

**LAPORAN AKHIR
PENELITIAN KOMPETITIF
PENELITIAN DASAR**



UBAYA
UNIVERSITAS SURABAYA

**PERANCANGAN DAN ANALISA PERFORMANSI
FUZZY PID GAIN SCHEDULING
UNTUK WAYPOINT NAVIGATION AR.DRONE QUADROTOR**

Ketua : Agung Prayitno, S.T., M.Eng (204037/0725107901)
Anggota : Ir. Veronica Indrawati, M.T. (194029/0708046601)

**Universitas Surabaya
April 2017**

HALAMAN PENGESAHAN

Judul Penelitian : Perancangan dan Analisa Performansi Fuzzy PID
Gain Scheduling Untuk Waypoint Navigation
AR.Drone Quadrotor

Nama Rumpun Ilmu : Teknik Elektro

Ketua Peneliti :

- a. Nama Lengkap : Agung Prayitno, S.T., M.Eng.
- b. NIDN : 204037 / 0725107901
- c. Jabatan Fungsional : Lektor-200
- d. Fakultas /Program Studi : Fakultas Teknik / Teknik Elektro
- e. Nomor HP : 087854417676
- f. Alamat Surat (email) : prayitno_agung@staff.ubaya.ac.id

Anggota Peneliti :

- a. Nama Lengkap : Ir. Veronica Indrawati, M.T.
- b. NIDN : 194029 / 0708046601
- c. Fakultas /Program Studi : Fakultas Teknik / Teknik Elektro

Lama Penelitian Keseluruhan : 1 tahun
Penelitian Tahun ke : 1 dari 1 tahun
Biaya Penelitian Keseluruhan : Rp. 15.000.000,-

Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik,



(Dr. Dra. Amelia Santoso, M.T.)
NPK: 193015

Surabaya, 30 April 2017
Ketua Peneliti,

(Agung Prayitno, S.T., M.Eng.)
NPK: 204037

RINGKASAN

Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh rancangan algoritma *waypoint navigation* AR.Drone dengan menggunakan *fuzzy PID gain scheduling*. *Waypoint navigation* adalah perintah terbang dari posisi terbang saat ini untuk menuju ke koordinat yang diinginkan dari front panel software. Penelitian ini dilakukan di ruang tertutup di Laboratorium Teknik Elektro Universitas Surabaya. Hasil penelitian menghasilkan skema kontrol dengan menggunakan 3 PID kontroler sebagai kontrol utama AR.Drone, yaitu untuk mengontrol pitch, roll dan throttle. Sedangkan proses parameter PID controller di-scheduling secara otomatis dengan menggunakan fuzzy logic. Pada penelitian ini digunakan lima set parameter PID yang akan dievaluasi oleh fuzzy logic untuk tuning parameter PID. Sebagai input dari skema kontrol adalah posisi error sedangkan sebagai outputnya adalah pitch, roll dan throttle. Skema kontrol diimplementasikan pada AR.Drone dan diuji terbang ke beberapa titik berbentuk kotak dalam koordinat ruang. Hasil ujicoba menunjukkan bahwa sistem kontrol dapat mengikuti titik yang diinginkan dan proses scheduling parameter dapat ditunjukkan.

Kata Kunci: *AR.Drone, Fuzzy gain scheduling, PID Control, Position Control*

PRAKATA

Laporan Akhir ini merupakan laporan kepada LPPM Universitas Surabaya sebagai bentuk tanggung jawab sebagai penerima Penelitian Kompetitif Penelitian Dasar 2016-2017. Laporan ini juga merupakan bentuk sharing hasil penelitian kami kepada masyarakat umum. Dengan selesainya penelitian ini, saya sebagai ketua tim penelitian mengucapkan terima kasih kepada semua anggota dan tim mahasiswa yang terlibat dalam penelitian ini. Kerja keras dan usaha bersama memperlihatkan hasil yang signifikan dalam penelitian ini. Atas capaian ini saya ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa yang selalu mencurahkan rahmat kepada semua makhluknya.
2. Dr. Drs A.J. Tjahjo Anggoro, M.Si. sebagai ketua LPPM Universitas Surabaya yang telah memfasilitasi penelitian ini
3. Dr. Dra. Amelia Santoso, M.T. sebagai Dekan Fakultas Teknik yang telah memfasilitasi penelitian ini.
4. Seluruh anggota tim penelitian baik dosen dan mahasiswa yang terlibat : Ibu Veronica, Ivan yang telah bekerja keras dan kompak untuk mengerjakan penelitian ini.
5. Rekan rekan sejawat dosen di Jurusan Teknik Elektro Universitas Surabaya.
6. Keluarga tim peneliti yang selalu memberi semangat dan motivasi.

Semoga laporan akhir ini memberikan kontribusi keilmuan kepada masyarakat umum dan sekaligus sebagai bentuk tanggung jawab peneliti dalam menerima hibah ini dari LPPM Universitas Surabaya. Semoga dengan selesainya penelitian ini memberikan tambahan semangat baru bagi tim peneliti untuk melakukan penelitian lagi ke depan sehingga diharapkan akan banyak menghasilkan luaran dan kontribusi keilmuan yang berarti.

DAFTAR ISI

Halaman Sampul.....	i
Halaman Pengesahan	ii
Ringkasan	iii
Prakata	iv
Daftar Isi	v
Daftar Tabel	vii
Daftar Gambar	viii
Bab I Pendahuluan	1
1.1. Latar Belakang Penelitian	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Sistematika Penulisan Laporan	3
Bab II Tinjauan Pustaka	4
2.1. Pendahuluan	4
2.2. AR.Drone	5
3.3. Riset – Riset di Luar Negeri Yang Menggunakan Drone	8
Bab III Tujuan dan Manfaat Penelitian	9
3.1. Tujuan Penelitian	9
3.2. Manfaat Penelitian.....	9
Bab IV Metode Penelitian	10
Bab V Hasil Yang Dicapai	16
Bab VI Kesimpulan dan Saran	19
6.1. Kesimpulan	19
6.2. Saran	19
Daftar Pustaka	20

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Parameter PID	11
Tabel 2. Parameter Set Fuzzy Scheduling	14

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. AR.Drone 2.0 Elite Edition.....	5
Gambar 2. Konfigurasi Input-Output AR.Drone.....	7
Gambar 3. Degree of Freedom AR.Drone.....	8
Gambar 4. Block diagram Sistem Kontrol PID	10
Gambar 5. <i>Block Diagram PID</i>	11
Gambar 6. Block Diagram Sistem Terkontrol Fuzzy-PID Gain Scheduling	12
Gambar 7. Skema Fuzzy-PID Gain Scheduling	13
Gambar 8. Eksperimen terbang	17
Gambar 9. Proses Gain Scheduling	17
Gambar 10. Sinyal kontrol pitch, roll and throttle.....	18

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Penelitian

Saat ini quadrotor tidak lagi hanya digunakan sebagai hobby saja, namun telah banyak pekerjaan pekerjaan yang menggunakan quadrotor sebagai alat bantu. Sebut saja dalam pekerjaan liputan berita pantauan lalu lintas saat hari raya, liputan berita di daerah bencana, liputan berita suatu even pameran dll. Bahkan quadrotor juga sudah banyak diaplikasikan dalam jasa jasa videografi dan fotografi. Biasanya quadrotor tersebut dioperasikan oleh operator dengan menggunakan remote controller. Di dunia pendidikan, quadrotor sudah menjadi salah platform riset yang sangat menarik. Berbagai rancangan kontrol untuk berbagai tugas terbang quadrotor secara autonomous telah banyak dikembangkan baik secara simulasi maupun implementasi secara real time.

Salah satu hambatan yang biasa dihadapi oleh peneliti pada saat fokus pada pengembangan algoritma terbang adalah hardware quadrotor yang kurang bagus. Algoritma terbang yang diimplementasikan sering terbentur oleh ketidaksempurnaan rancangan hardware yang dibuat sehingga mengakibatkan seringnya kegagalan implemtasi algoritma yang dibuat. Hal inilah yang sering mengakibatkan desain hardware merupakan tahapan yang memakan waktu yang lama. Untuk menghindari problem ini, saat ini telah banyak hardware quadrotor yang telah tersedia dengan baik dan siap terbang di pasaran dengan berbagai harga. Diantaranya adalah DraganFly, DIY Drone Arducopter, Ascending Technologies Hummingbird dan Parrot AR.Drone.[1].

Diantara keempat quadrotor tersebut, Parrot AR.Drone adalah salah satu quadrotor yang mempunyai harga yang relatif murah namun mempunyai spesifikasi untuk riset yang cukup lengkap. AR.Drone mempunyai on-board electronics yang di dalamnya sudah terdapat motherboard lengkap dengan processor dan Wi-Fi chip, sensor accelerometer, sensor gyroscope, sensor ultrasonic, mikrokontroler dan dua buah kamera. Platform ini juga telah disertakan real time operating system yang memungkinkan berbagai tugas dapat dilakukan secara bersamaan seperti berkomunikasi dengan ground station melalui Wi-Fi, sensor acquisition, video data sampling, image processing, state estimation, dan closed-loop control.

Berbagai algoritma tugas terbang secara autonomous telah banyak dikembangkan dengan menggunakan AR.Drone sebagai platform. Diantaranya adalah terbang mengikuti object dibawahnya (tracking an object), terbang mengikuti garis (path

following), trajectory tracking dan waypoint navigation. Sejak tahun 2013, pengusul (Agung Prayitno dan Veronica Indrawati) sudah fokus pada penelitian di bidang AR.Drone. Agung Prayitno [9] mendapatkan model dinamik AR.Drone 1.0 dengan pendekatan sistem fisik. Veronica Indrawati [10] dalam penelitiannya fokus pada pengembangan algoritma speech recognition yang akan digunakan sebagai pengganti dari remote control. Tahun 2014 dan 2015 pengusul dan anggota mendapatkan hibah penelitian DIKTI melalui skema Hibah Bersaing. Dalam penelitian ini, model dinamik AR.Drone 2.0 berhasil diperoleh dengan pendekatan data modeling [11] dan skema kontrol Fuzzy Logic Controller telah berhasil diaplikasikan untuk trajectory tracking [6]. Di penelitian tahun ke II, 2015, skema kontrol H-infinity control sedang dirancang dan diimplementasikan untuk menyelesaikan trajectory tracking AR.Drone.

Pada penelitian ini dirancang algoritma kontrol untuk waypoint navigation control yaitu Fuzzy PID Gain Scheduling. Waypoint navigation adalah perintah terbang untuk pulang ke koordinat yang diinginkan dengan beberapa skema terbang. Dari hasil tinjauan pustaka belum diketemukan adanya penelitian dengan topik ini pada AR.Drone, sehingga penelitian ini merupakan tantangan tersendiri.

Secara garis besar, penelitian ini meliputi bagaimana merumuskan skema kontrol fuzzy gain scheduling dan implementasi fuzzy PID gain scheduling untuk menyelesaikan tugas waypoint navigation. Respon transien dan respon steady state dari sistem terkontrol akan digunakan untuk mengetahui performansi dari kontroler. Pada akhir penelitian akan dirangkum beberapa hasil analisa performansidan saran saran dari skema kontrol tersebut sehingga hasil dan saran tersebut diharapkan dapat menambah kontribusi pengembangan algoritma waypoint navigation AR.Drone.

1.2. Perumusan Masalah

Berdasar latar belakang di atas, permasalahan pada penelitian ini dapat dirumuskan sbb:

- a. Bagaimana memformulasikan skema *fuzzy PID gain scheduling*?
- b. Bagaimana merancang *fuzzy PID gain scheduling* untuk *waypoint navigation* AR Drone Quadrotor?.
- c. Bagaimana merealisasikan algoritma *fuzzy PID gain scheduling* yang telah dirancang pada platform AR Drone Quadrotor?.
- d. Bagaimana menghitung response transient dan respon steady state untuk mengetahui performansi dari kontroler.

1.3. Sistematika Penulisan Laporan

Laporan Akhir penelitian ini ditulis dengan sistematika sebagai berikut:

Bab 1 : Pendahuluan menjelaskan tentang latar belakang penelitian, perumusan masalah dan sistematika penulisan laporan.

Bab 2 :Tinjauan Pustaka menjelaskan tentang ringkasan dari study literatur yang berkaitan dengan penelitian.

Bab 3 : Tujuan dan Manfaat Penelitian menjelaskan tentang tujuan dan manfaat dari penelitian

Bab 4 : Metodologi Penelitian menjelaskan tahapan tahapan penelitian dan detail pekerjaan yang dilakukan dari awal penelitian sampai akhir penelitian ini.

Bab 5 : Hasil Yang Dicapai menjelaskan hasil hasil yang telah dicapai.

Bab 6 : Kesimpulan dan Saran berisi kesimpulan dan saran dari laporan penelitian ini.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pendahuluan

Helikopter dengan 4 buah baling baling tetap yang tersusun secara diagonal atau yang umum dikenal dengan quadrotor, menjadi bidang riset yang sangat berkembang pada beberapa tahun ini. Platform ini dipilih karena mempunyai konstruksi mekanik yang sederhana tetapi mempunyai kemampuan terbang stationer, terbang vertikal, terbang dengan kecepatan rendah dan dapat juga bermanuver secara cepat. Namun demikian pesawat ini juga mempunyai beberapa kelemahan antara lain keterbatasan supply energi dan beban yang dapat diangkut. Tantangan lain pada pesawat ini adalah susah untuk dikontrol dikarenakan sistemnya yang non linear [1]. Namun demikian banyak aplikasi yang telah dihasilkan dengan pemanfaatan quadrotor ini yang antara lain dapat digunakan untuk *monitoring* dan analisis lalu lintas, *aerial photography and video*, *aerial surveillance and intelligence for law enforcement*, *property assessment* dan *real estate promotion* dll [2]. Namun demikian kebanyakan masih diterbangkan secara manual oleh operator di *ground station*.

Agar quadrotor dapat terbang secara *autonomous*, tentunya perlu dirancang suatu *autonomous flight tasks control* yang memungkinkan quadrotor dapat terbang dengan berbagai manuver untuk misi atau tugas tertentu. *Autonomous flight tasks* meliputi *vertical take-off and landing*, *hover flight*, *tracking an object or path*, dan *trajectory tracking*. Desain dan pengembangan algoritma kontrol untuk trajectory tracking merupakan salah satu topik yang menarik untuk diriset. Agar pengembangan algoritma tidak terhalang waktu, diperlukan sebuah platform quadrotor yang secara hardware sudah bagus dan siap sehingga algoritma kontrol yang didesain dapat dicoba pada platform tersebut. Salah satu platform yang dapat digunakan untuk penelitian ini adalah AR Drone.

Menurut [3] ada beberapa *layer* untuk mengimplementasikan *autonomous UAV*. *Layer* pertama adalah *kernel control* yang bertanggung jawab pada *asymtotic stability*. *Layer* kedua adalah *command generator* yang berperan membangkitkan perintah terbang kepada *kernel control*. *Layer* ketiga adalah *flight scheduling* yang berfungsi untuk menentukan *flight plan*, *flight tasks* dan *references*. AR.Drone telah mempunyai *layer* pertama yang menerima perintah terbang melalui *Wi-Fi*. *Angle stabilization* dan *vertical speed* dikontrol dengan software pada *inner board* bawaan AR.Drone. Sedangkan AR.Drone belum mempunyai *layer* kedua dan ketiga, ini memungkinkan para peneliti untuk mengeksplor berbagai algoritma kontrol untuk *flight tasks* AR.Drone.

2.2. AR.Drone

AR.Drone adalah salah satu platform quadrotor yang secara harga relatif murah namun *on-board electronics* di dalamnya sudah terdapat *motherboard* lengkap dengan *processor* dan *Wi-Fi chip*, sensor *accelerometer*, *gyroscope*, *ultrasonic*, mikrokontroler dan dua buah kamera. Dalam *AR.Drone* ini juga telah disertakan *real time operating system* yang memungkinkan berbagai tugas dapat dilakukan secara bersamaan seperti berkomunikasi dengan *ground station* melalui *Wi-Fi*, *sensor acquisition*, *video data sampling*, *image processing*, *state estimation*, dan *closed-loop control*[4]. Dengan alasan tersebut dan fitur-fitur yang dimilikinya maka *AR.Drone* tersebut digunakan sebagai salah satu platform riset di Jurusan Teknik Elektro Universitas Surabaya. *AR.Drone* yang dipakai adalah *AR.Drone 2.0 Elite Edition* dengan firmware versi 2.4.8 seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. *AR.Drone 2.0 Elite Edition*

AR Drone 2.0 Elite Edition memiliki spesifikasi sebagai berikut: [5]

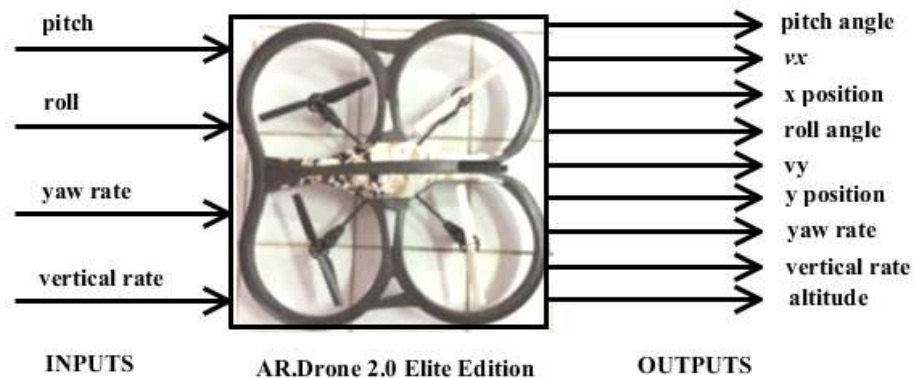
- Dimensi dari *AR Drone 2.0* adalah 517 x 517 mm saat menggunakan pelindung (*indoor hull*) dan 451 x 451 mm saat tanpa pelindung (*outdoor hull*).
- Mempunyai 4 buah *brushless inrunner motors* dengan kecepatan 28.500 dan 14,5 watt saat hover.
- 16 Hz 32 bit *ARM Cortex A8 processor* dengan 800 MHz *video DSP TMS320DMC64x*
- Memori *AR Drone* menggunakan 16bit *DDR2 RAM 200 MHz*

- Kamera AR Drone 2.0 menggunakan teknologi *HD Camera* dengan resolusi 720p dengan lebar sudut lensa 92 derajat dan kecepatan kamera 30 fps. Dapat merekam secara langsung saat terbang via *Wi-Fi* dengan menggunakan *software AR Freeflight* dan dapat dilihat pada *device* yang sedang digunakan saat itu juga.
- Terdapat OS Linux 2.6.32, *Wi-Fi* b/g/n, USB 2.0, 3 sumbu *gyroscope* dengan presisi 2000 derajat/detik, 3 sumbu *accelerometer* dengan presisi ± 50 mg, 3 sumbu *magnetometer* dengan presisi 6 derajat, sensor tekanan dengan presisi ± 10 Pa, sensor *ultrasound* untuk pengukuran ketinggian, dan kamera bawah berkualitas QVGA dengan kecepatan 60 fps untuk pengukuran kecepatan *ground*. Dengan *onboard internal controller* memungkinkan pengguna untuk mengendalikan terbang AR.Drone dengan mudah. Karena AR.Drone sebenarnya dirancang sebagai reality game, maka aplikasi untuk mengendalikan AR.Drone ini dapat di download di Google Play Store bagi pengguna Android ataupun di App Store bagi pengguna Apple. Beberapa aplikasi yang dapat digunakan untuk mengontrol AR.Drone ini adalah AR.FreeFlight 2.0 dan AR.Race2. Namun demikian, Parrot, sebagai pembuat AR.Drone juga menyertakan Software Development Kit (SDK) [6] yang memungkinkan pengguna untuk mengakses AR.Drone dengan Wi-fi sehingga dapat melakukan kontrol, merancang algoritma kontrol sendiri dan melakukan data acquisition dengan berbagai macam software.

Pada *internal controller* yang sudah disertakan pada AR.Drone pengguna juga dapat melakukan beberapa kontrol dasar yang meliputi *take-off*, *landing*, *hover* dan *emergency stop*. Setiap perintah kontrol tersebut sudah tersedia *closed-loop control* pada *onboard internal controller*-nya. Sebagai contoh perintah *take-off*, *internal controller* akan melakukan aksi dengan urutan sebagai berikut: [7]

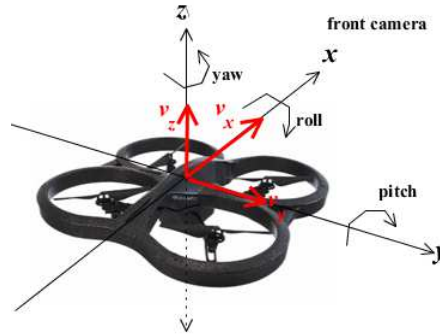
- Jalankan semua motor
- Naikkan *thrust* dari semua motor secara berimbang untuk menaikkan ketinggian AR.Drone hingga stabil di sekitar 1 meter.
- Lakukan koreksi kecepatan rotor untuk mempertahankan *zero attitude (roll, pitch)* dan *zero yaw*.
- Monitoring kamera bawah untuk mempertahankan posisi *drone* agar tetap di atas titik *take-off* nya tadi.

Selain kontrol dasar tersebut, pengguna dapat mengontrol gerak AR.Drone dengan 4 buah input yang meliputi: *pitch*, *roll*, *yaw rate* dan *vertical rate* dengan range input -1 s.d 1 yang merepresentasikan nilai minimum dan maximum dari sudut atau kecepatan. Jika keempat input ini tidak ada maka secara otomatis drone akan bekerja seperti halnya pada kondisi *hover*. Output AR.Drone yang dapat direkam data navigasinya antara lain : *actual roll angle*, *forward speed v_x* , *x-position estimation*, *actual roll angle*, *sideward speed v_y* , *y-position estimation*, *yaw rate*, *yaw estimation*, *vertical rate*, *altitude*, *video from bottom camera* dan *front camera*.



Gambar 2. Konfigurasi Input-Output AR.Drone

AR.Drone mempunyai *6 degree of freedom (DOF)* yaitu tiga buah komponen *translational* berupa posisi x, y, z dan tiga buah komponen *rotational* berupa sudut *pitch*, *roll*, *yaw*. Untuk memperjelas pemahaman, perhatikan Gambar 3 di bawah. Pusat koordinat adalah titik tengah dari AR.Drone dengan sumbu x searah dengan kamera depan. Kecepatan *translational* dari AR.Drone dinyatakan dengan *forward speed v_x* , *sideward speed v_y* dan *vertical speed v_z* . *Pitch* adalah sudut akibat pergerakan rotasi AR.Drone terhadap sumbu y , *roll* adalah sudut akibat rotasi terhadap sumbu x sedangkan *yaw* adalah sudut akibat rotasi terhadap sumbu z . Variabel variabel tersebut merupakan output dari AR.Drone yang disebabkan oleh kombinasi dari 4 buah sinyal kontrol berupa *roll*, *pitch*, *yaw rate* ataupun *vertical rate*.



Gambar 3. Degree of Freedom AR.Drone

2.3. Riset – Riset di Luar Negeri Yang Menggunakan AR.Drone

Banyak riset yang telah dilakukan dengan menggunakan berbagai macam quadrotor dan AR.Drone sebagai platform risetnya. Michael Mogenson [8] membuat AR.Drone LabVIEW toolkit yang memudahkan bagi para mahasiswa, pengajar ataupun peneliti untuk mempelajari AR.Drone 1.0. Dengan toolkit ini memungkinkan pengguna untuk mengontrol, membaca data navigasi dan membaca data gambar/video dari kedua kamera *onboard* yang terpasang pada AR.Drone. Krajnijk dkk [1] menjelaskan bahwa AR.Drone dapat digunakan sebagai platform riset dan pendidikan. Dalam papernya dijelaskan tentang *hardware* dan *software* pada AR.Drone, bagaimana mendapatkan dinamik model dari sistem drone dengan data modeling dan menunjukkan beberapa algoritma dasar untuk *position stabilization*, *object following* dan *autonomous navigation*. Sun Yue [9] melakukan pemodelan dan identifikasi parameter model dengan berbagai eksperimen. Berdasarkan model dinamik yang diperoleh *local* dan *global controller* serta *filter* didesain. *Local controller* digunakan untuk mengontrol *throttle*, *roll*, *pitch* dan *yaw* sedangkan *global controller* digunakan untuk *position control* yang menggunakan Kinect sebagai sensor. Filter digunakan untuk mereduksi *noise* dari sensor. Pierre-Jean Bristeau et.al [4] menjelaskan dengan detail teknologi navigasi dan kontrol yang digunakan oleh AR.Drone yang meliputi deskripsi hardware, algoritma vision, kalibrasi sensor, estimasi altitude, estimasi velocity dan arsitektur kontrol. Nick et.al [6] membuat simulasi AR.Drone include dengan model sensor dan model motionnya. Mereka juga membuat visual map dan indoor environment. Dengan menggunakan visual map tersebut AR.Drone akan dapat localize itself. Yifang [9] mendapatkan model dinamik dari AR.Drone yang terdiri dari internal controller model dan physical dynamic dari drone. Beberapa algoritma kontrol diaplikasikan ke drone seperti waypoint navigation dan trajectory-following dengan PID Controller dan juga vision based controller untuk berbagai variasi terbang.

BAB III

TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

3.1. Tujuan Penelitian

Secara khusus, penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan algoritma fuzzy gain scheduling untuk aplikasi *waypoint navigation* pada AR.Drone. Dengan automatic gain scheduling ini diharapkan drone dapat terbang optimal pada beberapa titik operasi penggunaannya.

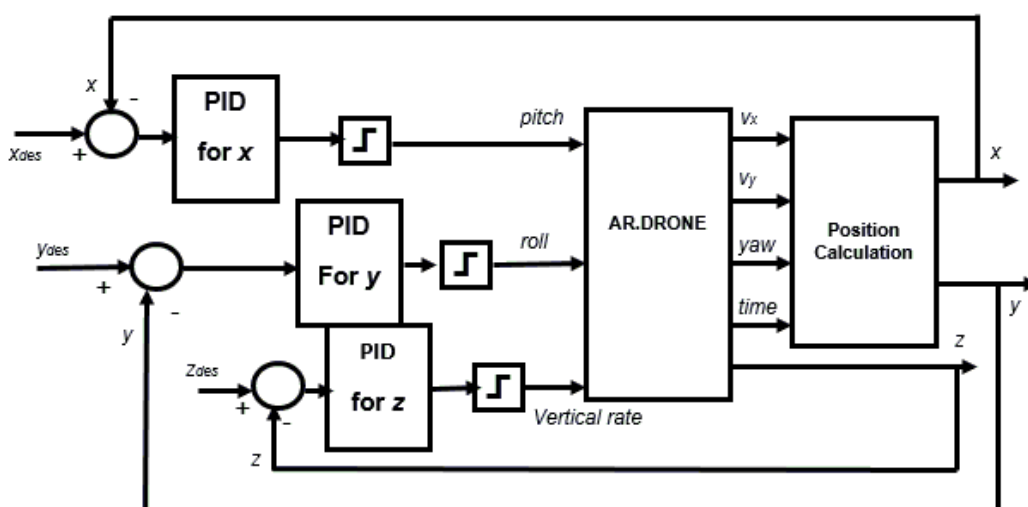
3.2. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah bahwa skema kontrol tersebut, *fuzzy PID gain scheduling*, belum digunakan peneliti lain untuk aplikasi *waypoint navigation* AR.Drone, dari hasil tinjauan pustaka. Sehingga hasil penelitian ini akan memberikan kontribusi yang berarti bagi pengembangan algoritma *waypoint navigation* AR.Drone.

BAB IV

METODE PENELITIAN

Penelitian dimulai dengan merancang kontrol PID untuk masing masing pitch, roll dan vertical rate (throttle) yang bertanggung jawab secara berurutan untuk posisi x, y dan z dari drone. Skema PID control yang dipakai ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Block diagram Sistem Kontrol PID.

Prosedur perancangan skema PID control yang sesuai dilakukan sebagai berikut:

- Memahami sistem dinamik dari AR.Drone. Hal ini dilakukan dengan uji step response untuk sistem pitch, roll dan vertical rate dari drone dengan memberikan nilai yang berkisar dari -1 s.d 1. Data navigasi seperti actual pitch, forward speed, x, , actual roll, sideward speed, y, vertical rate, and z direkam dan dianalisa.
- Dari data yang diperoleh, dengan memperhatikan batasan ruang indoor ternyata diperlukan pembatasan sinyal kontrol. Pitch pada range -0.115 s.d 0.115, roll pada range -0.125 s.d 0.125
- Merumuskan setiap sub sistem PID, Gambar 5, kedalam program komputer. Untuk kemudahan programming dan implementasi, persamaan PID dikoversi sebagai berikut.

$$PID = K_P e(t) + K_I \int e(t) + K_D \frac{de(t)}{dt} \quad (1)$$

$$PID = K_P * error + (K_I * integral * dt) + (K_D * \frac{derr}{dt}) \quad (2)$$

dimana:

K_P : Proportional Constant

K_I : Integral Constant

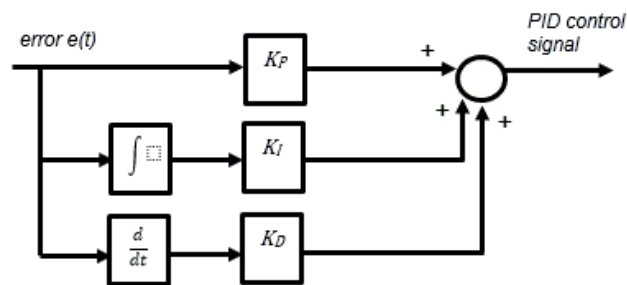
K_D : Derivative Constant

$error = desired\ point - actual\ point$

$integral = integral_{previous} + error$

$derr = error - error_{previous}$

dt : waktu eksekusi



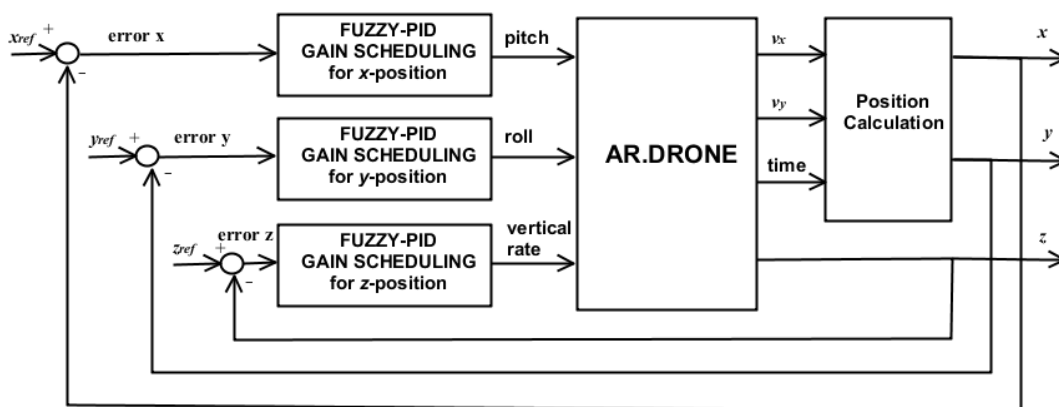
Gambar 5. Block diagram PID.

- Merealisasikan sistem kedalam program komputer dalam bentuk blok diagram dan front panel
- Dengan trial dan error, tuning PID dilakukan hingga mendapatkan hasil yang terbaik. Parameter yang dihasilkan ditunjukkan pada Tabel 1.

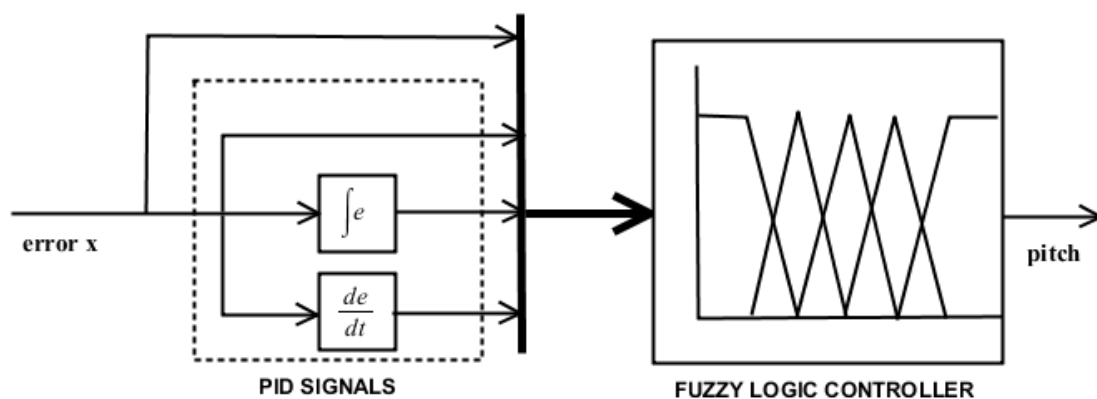
Tabel 1. Parameter PID

Parameter	Nilai		
	PID untuk pitch	PID untuk roll	PID untuk vertical rate
Kp	1.6	1.6	1
Ki	0.005	0.005	1
Kd	0.5	0.5	2

Setelah mendapatkan gambaran PID control selanjutnya Skema Fuzzy-PID gain scheduling dirumuskan dan ditunjukkan pada Gambar 6. Dalam skema ini, Pergerakan ke posisi x,y dan z drone dikontrol dengan 3 buah kontroler dengan masing masing sinyal kontrolnya yaitu pitch, roll dan vertical rate. Dalam skema ini, PID controller digunakan sebagai kontroler utama. Sedangkan Fuzzy controller digunakan sebagai scheduler dari gain parameter PID yang sesuai titik operasi dari drone, dalam hal ini dievaluasi dari error posisi. Masing masing blok Fuzzy-PID gain scheduling mempunyai skema kontrol yang sama. Gambar 7 menunjukkan skema fuzzy-pid gain scheduling untuk posisi x. Untuk posisi y dan z mempunyai skema yang identik. Blok ini tersusun dari PID Signals dan Fuzzy Controller.



Gambar 6. Block Diagram Sistem Terkontrol Fuzzy-PID Gain Scheduling



Gambar 7. Skema Fuzzy-PID Gain Scheduling

Untuk main control PID, digunakan persamaan umum PID controller seperti pada persamaan (1). Persamaan (1) tersebut diimplementasikan secara digital dengan program komputer seperti ditunjukkan pada code program berikut.

```
previous_error = 0
integral = 0
start:
    error = setpoint - measured_value
    integral = integral + error*dt
    derivative = (error - previous_error)/dt
    output = KP*error + KI*integral + KD*derivative
    previous_error = error
    wait(dt)
    goto start
```

Fuzzy controller berperan sebagai scheduler pada skema ini. Dalam fuzzy controller, error posisi digunakan sebagai fuzzy input yang akan difuzzyfikasi menjadi 5 buah membership function yaitu Negative Big (NB), Negative Small (NS), Zero (Z), Positive Small (PS) dan Positive Big (PB). Setiap membership function mewakili 1 titik operasi yang direpresentasikan dengan 1 set parameter PID, KP, KI, KD yang memberikan respon transient yang sesuai untuk titik operasi tersebut. Sehingga dalam penelitian ini digunakan 5 set gain PID untuk setiap kontroler. Tuning parameter PID dilakukan secara trial and error dengan menerbangkan AR.Drone menuju posisi x, y dan z secara bergantian dan menganalisa response transient yang dihasilkan. Prosedur tuning parameter PID untuk posisi x dapat ditulis sebagai berikut, prosedur yang sama dilakukan dalam penentuan parameter PID untuk y dan z:

1. PC di ground station telah disiapkan program dengan PID controlled system dan data akuisisi.
2. Setpoint posisi yang dipilih adalah ± 1 meter dan ± 0.5 meter sesuai dengan membership function dari fuzzy logic controller.
3. AR.Drone diterbangkan secara autonomous dengan P-Control dengan setpoint 1 meter dari koordinat (0,0,1) menuju (1,0,1) dengan nilai KP tertentu. Data terbang

dari drone disimpan dan dilihat response transiennya dalam hal ini rise time dan overshootnya. Lakukan sebanyak 5 kali. Lakukan langkah ini untuk beberapa nilai KP dan pilih nilai KP yang memberikan respon transient yang sesuai dengan yang diharapkan.

4. AR.Drone diterbangkan secara autonomous dengan PI-Control dengan nilai KP yang diperoleh dari langkah 3 dan KI tertentu dari koordinat (0,0,1) menuju (1,0,1). Data terbang dari drone disimpan dan dilihat response transiennya dalam hal ini rise time dan overshootnya. Lakukan sebanyak 5 kali. Lakukan langkah ini untuk beberapa nilai KI dan pilih nilai KI yang memberikan respon transient yang sesuai dengan yang diharapkan
5. AR.Drone diterbangkan secara autonomous dengan PID-Control dengan nilai KP dan KI yang diperoleh dari langkah 3,4 dan KD tertentu dari koordinat (0,0,1) menuju (1,0,1). Data terbang dari drone disimpan dan dilihat response transiennya dalam hal ini rise time dan overshootnya. Lakukan sebanyak 5 kali. Lakukan langkah ini untuk beberapa nilai KD dan pilih nilai KD yang memberikan respon transient yang sesuai dengan yang diharapkan
6. Lakukan langkah 3,4 dan 5 untuk setpoint posisi 0.5 meter
7. Untuk posisi -1 meter memakai hasil dari langkah 5, sedangkan untuk posisi -0.5 meter memakai hasil dari 6. Pemilihan ini telah dikonfirmasi dengan beberapa kali percobaan yang menghasilkan respon yang relatif sama.
8. Untuk posisi 0 meter ditentukan bahwa nilai KP, KI dan KD adalah 0.
9. Tabelkan nilai KP, KI dan KD untuk setiap posisi yang mewakili membership function.

Dari hasil tuning Parameter PID secara trial and error pada masing masing titik operasi, hasilnya dapat ditabelkan pada Table 2.

Tabel. 2. Parameter set Gain scheduling

Gain	MF	PID Gain			Pitch	Roll	Throttle
		KP	KI	KD			
I	PB	1.6	0.005	0.25	Mundur	Kiri	Turun
II	PS	0.5	0.001	1	Mundur	Kiri	Turun
III	Z	0	0	0	Diam	Diam	Diam
IV	NS	0.5	0.001	1	Maju	Kanan	Naik
V	NB	1.6	0.005	0.25	Maju	Kanan	Naik

Rule evaluation pada skema fuzzy-pid gain scheduling ini dapat ditulis sebagai berikut:

Rule n: If error(t) = NB **Then** $O(n) = (KP(n) \times \text{error}(t)) + (KI(n) \times \text{Integral}(t)) + KD(n) \times \text{Derivative}(t)$

Sedangkan proses defuzzyfikasi dihitung dengan persamaan berikut:

$$output = \frac{\sum_{n=1}^5 O(n)\mu(n)}{\sum_{n=1}^5 \mu(n)} \quad (3)$$

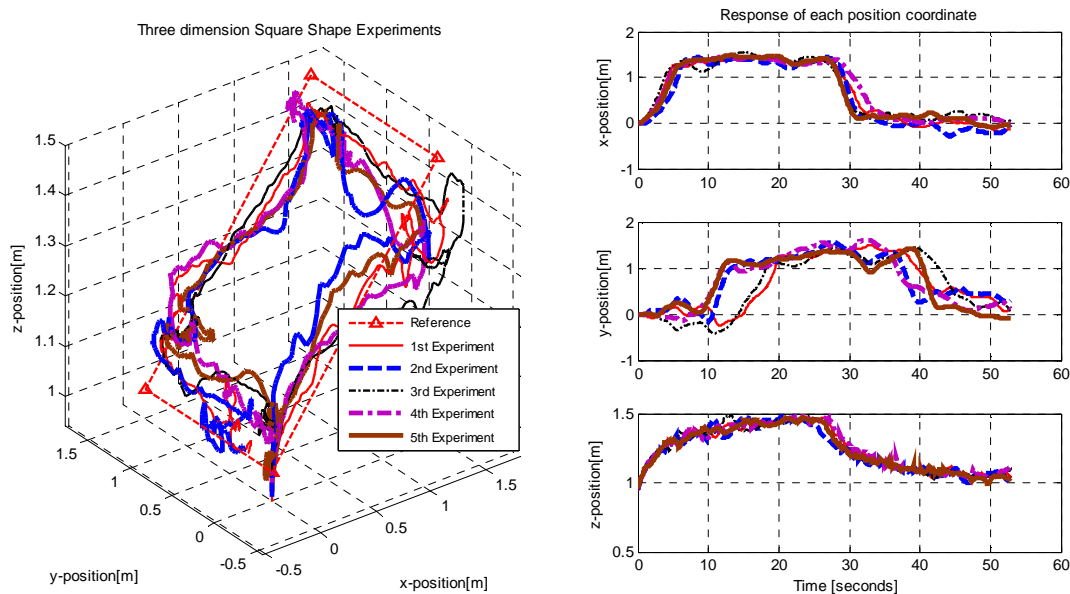
BAB V

HASIL YANG DICAPAI

Algoritma Fuzzy-PID gain scheduling yang telah dirancang diimplementasikan pada AR.Drone 2.0 Elite Edition dan diujicobakan di ruang tertutup. Ruang pengujian mempunyai ukuran 6 m x 6 m x 4 m dengan lantai dibuat bergaris garis karena drone menggunakan kamera bawah untuk mengestimasi posisi x dan y saat terbang. Sedangkan z posisi menggunakan sensor ultrasonic yang ada di onboard drone. Pada pengujian ini, AR.Drone akan diterbangkan ke beberapa posisi yang membentuk kotak pada koordinat x,y,z. Adapun prosedur pengujian dilakukan sebagai berikut:

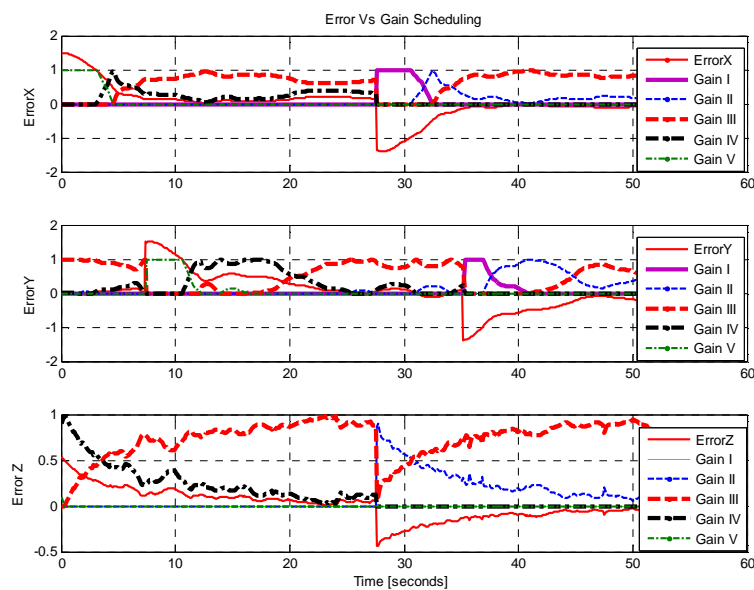
1. Masukkan referensi posisi yang akan dituju oleh drone pada front panel software yang telah dibuat. Dalam pengujian ini, referensi yang akan dituju adalah (1.5,0,1.5) kemudian terbang menuju (1.5,1.5,1.5), kemudian terbang menuju (0,1.5,1), kemudian kembali ke initial position (0,0,1)
2. AR.Drone diterbangkan secara manual untuk hover pada posisi (0,0,1).
3. Switch ON Auto maka AR.Drone akan terbang secara autonomous menuju referensi yang telah ditentukan. Perpindahan setpoint dilakukan jika posisi dari drone telah masuk dalam toleransi error yang ditentukan dalam program.
4. Pengujian dilakukan sebanyak 5 kali.

Hasil pengujian dapat ditunjukkan pada Gambar 8 dibawah. Gambar sebelah kiri adalah response sistem dalam 3 dimensi sedangkan gambar kanan adalah response posisi dari masing masing koordinat x,y dan z. Dari penggambaran 3D tampak bahwa AR.Drone dapat menuju ke setiap titik referensi yang diinginkan namun terlihat adanya error yang relatif besar pada posisi z. Dari 5 kali eksperimen ada 3 kali hasil yang memberikan respon transient yang relatif baik. Percobaan 1 dan 3 terlihat terlambat saat switching menuju ke titik (1.5,1.5,1.5). Secara umum setiap titik dapat dicapai dengan rise time 10 seconds yang dapat dilihat pada gambar kiri.



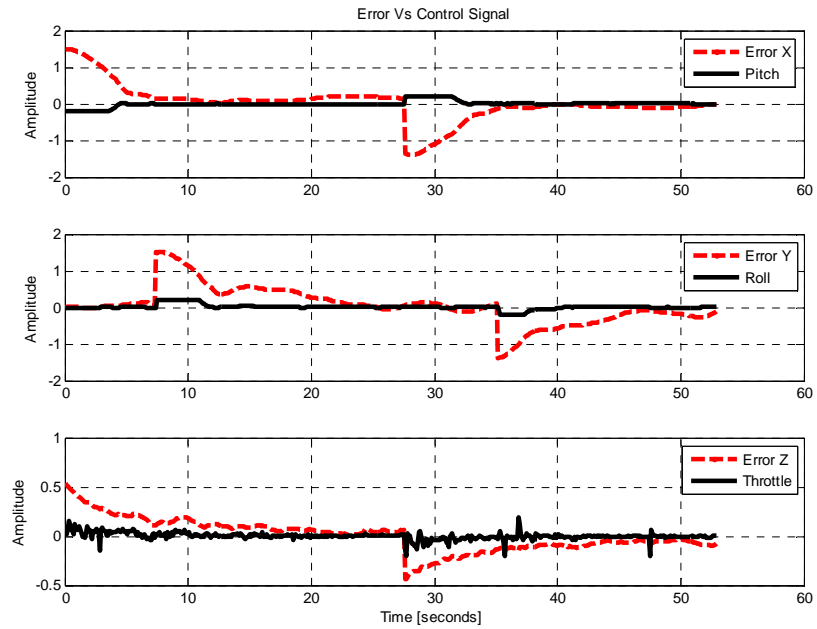
Gambar 8. Eksperimen terbang

Proses scheduling gain PID selama pengujian dapat ditunjukkan pada Gambar 9 dibawah, yang diambil dari salah satu eksperimen di atas. Terlihat saat memulai perjalanan dari initial position error X adalah 1.5 m sehingga PID control bekerja dengan Gain V, sedangkan error Y adalah nol sehingga PID control bekerja dengan Gain III sedangkan error Y 0.5 m maka PID control bekerja dengan Gain IV. Seiring dengan perjalan drone menuju titik referensi, gain yang bekerja adalah kontribusi dari 2 gain dari membership function yang sesuai.



Gambar 9. Proses Gain Scheduling

Sinyal kontrol pitch, roll dan throttle yang dihasilkan oleh Fuzzy-PID gan scheduling diatas ditunjukkan pada Gambar 10. Dalam sinyal kontrol ini aa pembatasan nilai sinyal control pada ± 0.15 untuk menghindari tabrakan dengan dinding dikarenakan ruang indoor yang cukup sempit.



Gambar 10. Sinyal kontrol pitch, roll and throttle

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Dalam penelitian yang dilakukan selama 1 tahun ini ada beberapa hal yang didapatkan antara lain:

- PID Controller dibandingkan Fuzzy controller dipresentasikan pada international conference EECSI Semarang.
- Skema Fuzzy Gain Scheduling sedang di Submit ke Jurnal International

6.2. Saran

Pada penelitian ini masih ada sedikit kendala pada internal controller bawaan AR.Drone yang selalu bergeser pada saat mode auto dengan input pitch, roll, yawrate dan vertical rate nol yang secara ideal harusnya dalam kondisi hover. Kondisi ini perlu perhatian lebih ketika akan implementasi algoritma kontrol otomatis pada AR.Drone

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Krajnik T, Vonasek V, Fiser D, Faigl J. *AR-Drone as a Platform for Robotic Research and Education*. Research and Education in Robotics :EUROBOT. Heidelberg, 2011; draft version.
- [2] Mary C, Totu L C, Koldbaek S K. *Modeling and Control of Autonomous Quad-Rotor*. Dept of Electronic Systems University of Aalborg Denmark. Project Report. 2010.
- [3] Jacco vand der Spek, Mario V. *AR.Drone Autonomous Control and Position Determination*. Bachelor Thesis. TU-Delft. 2012.
- [4] Pierre-Jean B, Francois C, David V, Nicolas P. *The Navigation and Control Technology Inside the AR Drone Micro UAV*. 18th IFAC World Congress, Milano Italy. 2011; reprint
- [5] <http://ardrone2.parrot.com> accessed on 11 August 2014
- [6] Stephane P, Nicolas B. *AR.Drone Developer Guide*. Parrot. SDK 1.6. 2011
- [7] Gerrard M. *Modeling and Control of the Parrot AR.Drone*. SEIT UNSW Canberra. Final Project Report. 2012.
- [8] Michael M. *The AR Drone LabVIEW Toolkit: A Software Framework for the Control of Low Cost Quadrotor Aerial Robots*. Master of Science Thesis. TUFTS University. 2012.
- [9] Sun Y. *Modeling, Identification and Control of a Quadrotor Drone Using Low-Resolution Sensing*. Master of Science Thesis. University of Illinois at Urbana-Champaign. 2012.
- [10] Guilherme V R, Manuel G O, Francisco R R. *Nonlinear H^∞ Controller for the Quad-Rotor Helicopter with Input Coupling*. 18th IFAC World Congress, Milano Italy. 2011; reprint.
- [11] Sarah Yifang Tang. *Vision-Based Control for Autonomous Quadrotor*. Final Report :Undergraduated Senior Thesis. Department of Mechanical and Aerospace Engineering. Princeton University . 2013.
- [12] Agung Prayitno, Veronica Indrawati, "Model AR.Drone Dengan Indoor dan Outdoor Hull", Proceeding Conference on Information Technology and Electrical Engineering (CITEE), Universitas Gajah Mada, Yogyakarta, 2014.

- [13] Agung Prayitno, Veronica Indrawati, Gabriel Utomo, "Trajectory Tracking of AR.Drone Quadrotor Using Fuzzy Logic Controller", Jurnal Telkomnika Vol 12 No.4 December 2014.
- [14] Veronica Indrawati, Agung Prayitno, Thomas Ardi K, "Waypoint Navigation of AR.Drone Quadrotor Using Fuzzy Logic Controller", Jurnal Telkomnika Vol 13 No.3 September 2015.
- [15] Veronica Indrawati, Agung Prayitno, Gabriel Utomo, "Comparison of Two Fuzzy Logic Controller Schemes for Position Control of AR.Drone", ICITEE Conference, Chiang Mai, 2015.

**LAPORAN AKHIR
PENELITIAN KOMPETITIF
PENELITIAN DASAR**



UBAYA
UNIVERSITAS SURABAYA

**PERANCANGAN DAN ANALISA PERFORMANSI
FUZZY PID GAIN SCHEDULING
UNTUK WAYPOINT NAVIGATION AR.DRONE QUADROTOR**

Ketua : Agung Prayitno, S.T., M.Eng (204037/0725107901)
Anggota : Ir. Veronica Indrawati, M.T. (194029/0708046601)

**Universitas Surabaya
April 2017**

HALAMAN PENGESAHAN

Judul Penelitian : Perancangan dan Analisa Performansi Fuzzy PID
Gain Scheduling Untuk Waypoint Navigation
AR.Drone Quadrotor

Nama Rumpun Ilmu : Teknik Elektro

Ketua Peneliti :

a. Nama Lengkap : Agung Prayitno, S.T., M.Eng.
b. NIDN : 204037 / 0725107901
c. Jabatan Fungsional : Lektor-200
d. Fakultas /Program Studi : Fakultas Teknik / Teknik Elektro
e. Nomor HP : 087854417676
f. Alamat Surat (email) : prayitno_agung@staff.ubaya.ac.id

Anggota Peneliti :

a. Nama Lengkap : Ir. Veronica Indrawati, M.T.
b. NIDN : 194029 / 0708046601
c. Fakultas /Program Studi : Fakultas Teknik / Teknik Elektro

Lama Penelitian Keseluruhan : 1 tahun
Penelitian Tahun ke : 1 dari 1 tahun
Biaya Penelitian Keseluruhan : Rp. 15.000.000,-

Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik,



(Dr. Dra. Amelia Santoso, M.T.)
NPK: 193015

Surabaya, 30 April 2017
Ketua Peneliti,

(Agung Prayitno, S.T., M.Eng.)
NPK: 204037

RINGKASAN

Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh rancangan algoritma *waypoint navigation* AR.Drone dengan menggunakan *fuzzy PID gain scheduling*. *Waypoint navigation* adalah perintah terbang dari posisi terbang saat ini untuk menuju ke koordinat yang diinginkan dari front panel software. Penelitian ini dilakukan di ruang tertutup di Laboratorium Teknik Elektro Universitas Surabaya. Hasil penelitian menghasilkan skema kontrol dengan menggunakan 3 PID kontroler sebagai kontrol utama AR.Drone, yaitu untuk mengontrol pitch, roll dan throttle. Sedangkan proses parameter PID controller di-scheduling secara otomatis dengan menggunakan fuzzy logic. Pada penelitian ini digunakan lima set parameter PID yang akan dievaluasi oleh fuzzy logic untuk tuning parameter PID. Sebagai input dari skema kontrol adalah posisi error sedangkan sebagai outputnya adalah pitch, roll dan throttle. Skema kontrol diimplementasikan pada AR.Drone dan diuji terbang ke beberapa titik berbentuk kotak dalam koordinat ruang. Hasil ujicoba menunjukkan bahwa sistem kontrol dapat mengikuti titik yang diinginkan dan proses scheduling parameter dapat ditunjukkan.

Kata Kunci: *AR.Drone, Fuzzy gain scheduling, PID Control, Position Control*

PRAKATA

Laporan Akhir ini merupakan laporan kepada LPPM Universitas Surabaya sebagai bentuk tanggung jawab sebagai penerima Penelitian Kompetitif Penelitian Dasar 2016-2017. Laporan ini juga merupakan bentuk sharing hasil penelitian kami kepada masyarakat umum. Dengan selesainya penelitian ini, saya sebagai ketua tim penelitian mengucapkan terima kasih kepada semua anggota dan tim mahasiswa yang terlibat dalam penelitian ini. Kerja keras dan usaha bersama memperlihatkan hasil yang signifikan dalam penelitian ini. Atas capaian ini saya ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa yang selalu mencurahkan rahmat kepada semua makhluknya.
2. Dr. Drs A.J. Tjahjo Anggoro, M.Si. sebagai ketua LPPM Universitas Surabaya yang telah memfasilitasi penelitian ini
3. Dr. Dra. Amelia Santoso, M.T. sebagai Dekan Fakultas Teknik yang telah memfasilitasi penelitian ini.
4. Seluruh anggota tim penelitian baik dosen dan mahasiswa yang terlibat : Ibu Veronica, Ivan yang telah bekerja keras dan kompak untuk mengerjakan penelitian ini.
5. Rekan rekan sejawat dosen di Jurusan Teknik Elektro Universitas Surabaya.
6. Keluarga tim peneliti yang selalu memberi semangat dan motivasi.

Semoga laporan akhir ini memberikan kontribusi keilmuan kepada masyarakat umum dan sekaligus sebagai bentuk tanggung jawab peneliti dalam menerima hibah ini dari LPPM Universitas Surabaya. Semoga dengan selesainya penelitian ini memberikan tambahan semangat baru bagi tim peneliti untuk melakukan penelitian lagi ke depan sehingga diharapkan akan banyak menghasilkan luaran dan kontribusi keilmuan yang berarti.

DAFTAR ISI

Halaman Sampul.....	i
Halaman Pengesahan	ii
Ringkasan	iii
Prakata	iv
Daftar Isi	v
Daftar Tabel	vii
Daftar Gambar	viii
Bab I Pendahuluan	1
1.1. Latar Belakang Penelitian	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Sistematika Penulisan Laporan	3
Bab II Tinjauan Pustaka	4
2.1. Pendahuluan	4
2.2. AR.Drone	5
3.3. Riset – Riset di Luar Negeri Yang Menggunakan Drone	8
Bab III Tujuan dan Manfaat Penelitian	9
3.1. Tujuan Penelitian	9
3.2. Manfaat Penelitian.....	9
Bab IV Metode Penelitian	10
Bab V Hasil Yang Dicapai	16
Bab VI Kesimpulan dan Saran	19
6.1. Kesimpulan	19
6.2. Saran	19
Daftar Pustaka	20

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Parameter PID	11
Tabel 2. Parameter Set Fuzzy Scheduling	14

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. AR.Drone 2.0 Elite Edition.....	5
Gambar 2. Konfigurasi Input-Output AR.Drone.....	7
Gambar 3. Degree of Freedom AR.Drone.....	8
Gambar 4. Block diagram Sistem Kontrol PID	10
Gambar 5. <i>Block Diagram PID</i>	11
Gambar 6. Block Diagram Sistem Terkontrol Fuzzy-PID Gain Scheduling	12
Gambar 7. Skema Fuzzy-PID Gain Scheduling	13
Gambar 8. Eksperimen terbang	17
Gambar 9. Proses Gain Scheduling	17
Gambar 10. Sinyal kontrol pitch, roll and throttle.....	18

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Penelitian

Saat ini quadrotor tidak lagi hanya digunakan sebagai hobby saja, namun telah banyak pekerjaan pekerjaan yang menggunakan quadrotor sebagai alat bantu. Sebut saja dalam pekerjaan liputan berita pantauan lalu lintas saat hari raya, liputan berita di daerah bencana, liputan berita suatu even pameran dll. Bahkan quadrotor juga sudah banyak diaplikasikan dalam jasa jasa videografi dan fotografi. Biasanya quadrotor tersebut dioperasikan oleh operator dengan menggunakan remote controller. Di dunia pendidikan, quadrotor sudah menjadi salah platform riset yang sangat menarik. Berbagai rancangan kontrol untuk berbagai tugas terbang quadrotor secara autonomous telah banyak dikembangkan baik secara simulasi maupun implementasi secara real time.

Salah satu hambatan yang biasa dihadapi oleh peneliti pada saat fokus pada pengembangan algoritma terbang adalah hardware quadrotor yang kurang bagus. Algoritma terbang yang diimplementasikan sering terbentur oleh ketidaksempurnaan rancangan hardware yang dibuat sehingga mengakibatkan seringnya kegagalan implemtasi algoritma yang dibuat. Hal inilah yang sering mengakibatkan desain hardware merupakan tahapan yang memakan waktu yang lama. Untuk menghindari problem ini, saat ini telah banyak hardware quadrotor yang telah tersedia dengan baik dan siap terbang di pasaran dengan berbagai harga. Diantaranya adalah DraganFly, DIY Drone Arducopter, Ascending Technologies Hummingbird dan Parrot AR.Drone.[1].

Diantara keempat quadrotor tersebut, Parrot AR.Drone adalah salah satu quadrotor yang mempunyai harga yang relatif murah namun mempunyai spesifikasi untuk riset yang cukup lengkap. AR.Drone mempunyai on-board electronics yang di dalamnya sudah terdapat motherboard lengkap dengan processor dan Wi-Fi chip, sensor accelerometer, sensor gyroscope, sensor ultrasonic, mikrokontroler dan dua buah kamera. Platform ini juga telah disertakan real time operating system yang memungkinkan berbagai tugas dapat dilakukan secara bersamaan seperti berkomunikasi dengan ground station melalui Wi-Fi, sensor acquisition, video data sampling, image processing, state estimation, dan closed-loop control.

Berbagai algoritma tugas terbang secara autonomous telah banyak dikembangkan dengan menggunakan AR.Drone sebagai platform. Diantaranya adalah terbang mengikuti object dibawahnya (tracking an object), terbang mengikuti garis (path

following), trajectory tracking dan waypoint navigation. Sejak tahun 2013, pengusul (Agung Prayitno dan Veronica Indrawati) sudah fokus pada penelitian di bidang AR.Drone. Agung Prayitno [9] mendapatkan model dinamik AR.Drone 1.0 dengan pendekatan sistem fisik. Veronica Indrawati [10] dalam penelitiannya fokus pada pengembangan algoritma speech recognition yang akan digunakan sebagai pengganti dari remote control. Tahun 2014 dan 2015 pengusul dan anggota mendapatkan hibah penelitian DIKTI melalui skema Hibah Bersaing. Dalam penelitian ini, model dinamik AR.Drone 2.0 berhasil diperoleh dengan pendekatan data modeling [11] dan skema kontrol Fuzzy Logic Controller telah berhasil diaplikasikan untuk trajectory tracking [6]. Di penelitian tahun ke II, 2015, skema kontrol H-infinity control sedang dirancang dan diimplementasikan untuk menyelesaikan trajectory tracking AR.Drone.

Pada penelitian ini dirancang algoritma kontrol untuk waypoint navigation control yaitu Fuzzy PID Gain Scheduling. Waypoint navigation adalah perintah terbang untuk pulang ke koordinat yang diinginkan dengan beberapa skema terbang. Dari hasil tinjauan pustaka belum diketemukan adanya penelitian dengan topik ini pada AR.Drone, sehingga penelitian ini merupakan tantangan tersendiri.

Secara garis besar, penelitian ini meliputi bagaimana merumuskan skema kontrol fuzzy gain scheduling dan implementasi fuzzy PID gain scheduling untuk menyelesaikan tugas waypoint navigation. Respon transien dan respon steady state dari sistem terkontrol akan digunakan untuk mengetahui performansi dari kontroler. Pada akhir penelitian akan dirangkum beberapa hasil analisa performansidan saran saran dari skema kontrol tersebut sehingga hasil dan saran tersebut diharapkan dapat menambah kontribusi pengembangan algoritma waypoint navigation AR.Drone.

1.2. Perumusan Masalah

Berdasar latar belakang di atas, permasalahan pada penelitian ini dapat dirumuskan sbb:

- a. Bagaimana memformulasikan skema *fuzzy PID gain scheduling*?
- b. Bagaimana merancang *fuzzy PID gain scheduling* untuk *waypoint navigation* AR Drone Quadrotor?.
- c. Bagaimana merealisasikan algoritma *fuzzy PID gain scheduling* yang telah dirancang pada platform AR Drone Quadrotor?.
- d. Bagaimana menghitung response transient dan respon steady state untuk mengetahui performansi dari kontroler.

1.3. Sistematika Penulisan Laporan

Laporan Akhir penelitian ini ditulis dengan sistematika sebagai berikut:

Bab 1 : Pendahuluan menjelaskan tentang latar belakang penelitian, perumusan masalah dan sistematika penulisan laporan.

Bab 2 :Tinjauan Pustaka menjelaskan tentang ringkasan dari study literatur yang berkaitan dengan penelitian.

Bab 3 : Tujuan dan Manfaat Penelitian menjelaskan tentang tujuan dan manfaat dari penelitian

Bab 4 : Metodologi Penelitian menjelaskan tahapan tahapan penelitian dan detail pekerjaan yang dilakukan dari awal penelitian sampai akhir penelitian ini.

Bab 5 : Hasil Yang Dicapai menjelaskan hasil hasil yang telah dicapai.

Bab 6 : Kesimpulan dan Saran berisi kesimpulan dan saran dari laporan penelitian ini.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pendahuluan

Helikopter dengan 4 buah baling baling tetap yang tersusun secara diagonal atau yang umum dikenal dengan quadrotor, menjadi bidang riset yang sangat berkembang pada beberapa tahun ini. Platform ini dipilih karena mempunyai konstruksi mekanik yang sederhana tetapi mempunyai kemampuan terbang stationer, terbang vertikal, terbang dengan kecepatan rendah dan dapat juga bermanuver secara cepat. Namun demikian pesawat ini juga mempunyai beberapa kelemahan antara lain keterbatasan supply energi dan beban yang dapat diangkut. Tantangan lain pada pesawat ini adalah susah untuk dikontrol dikarenakan sistemnya yang non linear [1]. Namun demikian banyak aplikasi yang telah dihasilkan dengan pemanfaatan quadrotor ini yang antara lain dapat digunakan untuk *monitoring* dan analisis lalu lintas, *aerial photography and video*, *aerial surveillance and intelligence for law enforcement*, *property assessment* dan *real estate promotion* dll [2]. Namun demikian kebanyakan masih diterbangkan secara manual oleh operator di *ground station*.

Agar quadrotor dapat terbang secara *autonomous*, tentunya perlu dirancang suatu *autonomous flight tasks control* yang memungkinkan quadrotor dapat terbang dengan berbagai manuver untuk misi atau tugas tertentu. *Autonomous flight tasks* meliputi *vertical take-off and landing*, *hover flight*, *tracking an object or path*, dan *trajectory tracking*. Desain dan pengembangan algoritma kontrol untuk trajectory tracking merupakan salah satu topik yang menarik untuk diriset. Agar pengembangan algoritma tidak terhalang waktu, diperlukan sebuah platform quadrotor yang secara hardware sudah bagus dan siap sehingga algoritma kontrol yang didesain dapat dicoba pada platform tersebut. Salah satu platform yang dapat digunakan untuk penelitian ini adalah AR Drone.

Menurut [3] ada beberapa *layer* untuk mengimplementasikan *autonomous UAV*. *Layer* pertama adalah *kernel control* yang bertanggung jawab pada *asymtotic stability*. *Layer* kedua adalah *command generator* yang berperan membangkitkan perintah terbang kepada *kernel control*. *Layer* ketiga adalah *flight scheduling* yang berfungsi untuk menentukan *flight plan*, *flight tasks* dan *references*. AR.Drone telah mempunyai *layer* pertama yang menerima perintah terbang melalui *Wi-Fi*. *Angle stabilization* dan *vertical speed* dikontrol dengan software pada *inner board* bawaan AR.Drone. Sedangkan AR.Drone belum mempunyai *layer* kedua dan ketiga, ini memungkinkan para peneliti untuk mengeksplor berbagai algoritma kontrol untuk *flight tasks* AR.Drone.

2.2. AR.Drone

AR.Drone adalah salah satu platform quadrotor yang secara harga relatif murah namun *on-board electronics* di dalamnya sudah terdapat *motherboard* lengkap dengan *processor* dan *Wi-Fi chip*, sensor *accelerometer*, *gyroscope*, *ultrasonic*, mikrokontroler dan dua buah kamera. Dalam *AR.Drone* ini juga telah disertakan *real time operating system* yang memungkinkan berbagai tugas dapat dilakukan secara bersamaan seperti berkomunikasi dengan *ground station* melalui *Wi-Fi*, *sensor acquisition*, *video data sampling*, *image processing*, *state estimation*, dan *closed-loop control*[4]. Dengan alasan tersebut dan fitur-fitur yang dimilikinya maka *AR.Drone* tersebut digunakan sebagai salah satu platform riset di Jurusan Teknik Elektro Universitas Surabaya. *AR.Drone* yang dipakai adalah *AR.Drone 2.0 Elite Edition* dengan firmware versi 2.4.8 seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. *AR.Drone 2.0 Elite Edition*

AR Drone 2.0 Elite Edition memiliki spesifikasi sebagai berikut: [5]

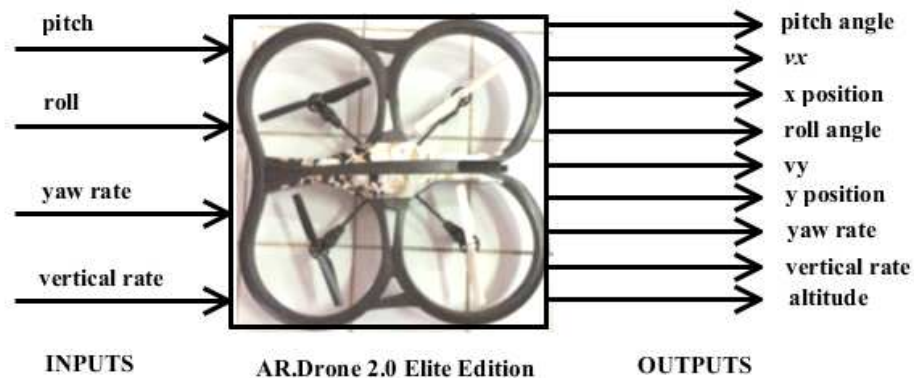
- Dimensi dari *AR Drone 2.0* adalah 517 x 517 mm saat menggunakan pelindung (*indoor hull*) dan 451 x 451 mm saat tanpa pelindung (*outdoor hull*).
- Mempunyai 4 buah *brushless inrunner motors* dengan kecepatan 28.500 dan 14,5 watt saat hover.
- 16 Hz 32 bit ARM Cortex A8 *processor* dengan 800 MHz *video DSP* TMS320DMC64x
- Memori *AR Drone* menggunakan 16bit DDR2 RAM 200 MHz

- Kamera AR Drone 2.0 menggunakan teknologi *HD Camera* dengan resolusi 720p dengan lebar sudut lensa 92 derajat dan kecepatan kamera 30 fps. Dapat merekam secara langsung saat terbang via *Wi-Fi* dengan menggunakan *software AR Freeflight* dan dapat dilihat pada *device* yang sedang digunakan saat itu juga.
- Terdapat OS Linux 2.6.32, *Wi-Fi* b/g/n, USB 2.0, 3 sumbu *gyroscope* dengan presisi 2000 derajat/detik, 3 sumbu *accelerometer* dengan presisi ± 50 mg, 3 sumbu *magnetometer* dengan presisi 6 derajat, sensor tekanan dengan presisi ± 10 Pa, sensor *ultrasound* untuk pengukuran ketinggian, dan kamera bawah berkualitas QVGA dengan kecepatan 60 fps untuk pengukuran kecepatan *ground*. Dengan *onboard internal controller* memungkinkan pengguna untuk mengendalikan terbang AR.Drone dengan mudah. Karena AR.Drone sebenarnya dirancang sebagai reality game, maka aplikasi untuk mengendalikan AR.Drone ini dapat di download di Google Play Store bagi pengguna Android ataupun di App Store bagi pengguna Apple. Beberapa aplikasi yang dapat digunakan untuk mengontrol AR.Drone ini adalah AR.FreeFlight 2.0 dan AR.Race2. Namun demikian, Parrot, sebagai pembuat AR.Drone juga menyertakan Software Development Kit (SDK) [6] yang memungkinkan pengguna untuk mengakses AR.Drone dengan Wi-fi sehingga dapat melakukan kontrol, merancang algoritma kontrol sendiri dan melakukan data acquisition dengan berbagai macam software.

Pada *internal controller* yang sudah disertakan pada AR.Drone pengguna juga dapat melakukan beberapa kontrol dasar yang meliputi *take-off*, *landing*, *hover* dan *emergency stop*. Setiap perintah kontrol tersebut sudah tersedia *closed-loop control* pada *onboard internal controller*-nya. Sebagai contoh perintah *take-off*, *internal controller* akan melakukan aksi dengan urutan sebagai berikut: [7]

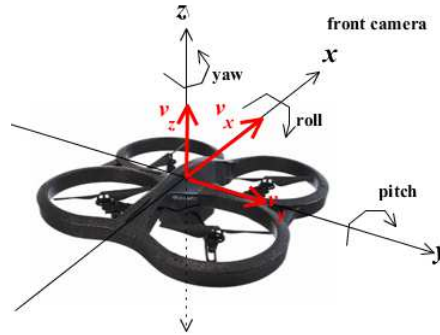
- Jalankan semua motor
- Naikkan *thrust* dari semua motor secara berimbang untuk menaikkan ketinggian AR.Drone hingga stabil di sekitar 1 meter.
- Lakukan koreksi kecepatan rotor untuk mempertahankan *zero attitude* (*roll*, *pitch*) dan *zero yaw*.
- Monitoring kamera bawah untuk mempertahankan posisi *drone* agar tetap di atas titik *take-off* nya tadi.

Selain kontrol dasar tersebut, pengguna dapat mengontrol gerak AR.Drone dengan 4 buah input yang meliputi: *pitch*, *roll*, *yaw rate* dan *vertical rate* dengan range input -1 s.d 1 yang merepresentasikan nilai minimum dan maximum dari sudut atau kecepatan. Jika keempat input ini tidak ada maka secara otomatis drone akan bekerja seperti halnya pada kondisi *hover*. Output AR.Drone yang dapat direkam data navigasinya antara lain : *actual roll angle*, *forward speed v_x* , *x-position estimation*, *actual roll angle*, *sideward speed v_y* , *y-position estimation*, *yaw rate*, *yaw estimation*, *vertical rate*, *altitude*, *video from bottom camera* dan *front camera*.



Gambar 2. Konfigurasi Input-Output AR.Drone

AR.Drone mempunyai *6 degree of freedom (DOF)* yaitu tiga buah komponen *translational* berupa posisi x, y, z dan tiga buah komponen *rotational* berupa sudut *pitch*, *roll*, *yaw*. Untuk memperjelas pemahaman, perhatikan Gambar 3 di bawah. Pusat koordinat adalah titik tengah dari AR.Drone dengan sumbu x searah dengan kamera depan. Kecepatan *translational* dari AR.Drone dinyatakan dengan *forward speed v_x* , *sideward speed v_y* dan *vertical speed v_z* . *Pitch* adalah sudut akibat pergerakan rotasi AR.Drone terhadap sumbu y , *roll* adalah sudut akibat rotasi terhadap sumbu x sedangkan *yaw* adalah sudut akibat rotasi terhadap sumbu z . Variabel variabel tersebut merupakan output dari AR.Drone yang disebabkan oleh kombinasi dari 4 buah sinyal kontrol berupa *roll*, *pitch*, *yaw rate* ataupun *vertical rate*.



Gambar 3. Degree of Freedom AR.Drone

2.3. Riset – Riset di Luar Negeri Yang Menggunakan AR.Drone

Banyak riset yang telah dilakukan dengan menggunakan berbagai macam quadrotor dan AR.Drone sebagai platform risetnya. Michael Mogenson [8] membuat AR.Drone LabVIEW toolkit yang memudahkan bagi para mahasiswa, pengajar ataupun peneliti untuk mempelajari AR.Drone 1.0. Dengan toolkit ini memungkinkan pengguna untuk mengontrol, membaca data navigasi dan membaca data gambar/video dari kedua kamera *onboard* yang terpasang pada AR.Drone. Krajnijk dkk [1] menjelaskan bahwa AR.Drone dapat digunakan sebagai platform riset dan pendidikan. Dalam papernya dijelaskan tentang *hardware* dan *software* pada AR.Drone, bagaimana mendapatkan dinamik model dari sistem drone dengan data modeling dan menunjukkan beberapa algoritma dasar untuk *position stabilization*, *object following* dan *autonomous navigation*. Sun Yue [9] melakukan pemodelan dan identifikasi parameter model dengan berbagai eksperimen. Berdasarkan model dinamik yang diperoleh *local* dan *global controller* serta *filter* didesain. *Local controller* digunakan untuk mengontrol *throttle*, *roll*, *pitch* dan *yaw* sedangkan *global controller* digunakan untuk *position control* yang menggunakan Kinect sebagai sensor. Filter digunakan untuk mereduksi *noise* dari sensor. Pierre-Jean Bristeau et.al [4] menjelaskan dengan detail teknologi navigasi dan kontrol yang digunakan oleh AR.Drone yang meliputi deskripsi hardware, algoritma vision, kalibrasi sensor, estimasi altitude, estimasi velocity dan arsitektur kontrol. Nick et.al [6] membuat simulasi AR.Drone include dengan model sensor dan model motionnya. Mereka juga membuat visual map dan indoor environment. Dengan menggunakan visual map tersebut AR.Drone akan dapat localize itself. Yifang [9] mendapatkan model dinamik dari AR.Drone yang terdiri dari internal controller model dan physical dynamic dari drone. Beberapa algoritma kontrol diaplikasikan ke drone seperti waypoint navigation dan trajectory-following dengan PID Controller dan juga vision based controller untuk berbagai variasi terbang.

BAB III

TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

3.1. Tujuan Penelitian

Secara khusus, penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan algoritma fuzzy gain scheduling untuk aplikasi *waypoint navigation* pada AR.Drone. Dengan automatic gain scheduling ini diharapkan drone dapat terbang optimal pada beberapa titik operasi penggunaannya.

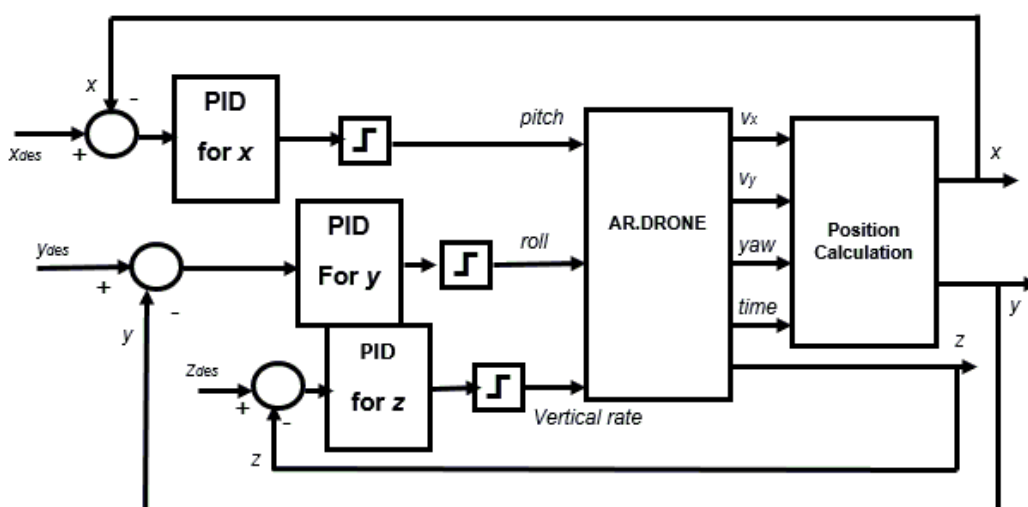
3.2. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah bahwa skema kontrol tersebut, *fuzzy PID gain scheduling*, belum digunakan peneliti lain untuk aplikasi *waypoint navigation* AR.Drone, dari hasil tinjauan pustaka. Sehingga hasil penelitian ini akan memberikan kontribusi yang berarti bagi pengembangan algoritma *waypoint navigation* AR.Drone.

BAB IV

METODE PENELITIAN

Penelitian dimulai dengan merancang kontrol PID untuk masing masing pitch, roll dan vertical rate (throttle) yang bertanggung jawab secara berurutan untuk posisi x, y dan z dari drone. Skema PID control yang dipakai ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Block diagram Sistem Kontrol PID.

Prosedur perancangan skema PID control yang sesuai dilakukan sebagai berikut:

- Memahami sistem dinamik dari AR.Drone. Hal ini dilakukan dengan uji step response untuk sistem pitch, roll dan vertical rate dari drone dengan memberikan nilai yang berkisar dari -1 s.d 1. Data navigasi seperti actual pitch, forward speed, x, , actual roll, sideward speed, y, vertical rate, and z direkam dan dianalisa.
- Dari data yang diperoleh, dengan memperhatikan batasan ruang indoor ternyata diperlukan pembatasan sinyal kontrol. Pitch pada range -0.115 s.d 0.115, roll pada range -0.125 s.d 0.125
- Merumuskan setiap sub sistem PID, Gambar 5, kedalam program komputer. Untuk kemudahan programming dan implementasi, persamaan PID dikoversi sebagai berikut.

$$PID = K_P e(t) + K_I \int e(t) + K_D \frac{de(t)}{dt} \quad (1)$$

$$PID = K_P * error + (K_I * integral * dt) + (K_D * \frac{derr}{dt}) \quad (2)$$

dimana:

K_P : Proportional Constant

K_I : Integral Constant

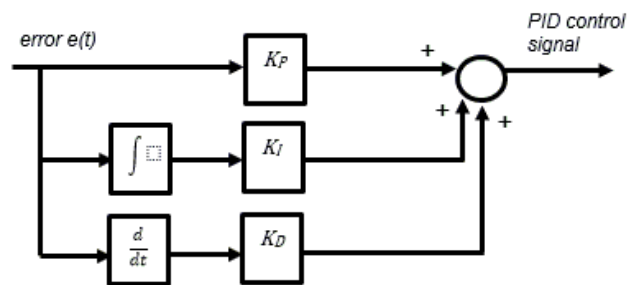
K_D : Derivative Constant

$error = desired\ point - actual\ point$

$integral = integral_{previous} + error$

$derr = error - error_{previous}$

dt : waktu eksekusi



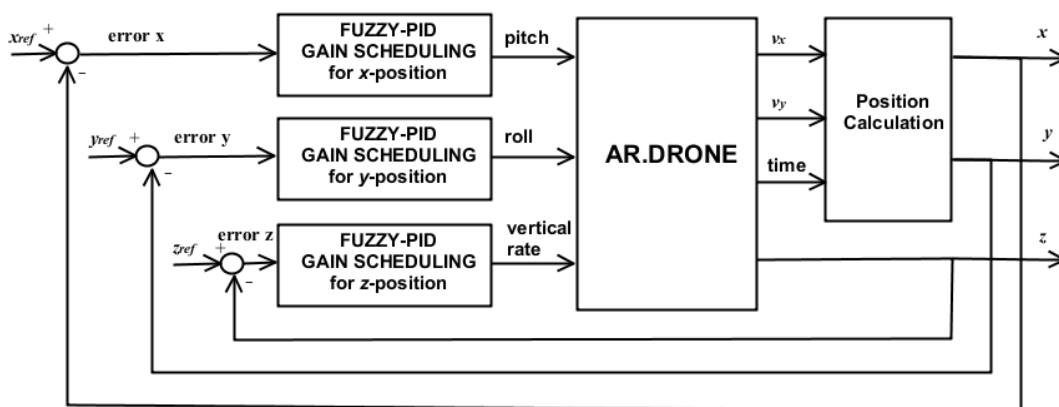
Gambar 5. Block diagram PID.

- Merealisasikan sistem kedalam program komputer dalam bentuk blok diagram dan front panel
- Dengan trial dan error, tuning PID dilakukan hingga mendapatkan hasil yang terbaik. Parameter yang dihasilkan ditunjukkan pada Tabel 1.

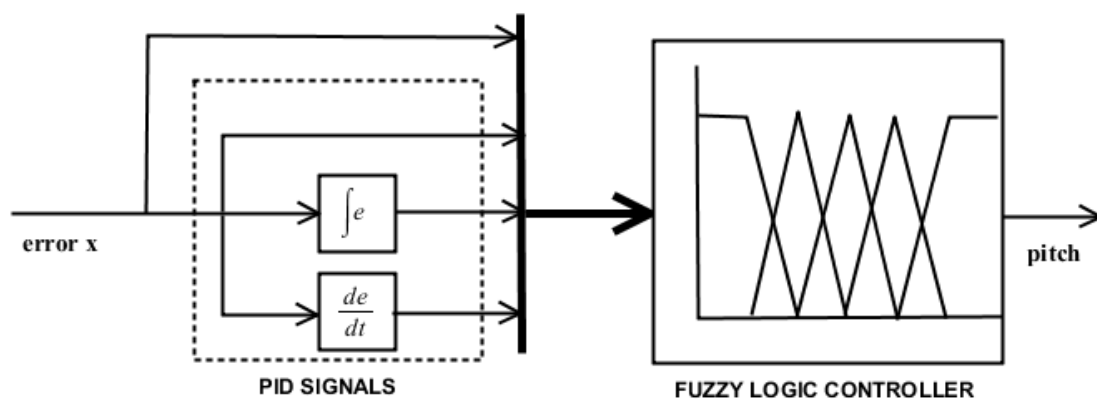
Tabel 1. Parameter PID

Parameter	Nilai		
	PID untuk pitch	PID untuk roll	PID untuk vertical rate
Kp	1.6	1.6	1
Ki	0.005	0.005	1
Kd	0.5	0.5	2

Setelah mendapatkan gambaran PID control selanjutnya Skema Fuzzy-PID gain scheduling dirumuskan dan ditunjukkan pada Gambar 6. Dalam skema ini, Pergerakan ke posisi x,y dan z drone dikontrol dengan 3 buah kontroler dengan masing masing sinyal kontrolnya yaitu pitch, roll dan vertical rate. Dalam skema ini, PID controller digunakan sebagai kontroler utama. Sedangkan Fuzzy controller digunakan sebagai scheduler dari gain parameter PID yang sesuai titik operasi dari drone, dalam hal ini dievaluasi dari error posisi. Masing masing blok Fuzzy-PID gain scheduling mempunyai skema kontrol yang sama. Gambar 7 menunjukkan skema fuzzy-pid gain scheduling untuk posisi x. Untuk posisi y dan z mempunyai skema yang identik. Blok ini tersusun dari PID Signals dan Fuzzy Controller.



Gambar 6. Block Diagram Sistem Terkontrol Fuzzy-PID Gain Scheduling



Gambar 7. Skema Fuzzy-PID Gain Scheduling

Untuk main control PID, digunakan persamaan umum PID controller seperti pada persamaan (1). Persamaan (1) tersebut diimplementasikan secara digital dengan program komputer seperti ditunjukkan pada code program berikut.

```
previous_error = 0
integral = 0
start:
    error = setpoint - measured_value
    integral = integral + error*dt
    derivative = (error - previous_error)/dt
    output = KP*error + KI*integral + KD*derivative
    previous_error = error
    wait(dt)
    goto start
```

Fuzzy controller berperan sebagai scheduler pada skema ini. Dalam fuzzy controller, error posisi digunakan sebagai fuzzy input yang akan difuzzyfikasi menjadi 5 buah membership function yaitu Negative Big (NB), Negative Small (NS), Zero (Z), Positive Small (PS) dan Positive Big (PB). Setiap membership function mewakili 1 titik operasi yang direpresentasikan dengan 1 set parameter PID, KP, KI, KD yang memberikan respon transient yang sesuai untuk titik operasi tersebut. Sehingga dalam penelitian ini digunakan 5 set gain PID untuk setiap kontroler. Tuning parameter PID dilakukan secara trial and error dengan menerbangkan AR.Drone menuju posisi x, y dan z secara bergantian dan menganalisa response transient yang dihasilkan. Prosedur tuning parameter PID untuk posisi x dapat ditulis sebagai berikut, prosedur yang sama dilakukan dalam penentuan parameter PID untuk y dan z:

1. PC di ground station telah disiapkan program dengan PID controlled system dan data akuisisi.
2. Setpoint posisi yang dipilih adalah ± 1 meter dan ± 0.5 meter sesuai dengan membership function dari fuzzy logic controller.
3. AR.Drone diterbangkan secara autonomous dengan P-Control dengan setpoint 1 meter dari koordinat (0,0,1) menuju (1,0,1) dengan nilai KP tertentu. Data terbang

dari drone disimpan dan dilihat response transiennya dalam hal ini rise time dan overshootnya. Lakukan sebanyak 5 kali. Lakukan langkah ini untuk beberapa nilai KP dan pilih nilai KP yang memberikan respon transient yang sesuai dengan yang diharapkan.

4. AR.Drone diterbangkan secara autonomous dengan PI-Control dengan nilai KP yang diperoleh dari langkah 3 dan KI tertentu dari koordinat (0,0,1) menuju (1,0,1). Data terbang dari drone disimpan dan dilihat response transiennya dalam hal ini rise time dan overshootnya. Lakukan sebanyak 5 kali. Lakukan langkah ini untuk beberapa nilai KI dan pilih nilai KI yang memberikan respon transient yang sesuai dengan yang diharapkan
5. AR.Drone diterbangkan secara autonomous dengan PID-Control dengan nilai KP dan KI yang diperoleh dari langkah 3,4 dan KD tertentu dari koordinat (0,0,1) menuju (1,0,1). Data terbang dari drone disimpan dan dilihat response transiennya dalam hal ini rise time dan overshootnya. Lakukan sebanyak 5 kali. Lakukan langkah ini untuk beberapa nilai KD dan pilih nilai KD yang memberikan respon transient yang sesuai dengan yang diharapkan
6. Lakukan langkah 3,4 dan 5 untuk setpoint posisi 0.5 meter
7. Untuk posisi -1 meter memakai hasil dari langkah 5, sedangkan untuk posisi -0.5 meter memakai hasil dari 6. Pemilihan ini telah dikonfirmasi dengan beberapa kali percobaan yang menghasilkan respon yang relatif sama.
8. Untuk posisi 0 meter ditentukan bahwa nilai KP, KI dan KD adalah 0.
9. Tabelkan nilai KP, KI dan KD untuk setiap posisi yang mewakili membership function.

Dari hasil tuning Parameter PID secara trial and error pada masing masing titik operasi, hasilnya dapat ditabelkan pada Table 2.

Tabel. 2. Parameter set Gain scheduling

Gain	MF	PID Gain			Pitch	Roll	Throttle
		KP	KI	KD			
I	PB	1.6	0.005	0.25	Mundur	Kiri	Turun
II	PS	0.5	0.001	1	Mundur	Kiri	Turun
III	Z	0	0	0	Diam	Diam	Diam
IV	NS	0.5	0.001	1	Maju	Kanan	Naik
V	NB	1.6	0.005	0.25	Maju	Kanan	Naik

Rule evaluation pada skema fuzzy-pid gain scheduling ini dapat ditulis sebagai berikut:

Rule n: If error(t) = NB **Then** O(n) = (KP(n) x error (t)) + (KI(n) x Integral(t)) + KD(n) x Derivative(t)

Sedangkan proses defuzzyfikasi dihitung dengan persamaan berikut:

$$output = \frac{\sum_{n=1}^5 O(n)\mu(n)}{\sum_{n=1}^5 \mu(n)} \quad (3)$$

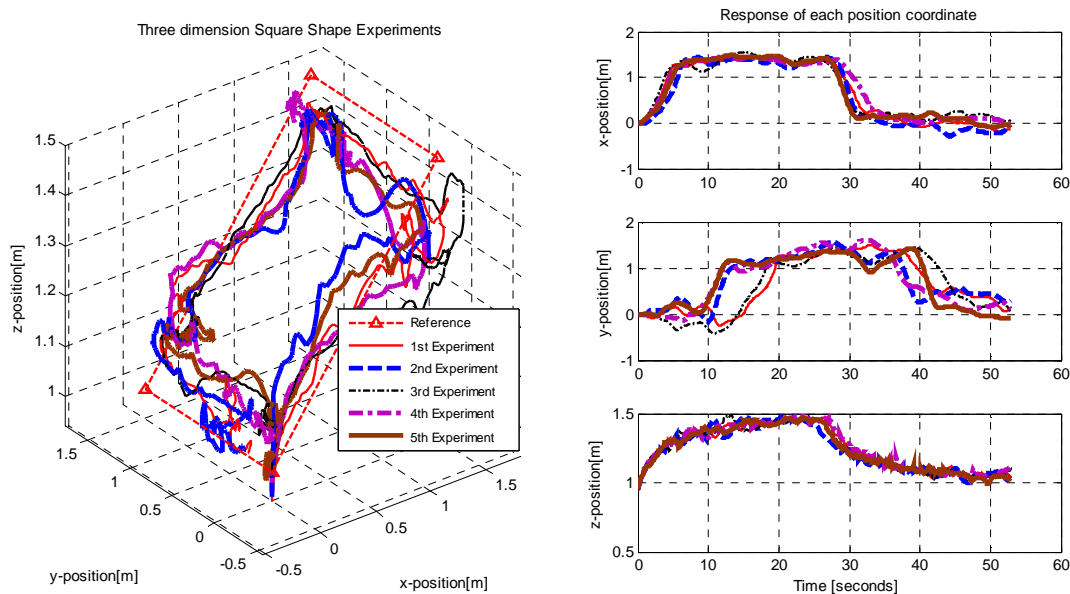
BAB V

HASIL YANG DICAPAI

Algoritma Fuzzy-PID gain scheduling yang telah dirancang diimplementasikan pada AR.Drone 2.0 Elite Edition dan diujicobakan di ruang tertutup. Ruang pengujian mempunyai ukuran 6 m x 6 m x 4 m dengan lantai dibuat bergaris garis karena drone menggunakan kamera bawah untuk mengestimasi posisi x dan y saat terbang. Sedangkan z posisi menggunakan sensor ultrasonic yang ada di onboard drone. Pada pengujian ini, AR.Drone akan diterbangkan ke beberapa posisi yang membentuk kotak pada koordinat x,y,z. Adapun prosedur pengujian dilakukan sebagai berikut:

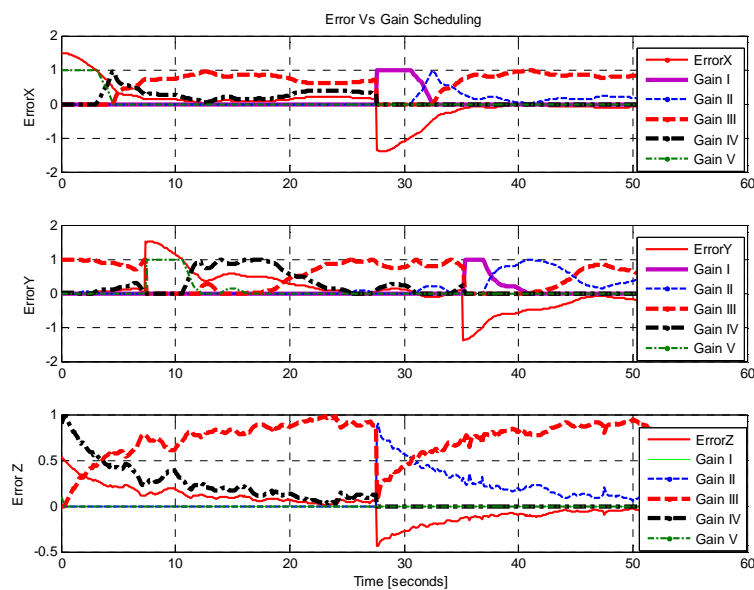
1. Masukkan referensi posisi yang akan dituju oleh drone pada front panel software yang telah dibuat. Dalam pengujian ini, referensi yang akan dituju adalah (1.5,0,1.5) kemudian terbang menuju (1.5,1.5,1.5), kemudian terbang menuju (0,1.5,1), kemudian kembali ke initial position (0,0,1)
2. AR.Drone diterbangkan secara manual untuk hover pada posisi (0,0,1).
3. Switch ON Auto maka AR.Drone akan terbang secara autonomous menuju referensi yang telah ditentukan. Perpindahan setpoint dilakukan jika posisi dari drone telah masuk dalam toleransi error yang ditentukan dalam program.
4. Pengujian dilakukan sebanyak 5 kali.

Hasil pengujian dapat ditunjukkan pada Gambar 8 dibawah. Gambar sebelah kiri adalah response sistem dalam 3 dimensi sedangkan gambar kanan adalah response posisi dari masing masing koordinat x,y dan z. Dari penggambaran 3D tampak bahwa AR.Drone dapat menuju ke setiap titik referensi yang diinginkan namun terlihat adanya error yang relatif besar pada posisi z. Dari 5 kali eksperimen ada 3 kali hasil yang memberikan respon transient yang relatif baik. Percobaan 1 dan 3 terlihat terlambat saat switching menuju ke titik (1.5,1.5,1.5). Secara umum setiap titik dapat dicapai dengan rise time 10 seconds yang dapat dilihat pada gambar kiri.



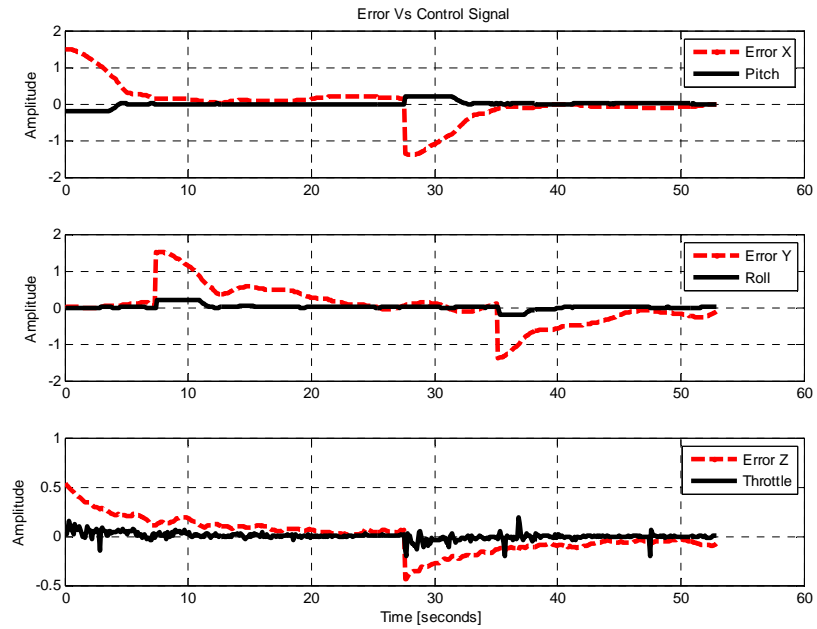
Gambar 8. Eksperimen terbang

Proses scheduling gain PID selama pengujian dapat ditunjukkan pada Gambar 9 dibawah, yang diambil dari salah satu eksperimen di atas. Terlihat saat memulai perjalanan dari initial position error X adalah 1.5 m sehingga PID control bekerja dengan Gain V, sedangkan error Y adalah nol sehingga PID control bekerja dengan Gain III sedangkan error Y 0.5 m maka PID control bekerja dengan Gain IV. Seiring dengan perjalanan drone menuju titik referensi, gain yang bekerja adalah kontribusi dari 2 gain dari membership function yang sesuai.



Gambar 9. Proses Gain Scheduling

Sinyal kontrol pitch, roll dan throttle yang dihasilkan oleh Fuzzy-PID gan scheduling diatas ditunjukkan pada Gambar 10. Dalam sinyal kontrol ini aa pembatasan nilai sinyal control pada ± 0.15 untuk menghindari tabrakan dengan dinding dikarenakan ruang indoor yang cukup sempit.



Gambar 10. Sinyal kontrol pitch, roll and throttle

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Dalam penelitian yang dilakukan selama 1 tahun ini ada beberapa hal yang didapatkan antara lain:

- PID Controller dibandingkan Fuzzy controller dipresentasikan pada international conference EECSI Semarang.
- Skema Fuzzy Gain Scheduling sedang di Submit ke Jurnal International

6.2. Saran

Pada penelitian ini masih ada sedikit kendala pada internal controller bawaan AR.Drone yang selalu bergeser pada saat mode auto dengan input pitch, roll, yawrate dan vertical rate nol yang secara ideal harusnya dalam kondisi hover. Kondisi ini perlu perhatian lebih ketika akan implementasi algoritma kontrol otomatis pada AR.Drone

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Krajnik T, Vonasek V, Fiser D, Faigl J. *AR-Drone as a Platform for Robotic Research and Education*. Research and Education in Robotics :EUROBOT. Heidelberg, 2011; draft version.
- [2] Mary C, Totu L C, Koldbaek S K. *Modeling and Control of Autonomous Quad-Rotor*. Dept of Electronic Systems University of Aalborg Denmark. Project Report. 2010.
- [3] Jacco vand der Spek, Mario V. *AR.Drone Autonomous Control and Position Determination*. Bachelor Thesis. TU-Delft. 2012.
- [4] Pierre-Jean B, Francois C, David V, Nicolas P. *The Navigation and Control Technology Inside the AR Drone Micro UAV*. 18th IFAC World Congress, Milano Italy. 2011; reprint
- [5] <http://ardrone2.parrot.com> accessed on 11 August 2014
- [6] Stephane P, Nicolas B. *AR.Drone Developer Guide*. Parrot. SDK 1.6. 2011
- [7] Gerrard M. *Modeling and Control of the Parrot AR.Drone*. SEIT UNSW Canberra. Final Project Report. 2012.
- [8] Michael M. *The AR Drone LabVIEW Toolkit: A Software Framework for the Control of Low Cost Quadrotor Aerial Robots*. Master of Science Thesis. TUFTS University. 2012.
- [9] Sun Y. *Modeling, Identification and Control of a Quadrotor Drone Using Low-Resolution Sensing*. Master of Science Thesis. University of Illinois at Urbana-Champaign. 2012.
- [10] Guilherme V R, Manuel G O, Francisco R R. *Nonlinear H^∞ Controller for the Quad-Rotor Helicopter with Input Coupling*. 18th IFAC World Congress, Milano Italy. 2011; reprint.
- [11] Sarah Yifang Tang. *Vision-Based Control for Autonomous Quadrotor*. Final Report :Undergraduated Senior Thesis. Department of Mechanical and Aerospace Engineering. Princeton University . 2013.
- [12] Agung Prayitno, Veronica Indrawati, "Model AR.Drone Dengan Indoor dan Outdoor Hull", Proceeding Conference on Information Technology and Electrical Engineering (CITEE), Universitas Gajah Mada, Yogyakarta, 2014.

- [13] Agung Prayitno, Veronica Indrawati, Gabriel Utomo, "Trajectory Tracking of AR.Drone Quadrotor Using Fuzzy Logic Controller", Jurnal Telkomnika Vol 12 No.4 December 2014.
- [14] Veronica Indrawati, Agung Prayitno, Thomas Ardi K, "Waypoint Navigation of AR.Drone Quadrotor Using Fuzzy Logic Controller", Jurnal Telkomnika Vol 13 No.3 September 2015.
- [15] Veronica Indrawati, Agung Prayitno, Gabriel Utomo, "Comparison of Two Fuzzy Logic Controller Schemes for Position Control of AR.Drone", ICITEE Conference, Chiang Mai, 2015.