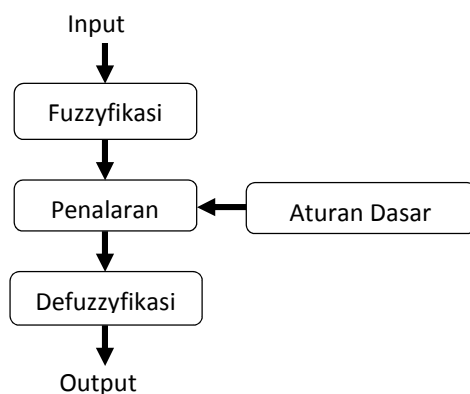
$$\dot{W} = \dot{p} + s_w t_w \dot{q} + c_w t_w \dot{r} \quad (15)$$

$$\dot{\eta} = c_w \dot{q} + s_w \dot{r} \quad (16)$$

$$\dot{\xi} = \frac{s_w}{c_w} \dot{q} + \frac{c_w}{c_w} \dot{r} \quad (17)$$

2.2. Kendali logika fuzzy

Sistem kendali logika *fuzzy* disebut juga Sistem Inferensi *Fuzzy (Fuzzy Inference System)* adalah sistem yang dapat melakukan penalaran dengan prinsip serupa seperti manusia melakukan penalaran dengan nalurinya. Sistem kendali logika *fuzzy* terdiri atas beberapa tahapan seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Konfigurasi Sistem Kendali Logika *Fuzzy*

2.2.1. Fuzzifikasi atau Pengaburan

Fuzzifikasi adalah pemetaan nilai input riil yang merupakan nilai tegas ke dalam fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy*. Ada tiga macam pengaburan sebagai berikut:

Pengaburan Singleton

Pengaburan *singleton* memetakan nilai riil $x^* \in U$ ke *singleton fuzzy* A' dalam U , yang memiliki nilai keanggotaan satu pada titik x^* dan nol pada titik lainnya seperti pada Persamaan (18).

$$\mu_{A'}(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } x = x^* \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (18)$$

Pengaburan *Gaussian*

Pengaburan *gaussian* memetakan $x^* \in U$ ke himpunan *fuzzy* A' dalam U yang memiliki fungsi keanggotaan Gaussian sebagai berikut:

$$\mu_{A'}(x) = e^{-\left(\frac{x - a_1}{a_1}\right)^2} \dots \dots \dots e^{-\left(\frac{x - a_n}{a_n}\right)^2} \quad (19)$$

Dengan a_i adalah parameter positif

Pengaburan Segitiga

Pengaburan segitiga memetakan yang memiliki fungsi keanggotaan segitiga sebagai berikut:

$$\mu_{A'}(x) = \begin{cases} \left(1 - \frac{|x - x_1^*|}{b_1}\right) & \text{if } |x - x_1^*| \leq b_1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \dots \dots \dots \begin{cases} \left(1 - \frac{|x - x_n^*|}{b_n}\right) & \text{if } |x - x_n^*| \leq b_n \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (20)$$

$i = 1, 2, \dots, n$

dengan b_i adalah parameter positif

2.2.2. Interpretasi Aturan Jika-Maka *Fuzzy*

Aturan dasar dalam kendali logika *fuzzy* adalah aturan implikasi dalam bentuk “jika ... maka ...”. Aturan dasar tersebut ditentukan dengan bantuan seorang pakar yang mengetahui karakteristik objek yang akan dikendalikan. Pada tahap penalaran, sistem akan menalar nilai masukan untuk menentukan nilai keluaran sebagai bentuk pengambil keputusan. Sistem terdiri dari beberapa aturan, maka kesimpulan diperoleh dari kumpulan dan korelasi antar aturan. Ada berbagai interpretasi aturan Jika-Maka *fuzzy*, di antaranya adalah sebagai berikut:

1. Implikasi Dienes-Rescher
2. Implikasi Lukasiewicz
3. Implikasi Zadeh
4. Implikasi Godel
5. Implikasi Mamdani

2.2.3. Defuzzifikasi atau Penegasan

Defuzzifikasi merupakan kebalikan dari fuzzifikasi, yaitu pemetaan dari himpunan *fuzzy* ke himpunan tegas. Input dari proses defuzzifikasi adalah suatu himpunan *fuzzy* yang diperoleh dari komposisi aturan-aturan *fuzzy*. Hasil dari defuzzifikasi ini merupakan output dari sistem kendali logika *fuzzy*. Beberapa metode defuzzifikasi dijelaskan pada sub bab 2.2.7.6 d.

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1. Alat dan Bahan

3.1.1 Alat

Alat yang digunakan untuk mengerjakan penelitian ini adalah sebagai berikut:

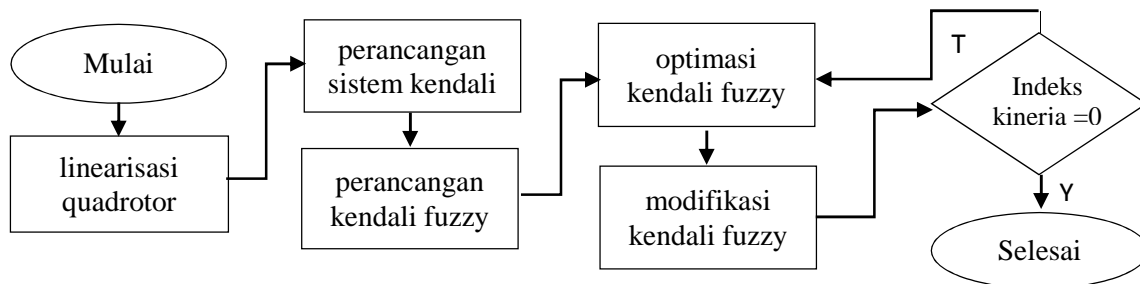
1. Laptop Acer Intel pentium, 1 GB RAM, Windows 7, 32 bit
2. Sistem operasi windows

3.1.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain menggunakan program scilab yang berlisensi dari Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Scilab ini digunakan untuk menjalankan simulasi quadrotor milik Peter Corke.

3.3 Perancangan Sistem

Pada penelitian ini akan merancang sistem pengendali altitude quadrotor yang dibangun menggunakan kendali logika *fuzzy* untuk mengendalikan quadrotor agar melayang pada ketinggian tertentu seperti pada gambar 3.2. Gambar tersebut terlihat bahwa sistem yang diusulkan pada penelitian ini akan dibangun dengan beberapa 3 tahap yaitu linearisasi quadrotor, perancangan sistem kendali, dan perancangan kendali fuzzy. Perancangan kendali fuzzy terdiri dari perancangan himpunan masukan fuzzy, perancangan laju perubahan ketinggian, perancangan aturan dasar fuzzy, dan perancangan himpunan keluaran fuzzy.

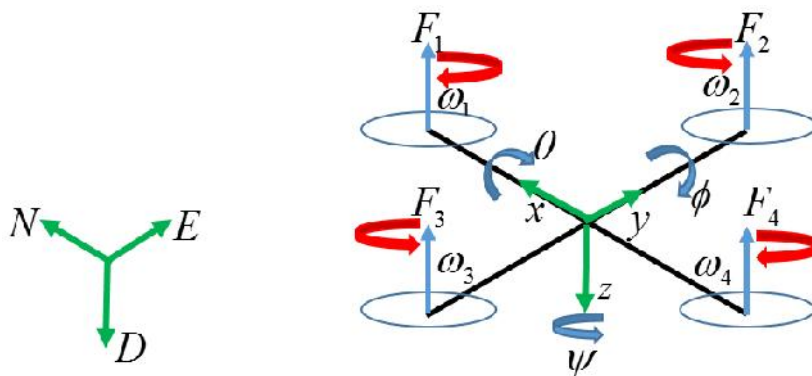


Gambar 3. Diagram Perancangan Sistem

BAB 4. ANALISA DAN HASIL

4.1. Pemodelan Quadrotor

Sistem quadrotor merupakan sistem non linier yang memiliki 4 buah rotor disetiap ujungnya yang dapat dimodelkan dengan menggunakan euler angles [24]. Dalam penelitian ini quadrotor dimodelkan dengan menggunakan euler angel sehingga sistem quadrotor memiliki enam derajat kebebasan yang didefinisikan dengan dua belas negara yang ditunjukkan gambar 1. Enam dari dua belas state mengatur attitude dari sistem quadrotor yang termasuk sudut Euler quadrotor roll, pitch, yaw yaitu $S_2 = [\omega \quad \cdot \quad \mathbb{E}]^T$ dan kecepatan sudut dari quadrotor yaitu $S_4 = [p \quad q \quad r]^T$ pada tiga sumbu ortogonal tubuh. Sedangkan enam state lainnya adalah tiga posisi yaitu $S_1 = [x \quad y \quad z]^T$ dan tiga kecepatan linear dari pusat massa dari quadrotor yang berhubungan dengan kerangka acuan tetap (bingkai bumi) yaitu $S_3 = [\dot{x} \quad \dot{y} \quad \dot{z}]^T$. Model sistem quadrotor ini menggunakan 12 persamaan keadaan tidak linier dalam kerangka global seperti berikut $x = [x_1 \quad \dots \quad x_{12}]^T$ dengan variabel state sebagai berikut $x = [S_1 \quad S_2 \quad S_3 \quad S_4]^T$.



Gambar 4. Pemodelan quadrotor dengan euler angles

Dari gambar 1 terlihat terdapat dua koordinat frame salah satunya adalah earth frame dan yang lainnya adalah bodyframe di pusat gravitasi dari quadrotor. Dari gambar tersebut terlihat bahwa pergerakan quadrotor berdasarkan 6 derajat kebebasan yang melibatkan pergerakan translasi berdasarkan sumbu-x, sumbu-y, dan sumbu-z, dan rotasi dari quadrotor berupa roll yaitu rotasi pada sumbu-x, pitch rotasi berdasarkan sumbu-y, yaw rotasi quadrotor berdasarkan sumbu-z. Untuk setiap sumbu matriks rotasi dapat ditulis sebagai,

$$R(x, \omega) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & C\omega & -S\omega \\ 0 & S\omega & C\omega \end{bmatrix}, R(y, \omega) = \begin{bmatrix} C\omega & 0 & S\omega \\ 0 & 1 & 0 \\ -S\omega & 0 & C\omega \end{bmatrix}, R(z, \mathbb{E}) = \begin{bmatrix} C\mathbb{E} & -S\mathbb{E} & 0 \\ S\mathbb{E} & C\mathbb{E} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Dengan menggunakan persamaan (1), matriks rotasi XYZ didefinisikan sebagai

$$R = R(z, \mathbb{E})R(y, \#)R(x, w)$$

$$R = \begin{bmatrix} C_s C_{\mathbb{E}} & S_w S_s C_{\mathbb{E}} - C_w S_{\mathbb{E}} & C_w S_s C_{\mathbb{E}} + S_w S_{\mathbb{E}} \\ C_s S_{\mathbb{E}} & S_w S_s S_{\mathbb{E}} + C_w C_{\mathbb{E}} & C_w S_s S_{\mathbb{E}} - S_w C_{\mathbb{E}} \\ -S_s & S_w C_s & C_w C_s \end{bmatrix} \quad (2)$$

Sehingga dengan persamaan diatas akan diperoleh matriks transformasi sebagai berikut

$$\begin{pmatrix} p \\ q \\ r \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \dot{w} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & Cw & -Sw \\ 0 & Sw & Cw \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ \dot{s} \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & Cw & -Sw \\ 0 & Sw & Cw \end{pmatrix} \begin{pmatrix} C_{\#} & 0 & S_{\#} \\ 0 & 1 & 0 \\ -S_{\#} & 0 & C_{\#} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \mathbb{E} \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} p \\ q \\ r \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & S_{\#} \\ 0 & Cw & -SwC_{\#} \\ 0 & Sw & CwC_{\#} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \dot{w} \\ \dot{s} \\ \mathbb{E} \end{pmatrix} \quad (3)$$

di mana $c = \cos$, $t = \tan$ dan $s = \sin$.

Berdasarkan hukum kedua Newton tentang gerak translasi didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$F = m\dot{v} + (\mathring{S} \times mv) \quad (4)$$

Dimana $\mathring{S} = [\dot{p} \quad \dot{q} \quad \dot{r}]^T$ dan $v = [\dot{x} \quad \dot{y} \quad \dot{z}]^T$.

$$F = m \begin{bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{y} \\ \ddot{z} \end{bmatrix} + \left(\begin{bmatrix} \dot{p} \\ \dot{q} \\ \dot{r} \end{bmatrix} \times m \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \end{bmatrix} \right) \quad (5)$$

Dari gambar 1, gaya yang bekerja pada Quadrotor bisa didapatkan

$$F = F_g - F_{thrust} \quad (6)$$

$$F = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ mg \end{bmatrix} - R \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ T \end{bmatrix}$$

mensubtitusikan hukum 2 newton dengan gaya yang bekerja pada quadrotor, didapatkan persamaan sebagai berikut

$$m \begin{bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{y} \\ \ddot{z} \end{bmatrix} + \left(\begin{bmatrix} \dot{p} \\ \dot{q} \\ \dot{r} \end{bmatrix} \times m \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \end{bmatrix} \right) = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ mg \end{bmatrix} - R \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ T \end{bmatrix} \quad (7)$$

Subtitusikan matriks transformasi sehingga didapatkan

$$m \begin{bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{y} \\ \ddot{z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ mg \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} C_r C_{\mathbb{E}} & S_w S_r C_{\mathbb{E}} - C_w S_{\mathbb{E}} & C_w S_r C_{\mathbb{E}} + S_w S_{\mathbb{E}} \\ C_r S_{\mathbb{E}} & S_w S_r S_{\mathbb{E}} + C_w C_{\mathbb{E}} & C_w S_r S_{\mathbb{E}} - S_w C_{\mathbb{E}} \\ -S_r & S_w C_r & C_w C_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ T \end{bmatrix} - \left(m \begin{bmatrix} \dot{p} \\ \dot{q} \\ \dot{r} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \end{bmatrix} \right)$$

$$m \begin{bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{y} \\ \ddot{z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -T(c_w s_r c_{\mathbb{E}} + s_w s_{\mathbb{E}}) \\ -T(c_w s_r s_{\mathbb{E}} + s_w c_{\mathbb{E}}) \\ mg - T(c_w c_r) \end{bmatrix} - m \left(\begin{bmatrix} \dot{p} \\ \dot{q} \\ \dot{r} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \end{bmatrix} \right) \quad (8)$$

Sehingga persamaan percepatan linier di sumbu x,y,z sebagai berikut ini:

$$\ddot{x} = -\frac{1}{m}T(c_w s_r c_{\mathbb{E}} + s_w s_{\mathbb{E}}) - (\dot{q}\dot{z} - \dot{r}\dot{y}) \quad (9)$$

$$\ddot{y} = -\frac{1}{m}T(c_w s_r s_{\mathbb{E}} - s_w c_{\mathbb{E}}) - (\dot{r}\dot{x} - \dot{p}\dot{z}) \quad (10)$$

$$\ddot{z} = g - \frac{1}{m}T(c_w c_r) - (\dot{p}\dot{y} - \dot{q}\dot{x}) \quad (11)$$

Berdasarkan hukum kedua Newton tentang gerak rotasi didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$\Gamma = I\dot{\mathbb{S}} + (\dot{\mathbb{S}} \times I\dot{\mathbb{S}}) \quad (12)$$

di mana, I adalah momen inersia Quadrotor

$$I = \begin{bmatrix} I_x & 0 & 0 \\ 0 & I_y & 0 \\ 0 & 0 & I_z \end{bmatrix} \quad (13)$$

Sedangkan $\Gamma = [\ddagger_x \quad \ddagger_y \quad \ddagger_z]^T$

Sehingga persamaan percepatan sudut di sumbu x,y,z sebagai berikut ini:

$$\ddot{p} = \frac{\ddagger_x}{I_x} - \frac{I_z - I_y}{I_x} \dot{q}\dot{r} \quad (14)$$

$$\ddot{q} = \frac{\ddagger_y}{I_y} - \frac{I_x - I_z}{I_y} \dot{p}\dot{r} \quad (15)$$

$$\ddot{r} = \frac{\ddagger_z}{I_x} - \frac{I_y - I_x}{I_z} \dot{p}\dot{q} \quad (16)$$

kecepatan sudut, p; q dan r dapat diperoleh dari tingkat Euler sudut menggunakan matriks transformasi

$$\begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix} = W \begin{bmatrix} \dot{w} \\ \dot{r} \\ \dot{\mathbb{E}} \end{bmatrix} \quad (17)$$

$$\begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -s_w \\ 0 & c_w & s_w c_s \\ 0 & -s_w & c_w c_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{w} \\ \dot{\eta} \\ \dot{\xi} \end{bmatrix} \quad (18)$$

Sehingga kita dapat menentukan kecepatan sudut roll, pitch dan yaw quadrotor sebagai

$$\begin{bmatrix} \dot{w} \\ \dot{\eta} \\ \dot{\xi} \end{bmatrix} = \frac{1}{c_s} \begin{bmatrix} c_s & s_w s_s & c_w s_s \\ 0 & c_w c_s & -s_w c_s \\ 0 & s_w & c_w \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix} \quad (19)$$

Jadi, roll, pitch dan yaw adalah

$$\dot{w} = \dot{p} + s_w t_s \dot{q} + c_w t_s \dot{r} \quad (20)$$

$$\dot{\eta} = c_w \dot{q} + s_w \dot{r} \quad (21)$$

$$\dot{\xi} = \frac{s_w}{c_s} \dot{q} + \frac{c_w}{c_s} \dot{r} \quad (22)$$

Representasi model sistem quadrotor $x = [x \ y \ z \ w \ \eta \ \xi \ \dot{x} \ \dot{y} \ \dot{z} \ \dot{p} \ \dot{q} \ \dot{z}]^T$ dari seluruh 12 persamaan tidak linier dapat ditulis sebagai

$$\dot{x}_1 = \dot{x} = x_7$$

$$\dot{x}_2 = \dot{y} = x_8$$

$$\dot{x}_3 = \dot{z} = x_9$$

$$\dot{x}_4 = \dot{w} = x_{10} + s_{x_4} t_{x_5} x_{11} + c_{x_4} t_{x_5} x_{12}$$

$$\dot{x}_5 = \dot{\eta} = c_{x_4} x_{11} + s_{x_4} x_{12}$$

$$\dot{x}_6 = \dot{\xi} = \frac{s_{x_4}}{c_{x_5}} x_{11} + \frac{c_{x_4}}{c_{x_5}} x_{12}$$

$$\dot{x}_7 = \ddot{x} = -\frac{1}{m} T(c_{x_4} s_{x_5} c_{x_6} + s_{x_4} s_{x_6})$$

$$\dot{x}_8 = \ddot{y} = -\frac{1}{m} T(c_{x_4} s_{x_5} s_{x_6} - s_{x_4} c_{x_6})$$

$$\dot{x}_9 = \ddot{z} = g - \frac{1}{m} T(c_{x_4} c_{x_5})$$

$$\dot{x}_{10} = \ddot{p} = \frac{I_z - I_y}{I_x} x_{11} x_{12}$$

$$\dot{x}_{11} = \ddot{q} = \frac{I_x - I_z}{I_y} x_{10} x_{12}$$

$$\dot{x}_{12} = \ddot{r} = \frac{I_z}{I_x} - \frac{I_y - I_x}{I_z} x_{10} x_{11}$$

4.2. Strategi Kendali

Dalam penelitian ini dipresentasikan kendali altitude dengan menggunakan fuzzy linier programming, sedangkan sistem yang akan dikendalikan Quadrotor merupakan sistem non linear. Sehingga dibutuhkan metode untuk linearisasi sistem tersebut. Model tidak linier dari quadrotor kemudian dapat dilinearisasikan pada titik keseimbangan (*equilibrium*), agar sistem dapat diproses dalam model yang linier. Dalam melakukan linearisasi, kita harus menemukan titik equilibrium dari quadrotor, sehingga dapat ditulis sebagai $0 = f(X(r, s, x, u))$. Sehingga 12 persamaan tidak linier tersebut dapat ditulis,

$$\dot{x}_1 = \dot{x} = x_7 = 0 \quad (23)$$

$$\dot{x}_2 = \dot{y} = x_8 = 0 \quad (24)$$

$$\dot{x}_3 = \dot{z} = x_9 = 0 \quad (25)$$

$$\dot{x}_4 = \dot{w} = x_{10} + s_{x_4} t_{x_5} x_{11} + c_{x_4} t_{x_5} x_{12} = 0 \quad (26)$$

$$\dot{x}_5 = \dot{u} = c_{x_4} x_{11} + s_{x_4} x_{12} = 0 \quad (27)$$

$$\dot{x}_6 = \dot{v} = \frac{s_{x_4}}{c_{x_5}} x_{11} + \frac{c_{x_4}}{c_{x_5}} x_{12} = 0 \quad (28)$$

$$\dot{x}_7 = \ddot{x} = -\frac{1}{m} T(c_{x_4} s_{x_5} c_{x_6} + s_{x_4} s_{x_6}) = 0 \quad (29)$$

$$\dot{x}_8 = \ddot{y} = -\frac{1}{m} T(c_{x_4} s_{x_5} s_{x_6} - s_{x_4} c_{x_6}) = 0 \quad (30)$$

$$\dot{x}_9 = \ddot{z} = g - \frac{1}{m} T(c_{x_4} c_{x_5}) = 0 \quad (31)$$

$$\dot{x}_{10} = \ddot{p} = \frac{I_x}{I_x} - \frac{I_z - I_y}{I_x} x_{11} x_{12} = 0 \quad (32)$$

$$\dot{x}_{11} = \ddot{q} = \frac{I_y}{I_y} - \frac{I_x - I_z}{I_y} x_{10} x_{12} = 0 \quad (33)$$

$$\dot{x}_{12} = \ddot{r} = \frac{I_z}{I_x} - \frac{I_y - I_x}{I_z} x_{10} x_{11} = 0 \quad (34)$$

Jika diasumsikan titik equilibrium dilokasikan pada beberapa posisi dalam koordinat kartesian $(x; y; z)$ dan pada beberapa posisi sudut yaw yang didefinisikan sebagai $x_1 = r$, $x_2 = s$, $x_3 = x$ dan $x_6 = u$. Maka didapat, nilai dari seluruh persamaan keadaan pada titik equilibrium ini adalah, $X(r, s, x, u)$, sehingga dapat ditulis sebagai, $x_1 = r$, $x_2 = s$, $x_3 = x$, $x_4 = 0$, $x_5 = 0$, $x_6 = u$, $x_7 = 0$, $x_8 = 0$, $x_9 = 0$, $x_{10} = 0$, $x_{11} = 0$, dan $x_{12} = 0$. Representasi persamaan keadaan dan keluaran sistem ditunjukkan sebagai berikut,

$$\dot{x} = Ax + Bu$$

$$y = Cx + Du, \quad (35)$$

Dimana matrik A dan B didapat dengan menggunakan metode linearisasi Jacobi. Matrik A dan B diturunkan secara parsial terhadap model tidak linier.

$$A = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} | X(r, s, x, u) & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial x_{12}} | X(r, s, x, u) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f_{12}}{\partial x_1} | X(r, s, x, u) & \dots & \frac{\partial f_{12}}{\partial x_{12}} | X(r, s, x, u) \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial u_1} | X(r, s, x, u) & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial u_4} | X(r, s, x, u) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f_{12}}{\partial u_1} | X(r, s, x, u) & \dots & \frac{\partial f_{12}}{\partial u_4} | X(r, s, x, u) \end{bmatrix}$$

Kemudian, didapat matrik A dan B adalah

$$A_{(12 \times 12)} = \begin{bmatrix} O_{(6 \times 6)} & I_{(6 \times 6)} \\ O_{(2 \times 3)} & N_{(2 \times 2)} & O_{(2 \times 1)} & I_{(6 \times 6)} \\ O_{(4 \times 6)} \end{bmatrix}$$

$$B_{(12 \times 4)} = \begin{bmatrix} O_{(8 \times 4)} \\ M_{(4 \times 4)} \end{bmatrix}$$

dengan O merupakan matrik nol dan I adalah matrik identitas. Sedangkan N dan M dapat didefinisikan sebagai

$$N_{(2 \times 2)} = \begin{bmatrix} 0 & -g \\ g & 0 \end{bmatrix}$$

$$M_{(4 \times 4)} = \begin{bmatrix} -\frac{b}{m} & -\frac{b}{m} & -\frac{b}{m} & -\frac{b}{m} \\ 0 & -\frac{db}{I_x} & 0 & \frac{db}{I_x} \\ \frac{db}{I_y} & 0 & -\frac{db}{I_y} & 0 \\ \frac{k}{I_z} & -\frac{k}{I_z} & \frac{k}{I_z} & -\frac{k}{I_z} \end{bmatrix}$$

Keluaran dari model quadrotor dapat didefinisikan dengan vektor y sebagai berikut

$$y = [x \quad y \quad z \quad \Phi]^T,$$

sehingga matrik C dan D dapat ditulis sebagai

$$C_{(4 \times 12)} = \begin{bmatrix} I_{(3 \times 3)} & O_{(3 \times 9)} \\ O_{(1 \times 3)} & L_{(1 \times 9)} \end{bmatrix}$$

$$D = 0$$

Dengan

$$L_{(1 \times 9)} = [1 \quad 1 \quad 1 \quad 0 \quad 0 \quad 1 \quad 0 \quad 0 \quad 0]$$

Sehingga, model linearisasi quadrotor adalah

$$\dot{x} = A_{12 \times 12} x + B_{12 \times 4} u$$

$$y = C_{4 \times 12} x \quad (36)$$

Dengan linierisasi menggunakan equilibrium maka seluruh persamaan keadaan kecuali x, y, z , dan yaw diasumsikan bernilai sangat kecil. Hal ini mengakibatkan seluruh masukan untuk semua keempat motor diasumsikan memiliki kecepatan yang sama. Sehingga sistem MIMO dapat disederhanakan menjadi sistem SISO dengan menggunakan laju perubahan ketinggian dan altitude yang persamaannya sebagai berikut

$$\dot{x}_3 = \dot{z} = x_9 \quad (37)$$

$$\dot{x}_9 = \ddot{z} = g - \frac{1}{m} T(c_{x_4} c_{x_5}) \quad (38)$$

Sehingga persamaan keadaan sistem altitude quadrotor dapat didefinisikan sebagai berikut

$$\dot{x}_\Phi = A_\Phi x + B_\Phi u$$

$$y = C_\Phi x \quad (39)$$

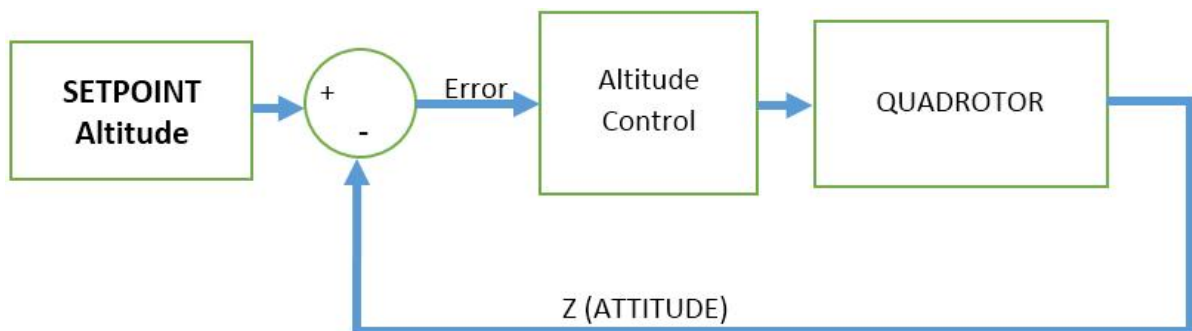
Dimana nilai $\dot{x}_\Phi = [\dot{x}_3 \quad \dot{x}_9]^T$, $x = [x_3 \quad x_9]$, $A_\Phi = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$, $B_\Phi = \begin{bmatrix} 0 \\ -4\hat{} \end{bmatrix}$, dan $C_\Phi = [1 \quad 0]$.

Sehingga fungsi alih dari z dapat didefinisikan dengan persamaan berikut

$$G_{(s)} = \frac{-4\hat{}}{s^2} \quad (40)$$

4.3. Fuzzy Logic Controler

Dalam penelitian ini dipresentasikan kendali altitude dari *Quadrotor* untuk mempertahankan ketinggian. Pengendalian yang di rancang merupakan kendali secara langsung dimana ditunjukkan seperti gambar 2. Dari gambar tersebut terlihat bahwa terdapat kendali altitude untuk mengendalikan sistem quadrotor. Desain kendali ini menggunakan kendali linier yaitu kendali proposional.

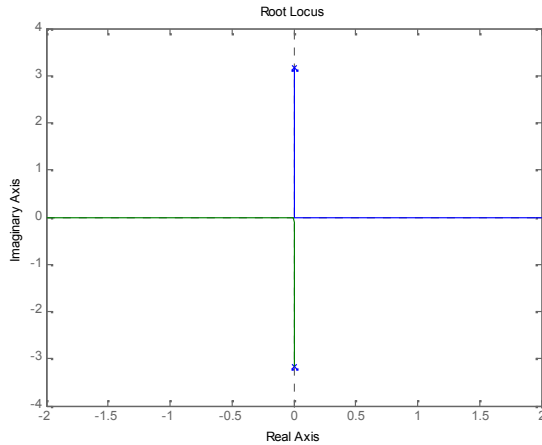


Gambar 5. Block diagram kendali altitude quadrotor

Persamaan kendali altitude yang digunakan dalam sistem quadrotor merupakan proposional terlihat berikut ini:

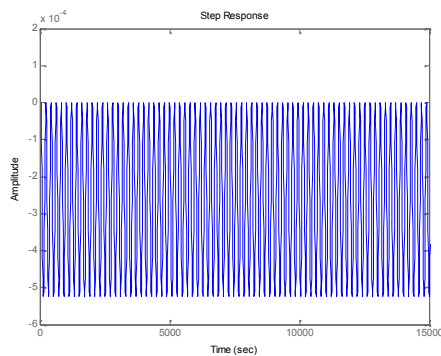
$$G_{(s)} = \frac{-4\hat{}K_p}{S^2 + K_p}, \quad (41)$$

Dimana K_p merupakan konstanta proposional dan $\hat{}$ merupakan moment inersia untuk masing masing motor. Persamaan tersebut dicari kestabilan dengan menggunakan root locus yang ditunjukkan gambar 3. Dari gambar terlihat bahwa ada satu pasang poles pada sumbu imajiner dalam gambar tersebut yaitu poles yang terletak disebelah atas dan bawah pada sumbu nyata bernilai -10 dan poles yang terletak di sebelah kanan pada sumbu nyata (real axis) bernilai -2 . Sekarang yang dibutuhkan dari sistem ini berupa settling time dan overshoot sekecil mungkin. Dengan demikian dibutuhkan damping yang besar untuk kendali tersebut sehingga pole pada titik nol sumbu nyata root locus akan bergeser pada sebelah kiri sumbu nyata.



Gambar 6 Diagram root locus kendali proposional

Bukti : Dengan menggunakan root locus terlihat bahwa persamaan (53) memiliki nilai pole yang tidak berada pada sebelah kiri sumbu imajiner, maka kendali tersebut tidak stabil. Persamaan kendali tersebut diuji dengan menggunakan step yang ditunjukkan pada gambar 4. Dari gambar tersebut terlihat bahwa sistem tidak stabil dan osilasi terus menerus.



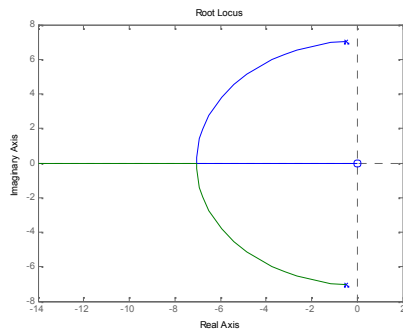
Gambar 7 Uji step untuk kendali proposional

Dari pembuktian tersebut diperlukan kendali Derivative (PD) dalam kendali tersebut agar dapat stabil. Sehingga persamaan kendali PD dalam sistem quadrotor sebagai berikut:

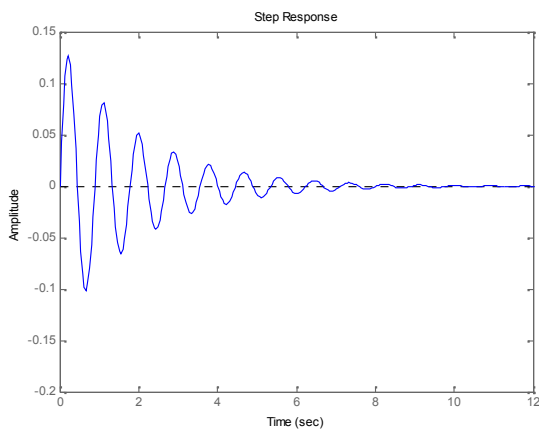
$$G_{(s)} = \frac{K_d - 4\hat{K}_p}{S^2 + K_d + K_p} \quad (54)$$

Dimana K_p merupakan konstanta proposional dan K_d merupakan konstanta derifative yang nilainya masing masing didapatkan menggunakan tuning. Persamaan (54) dicari kestabilan dari sistem dengan menggunakan root locus seperti gambar 5. Dari gambar tersebut terlihat bahwa sistem akan stabil, hal ini dikarenakan terdapat pole yang berada di sebelah kiri sumbu imajiner. Persamaan tersebut saat diuji dengan menggunakan step akan osilasi dan kemudian akan stabil seperti ditunjukkan pada gambar 6. Dari gambar tersebut terlihat bahwa sistem akan

mengalami osilasi terlebih dahulu, kemudian osilasi akan diredam dan sistem menjadi stabil dengan menggunakan derivative.



Gambar 8. Root locus kendali proposional derivative



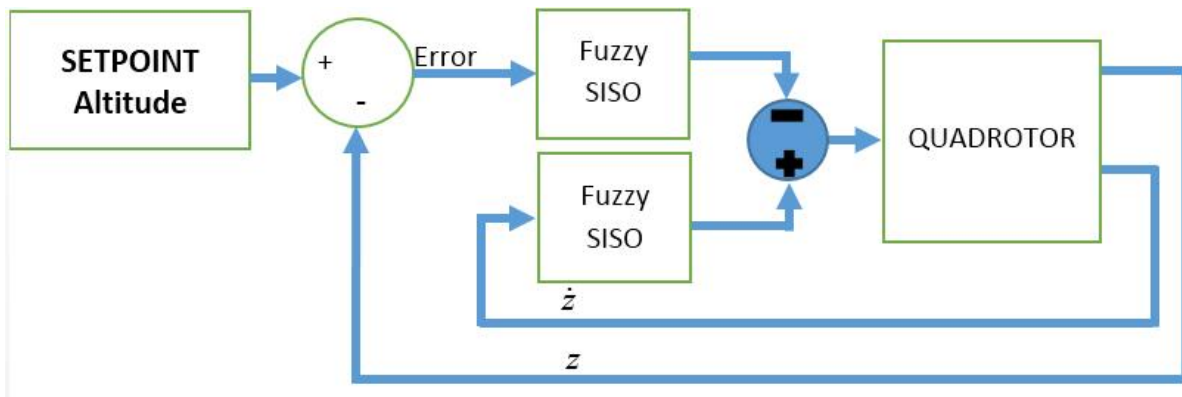
Gambar 9. Uji step untuk kendali proposional Derivative

Dengan pembuktian tersebut maka kendali PD digunakan dalam penelitian ini untuk mengendalikan altitude quadrotor yang ditunjukkan pada gambar 7. Agar optimal, diperlukan tuning untuk mendapatkan nilai variabel dari proposional dan derivatif, sehingga diperlukan fuzzy linier programming seperti PID untuk kendali tersebut. Kendali ini menggunakan fuzzy SISO tipe mamdani dengan menggunakan tiga variabel anggota untuk masukan dan keluaran yakni negatif small, Zero dan positif small. Dengan menggunakan tiga variabel masukan dan keluaran maka rule based sebagai berikut

if (Z is G) and (dz is Z) then (output1 is S)

if (Z is L) and (dz is S) then (output1 is N)

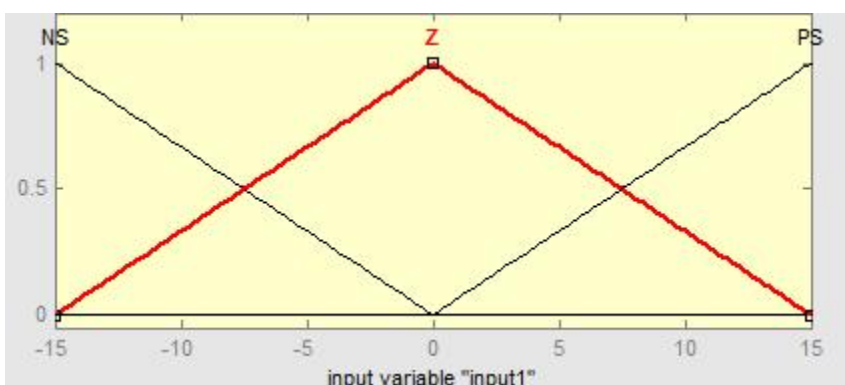
if (Z is H) and (dz is S) then (output1 is N)



Gambar 10. Diagram blok kendali Fuzzy linier programming seperti PD

Dari gambar 7 Kendali altitude menggunakan kendali SISO dengan algoritma *fuzzy logic* metode mamdani. Dalam penelitian ini dipresentasikan dua kendali kendali fuzzy yaitu kendali fuzzy as Proposional dan fuzzy as Derivative yang memiliki tiga variabel anggota himpunan masukan dan keluaran yang terdiri dari negatif, zero dan positif. Keluaran dari masing masing kendali tersebut akan dijumlahkan dan dihubungkan pada *throtell Quadrotor*.

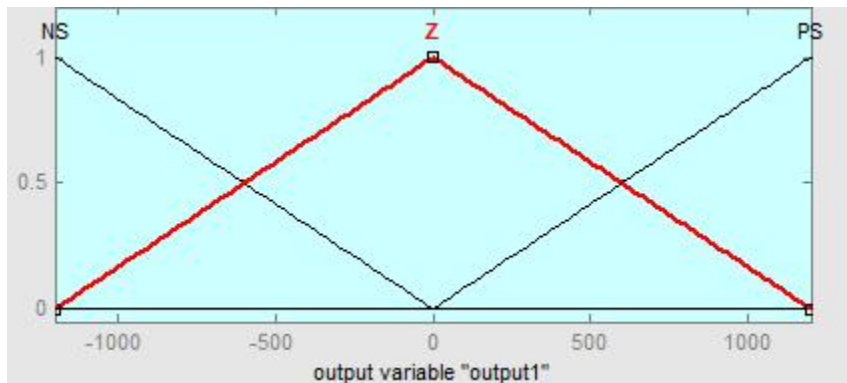
Perancangan yang pertama dilakukan berupa perancangan kendali fuzzy as propsonal yang memiliki masukan dengan range berupa nilai data error, sehingga variabel himpunan masukan kendali fuzzy as proposional memiliki range dari $-e$ sampai $+e$ seperti gambar 8. Dari gambar tersebut terlihat bahwa himpunan anggota tersebut menggunakan himpunan linear naik dan turun. Selain itu juga menggunakan himpunan anggota segitiga. Himpunan anggota tersebut digunakan untuk sistem linear, sedangkan sistem quadrotor merupakan sistem non linier, sehingga diperlukan model linierisasi.



Gambar 11. Himpunan masukan untuk kendali fuzzy as proposional

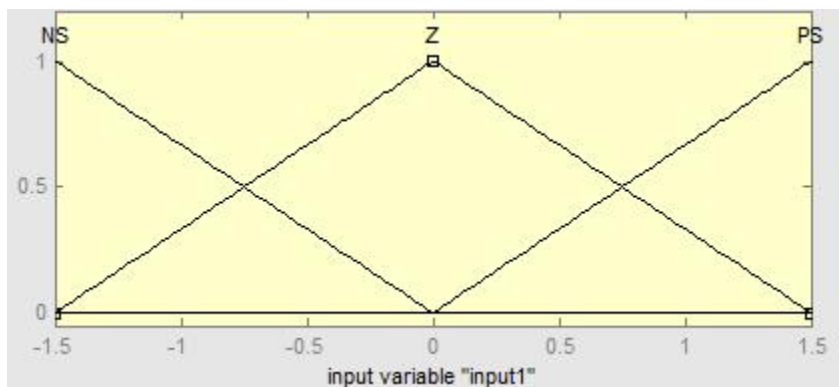
Selain masukan, kendali fuzzy as proposional memiliki keluaran dengan range berupa pulsa kecepatan motor. Penentuan nilai keluaran ini diperlukan agar kendali ini menjadi optimal, sehingga range untuk kecepatan motor memiliki nilai $-Speed$ dan $+Speed$ seperti gambar 9.

Dari gambar tersebut terlihat bahwa nilai masukan untuk kecepatan sebesar 1200 yang diperoleh dari model peter corke [24]



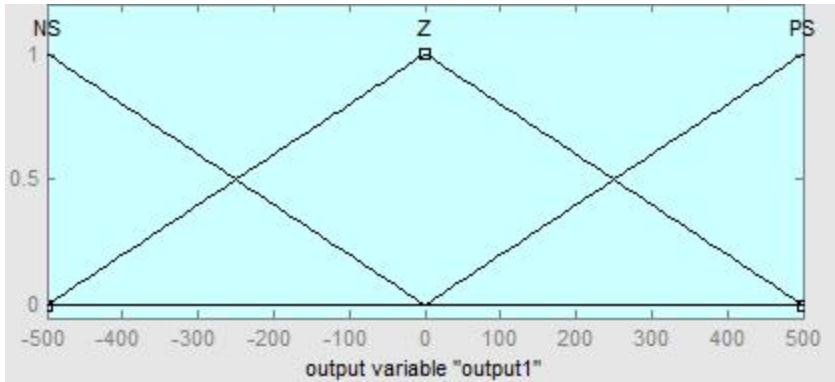
Gambar 12. himpunan keluaran untuk kendali fuzzy as proposional

Perancangan yang kedua dilakukan berupa perancangan himpunan masukan untuk kendali fuzzy as derivative yang ditunjukkan pada gambar 10. Dari gambar tersebut terlihat bahwa himpunan masukan kendali fuzzy as derivative memiliki range dari $-dz$ sampai $+dz$. Nilai tersebut akan mempengaruhi kinerja sistem pengendali yaitu saat nilai range besar maka quadrotor dapat diredam untuk overshootnya, hal ini dikarenakan nilai percepatan yang cepat dapat dibaca oleh masukan derivatif, sehingga derivative akan mengeluarkan nilai keluaran yang akan mengakibatkan penurunan pada nilai kendali proposional.



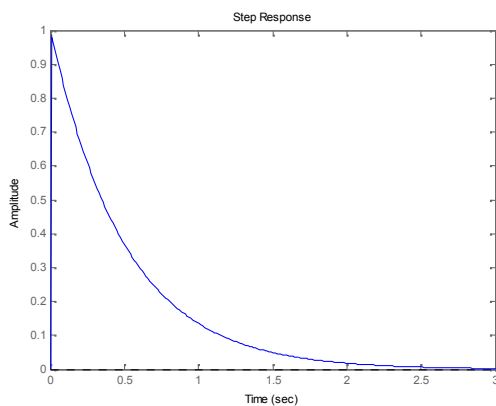
Gambar 13. Himpunan masukan untuk kendali fuzzy as Derivative:

Perancangan keluaran kendali fuzzy as derivative diperlukan untuk mendapatkan kendali altitude yang optimal pada quadrotor. Terdapat tiga anggota himpunana untuk yakni negative small, zero, dan positif small. Variabel keluaran ini memiliki rangge yang nilainya diperoleh dari setengah output proposional ditunjukkan pada gambar 11. Dalam gambar terlihat bahwa himpunan keluaran kendali fuzzy as derivative memiliki nilai range dari -500 sampai 500.



Gambar 14. himpunan keluaran untuk kendali fuzzy as derivative

Dalam penelitian ini sistem kontrol ketinggian untuk posisi melayang quadrotor digunakan kendali fuzzy seperti PD terdiri dari tiga bagian: yang pertama adalah input, output dan kontrol. Kendali tersebut diuji menggunakan simulasi milik peter corke yang memiliki spesifikasi seperti tabel 1. Dari tabel tersebut terlihat bahwa quadrotor yang akan digunakan untuk simulasi memiliki berat 4 kg. Selain itu memiliki momen inersia x,y, dan z sebesar 11, 12, dan 13. Dengan adanya data spesifikasi tersebut, dapat dilihat kestabilan sistem dari quadrotor menggunakan unit step.



Gambar 15. Uji step untuk kendali Fuzzy seperti PD

Unit step digunakan untuk menguji sistem kendali altitude quadrotor untuk ketinggian 1 meter seperti gambar 12. Dalam gambar tersebut terlihat bahwa dengan menggunakan unit step, kendali ketinggian dapat menstabilkan quad-rotor dan hanya membutuhkan waktu steady state 4,968 settling time 2,166 detik ketika menggunakan algoritma fuzzy logic controller. Selain itu waktu untuk take off quadrotor cepat dan hanya membutuhkan waktu raise time 1,607 sekon. Dalam melakukan take off dan hover, quadrotor tidak mengalami osilasi dan overshoot. Setelah diuji dengan menggunakan unit step bahwa kendali telah berhasil berhasil dan tidak terdapat overshoot maupun osilasi, kemudian kendali tersebut disimulasi di simulator milik peter corke. Dalam simulator milik peter corke, terlebih dahulu diatur parameter yang terdapat

di simulator seperti mengatur posisi awal quadrotor diposisi $xy(-1,0)$, ketinggian yang diinginkan = 1 meter, dan posisi melayang quadrotor $xy(-1,0)$. Percobaan yang dilakukan menggunakan beberapa gangguan yang menyerupai gangguan angin vertical. Hasil simulasi quad-rotor posisi melayang di posisi Z dengan ketinggian 1 meter ditunjukkan pada gambar 14. Dari gambar tersebut terdapat 3 grafik yaitu set point, disturbance, dan Error z. Kontroler ketinggian cepat menstabilkan quad-rotor dan hanya membutuhkan waktu steady state 4,968 settling time 2,166 detik ketika menggunakan algoritma fuzzy logic controller. Selain itu waktu untuk take off quadrotor cepat dan hanya membutuhkan waktu raise time 1,607 sekon. Dalam melakukan take off dan hover, quadrotor tidak mengalami osilasi dan overshoot. Kedudukan posisi hover pada quadrotor tidak mengalami perubahan yaitu sama pada posisi awal sebelum take-off. Saat waktu 65 second, quadrotor mengalami gangguan dari angin vertical ke atas selama 2 second, sehingga quadrotor mengalami pergeseran menuju keatas dari posisi awal. Dengan menggunakan kendali fuzzy like PD, quadrotor hanya bergeser 1 meter dan kembali ke posisi semula.

BAB 5. KESIMPULAN

Dalam penelitian ini telah diimplementasikan algoritma fuzzy linier programming dalam pengendali PD yang digunakan untuk posisi melayang pada quadrotor. Algoritma ini bukan sebagai tuning PD, akan tetapi algoritma ini dibuat seperti PD yang digunakan untuk mengendalikan ketinggian dari quadrotor. Berdasarkan hasil simulasi terdapat tiga grafik yakni setpoint, ketinggian dan disturbance yang memperlihatkan bahwa dengan menggunakan kendali ini, quadrotor dapat hover dan tidak mengalami overshoot maupun osilasi. Saat quadrotor mengalami gangguan berupa angin vertikal, dengan kendali tersebut dapat menstabilkan pada posisi semula. Sehingga algoritma fuzzy linier programming dapat diterapkan pada quadrotor yang merupakan sistem non linear.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, B. & Pota, H.R., 2009. Flight Control of a Rotary wing UAV using Adaptive Backstepping. , pp.1780–1785.
- Alexis, K. et al., 2011. Model Predictive Quadrotor Indoor Position Control. In *19th Mediterranean Conference on Control & Automation (MED), 2011*. pp. 1247–1252.
- Altug, E., Ostrowski, J.P. & Mahony, R., 2002. Control of a quadrotor helicopter using visual feedback. In *Proceedings. ICRA '02. IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2002*. pp. 72–77. Available at: http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=1013341.
- Bhatkhande, P. & Havens, T.C., 2014. Real Time Fuzzy Controller For Quadrotor Stability Control. In *2014 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE)*. pp. 913 – 919.
- Bouabdallah, S., Murrieri, P. & Siegwart, R., 2004. Design and Control of an Indoor Micro Quadrotor. In *Proceedings. ICRA '04. 2004 IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2004*. pp. 4393–4398.
- Bouabdallah, S., Noth, A. & Siegwart, R., 2004. PID vs LQ control techniques applied to an indoor micro quadrotor. In *(IROS 2004). Proceedings. 2004 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2004*. pp. 2451–2456.
- Bouabdallah, S. & Siegwart, R., 2007. Full Control of a Quadrotor. In *2007. IROS 2007. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*. pp. 153–158.
- Drak, A. et al., 2015. Sensor Fault Diagnostic and Fault-Tolerant Control for The Altitude Control of a Quadrotor UAV. In *GCC Conference and Exhibition*. pp. 1–4.
- Efe, M.O., 2007. Robust Low Altitude Behavior Control of a Quadrotor Rotorcraft Through Sliding Modes. In *MED '07. Mediterranean Conference on Control & Automation, 2007*. pp. 1–6.
- Esteves, D.J., Moutinho, A. & Azinheira, J.R., 2015. Stabilization and Altitude Control of an Indoor Low-Cost Quadrotor: Design and Experimental Results. In *2015 IEEE International Conference on Autonomous Robot Systems and Competitions (ICARSC)*. pp. 150–155. Available at: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=7101625>.
- Fakurian, F., M.Bagher, M. & M.Afshin, 2014. Design of a Fuzzy Controller by Minimum Controlling Inputs for a Quadrotor. In *Proceeding of the 2nd RSI/ISM International*

- Conference on Robotics and Mechatronics*. pp. 0–5.
- Hwangbo, M. & Kanade, T., 2013. Maneuver-Based Autonomous Navigation of a Small Fixed-Wing UAV. , pp.3961–3968.
- Johan, F.X. et al., 2013. Experiment of Model Based Non Linear Control Design for Altitude Control of Quadrotor Using Vision-Based Localization System. In *International Conference on Robotics, Biomimetics, Intelligent Computational Systems (ROBIONETICS)*. pp. 25–27.
- Joyo, M.K. et al., 2013. Altitude and Horizontal Motion Control of Quadrotor UAV in the Presence of Air Turbulence. In *2013 IEEE Conference on Systems, Process & Control (ICSPC)*. pp. 13–15.
- Lee, K.U. et al., 2012. Hovering Control of a Quadrotor UAV. In *2012 12th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS)*. pp. 162–167.
- Min, B.-C., Hong, J.-H. & Matson, E.T., 2011. Adaptive Robust Control (ARC) for an Altitude Control of a Quadrotor Type UAV Carrying an Unknown Payloads. In *2011 11th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS)*. pp. 1147–1151.
- Modirrousta, A. & Khodabandeh, M., 2014. Adaptive Robust Sliding Mode Controller Design for Full Control of Quadrotor with External Disturbances. In *International Conference on Robotics and Mechatronics*. pp. 870–877.
- Runcharoon, K. & Srichatrapimuk, V., 2013. Sliding Mode Control of Quadrotor. In *2013 International Conference on Technological Advances in Electrical, Electronics and Computer Engineering (TAECE)*. pp. 552–557.
- Santos, M., López, V. & Morata, F., 2010. Intelligent Fuzzy Controller of a Quadrotor. In *2010 International Conference on Intelligent Systems and Knowledge Engineering (ISKE)*. pp. 141 – 146.
- Stowers, J., Hayes, M. & Bainbridge-Smith, A., 2011. Altitude Control of a Quadrotor Helicopter Using Depth Map from Microsoft Kinect Sensor. In *Mechatronics (ICM), 2011 IEEE International Conference on*. pp. 358–362.
- Tayebi, A. & McGilvray, S., 2004. Attitude stabilization of a four-rotor aerial robot. In *43rd IEEE Conference on Decision and Control, 2004. CDC*. pp. 1216–1221.
- Waslander, S.L. et al., 2005. Multi-agent quadrotor testbed control design: Integral Sliding Mode vs. Reinforcement Learning. In *(IROS 2005). 2005 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2005*. pp. 468–473.

Lampiran 1. Justifikasi Anggaran Penelitian.

1. Honor						
Honor	Honor/Jam (Rp)	Waktu (jam/minggu)	Minggu	Honor per Tahun (Rp)		
				Th I	Th II	Th n
Ketua	24.995	2	10	499.900,-	-	-
Anggota 1	-	-	-	-	-	-
Anggota 2	-	-	-	-	-	-
Anggota ke n	-	-	-	-	-	-
SUB TOTAL (Rp)				499.900,-	-	-
2. Peralatan penunjang						
Material	Justifikasi Pemakaian	Kuantitas	Harga Satuan (Rp)	Harga Peralatan Penunjang (Rp)		
				Th I	Th II	Th n
Sewa Software	ROS	20	40.020,-	800.400,-	-	-
Peralatan penunjang 2	-	-	-	-	-	-
Peralatan penunjang 3	-	-	-	-	-	-
.....	-	-	-	-	-	-
Peralatan penunjang n	-	-	-	-	-	-
SUB TOTAL (Rp)				800.400,-	-	-
3. Bahan Habis Pakai						
Material	Justifikasi Pemakaian	Kuantitas	Harga Satuan (Rp)	Biaya per Tahun (Rp)		
				Th I	Th ..	Th n
Ar Drone	Quadrotor	1	2.999.000	2.999.000,-	-	-
Material 2	-	-	-	-	-	-
Material 3	-	-	-	-	-	-
.....	-	-	-	-	-	-
Material n	-	-	-	-	-	-
SUB TOTAL (Rp)				2.999.000,-	-	-
4. Perjalanan						
Material	Justifikasi Perjalanan	Kuantitas	Harga Satuan (Rp)	Biaya per Tahun (Rp)		
				Th I	Th ..	Th n
Perjalanan ke Lab Kendali UGM	Uji coba ROS	20	37.492	749.850,-	-	-
Perjalanan ke tempat/kota - n	-	-	-	-	-	-
SUB TOTAL (Rp)				749.850,-	-	-
5. Lain-lain						
Kegiatan	Justifikasi	Kuantitas	Harga Satuan (Rp)	Biaya per Tahun (Rp)		
				Th I	Th...	Th n
Publikasi		1	549.850	549.850		
Laporan		1	200.000	200.000		
SUB TOTAL (Rp)				749.850		
TOTAL ANGGARAN YANG DIPERLUKAN SETIAP TAHUN (Rp)				Th I	Th...	Th n
				4.999.000,-		
TOTAL ANGGARAN YANG DIPERLUKAN SELURUH TAHUN (Rp)				4.999.000,-		

Lampiran 2. Susunan organisasi tim peneliti dan pembagian tugas.

Format Susunan Organisasi Tim Peneliti/Pelaksana dan Pembagian Tugas

No	Nama / NIDN	Instansi Asal	Bidang Ilmu	Alokasi Waktu (jam/minggu)	Uraian Tugas
1	Iswanto/ 0502098101	Universitas Muhammadiyah Yogyakarta	Instrumentasi dan Kendali	20	Mendesain model dan kendali quadrotor

Lampiran 3. Biodata ketua dan anggota.

A. IDENTITAS DIRI			
1.1	Nama Lengkap (dengan gelar)	Iswanto, S.T., M.Eng	L/P
1.2	Jabatan Fungsional	Asisten Ahli	
1.3	NIP/NIK	19810902 201010 123 057	
1.4	Tempat dan Tanggal Lahir	Yogyakarta, 2 September 1981	
1.5	Alamat Rumah	Jalan Sedah no 12 Pringwulung Condong Catur Depok Sleman Yogyakarta	
1.6	Nomor Telepon/Faks	0274 547698	
1.7	Nomor HP	08995023004	
1.8	Alamat Kantor	Kampus Terpadu UMY Jl. Lingkar Selatan, Kasihan, Bantul Yogyakarta 55183	
1.9	Nomor Telepon/Faks	+62 274 387656 / +62 274 387646	
1.10	Alamat e-mail	iswanto_te@umy.ac.id	
1.11	Lulusan yg telah dihasilkan	S-1= 40 orang ; S-2= orang; S-3= orang	
1.12	Mata Kuliah yg diampu	1. Elektronika (S1)	
		2 Sistem Kendali dan Instrumentasi (S1)	
		3 Mikrokontroller (S1)	
		4	
		5	
		6	

B. RIWAYAT PENDIDIKAN			
2.1. Program:	S-1	S-2	S-3
2.2. Nama PT	Universitas Gadjah Mada	Universitas Gadjah Mada	
2.3. Bidang Ilmu	Teknik Elektro	Teknik Elektro	
2.4. Tahun Masuk	2004	2007	
2.5. Tahun Lulus	2006	2008	
2.6. Judul Skripsi/Tesis/Disertasi	Aplikasi ds80c400 sebagai network bridge dalam jaringan plc berbasis avr90s3585	Sistem prediksi banjir menggunakan citra satelit	
2.7. Nama Pembimbing/Promotor	1. Selo 2. Eka Firmansyah	1. Adhi Susanto 2. Thomas Sri Widodo	

C. PENGALAMAN PENELITIAN				
No	Tahun	Judul	Pendanaan	
			Sumber	Jml (juta Rp)
1	2011	Deteksi banjir lahar dingin	LP3M UMY	3 Juta
2	2012	Alat bantu jalan tuna netra	Dikti	10 Juta
3	2013	Pengembangan fondasi perkerasan lentur jalan dengan kolom eco si-cc pada tanah	Dikti	70 Juta

D. Pengalaman Pengabdian Kepada Masyarakat dalam 5 Tahun Terakhir				
No.	Tahun	Judul Pengabdian Kepada Masyarakat	Pendanaan	
			Sumber*	Jml (Juta Rp)
1	2012	Melaksanakan pengabdian masyarakat Mono tahun "IBM Pengrajin Kulit)	Dikti	49 Juta
2				

IV. PENGALAMAN PENULISAN ARTIKEL ILMIAH DALAM JURNAL		
No	Judul	Nama Jurnal
1	Path Planning Based on Fuzzy Decision Trees and Potential Field	International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE) 6 (1)
2		
3		
4		
5		
6		

V. PENGALAMAN MERUMUSKAN KEBIJAKAN PUBLIK/REKAYASA SOSIAL LAINNYA	
No	Nama
	-
	-

VI. PENGALAMAN MENULIS BUKU			
No	Tahun	Judul	Penerbit

Semua data yang saya isikan dan tercantum dalam biodata ini adalah benar dan dapat dipertanggungjawabkan secara hukum. Apabila di kemudian hari ternyata dijumpai ketidaksesuaian dengan kenyataan, saya sanggup menerima risikonya.

Demikian biodata ini saya buat dengan sebenarnya untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam pengajuan “Insentif Penyusunan Artikel Jurnal yang Berasal dari Tugas Akhir Mahasiswa”.

Yogyakarta, 22 February 2015
Pengusul,



(Iswanto, S.T., M.Eng)