



UBAYA
UNIVERSITAS SURABAYA

LAPORAN PENELITIAN PENINGKATAN
PUBLIKASI DAN ANGKA PARTISIPASI

SISTEM KONTROL T2-FUZZY SEBAGAI
STABILISATOR MAV

OLEH:
HENDI WICAKSONO AGUNG D, S.T, M.T.

LABORATORIUM OTOMASI dan SISTEM EMBEDDED
TEKNIK ELEKTRO - FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SURABAYA

Juli, 2013

HALAMAN PENGESAHAN

1. a. Judul Penelitian : SISTEM KONTROL T2-FUZZY SEBAGAI STABILISATOR MAV
b. Bidang Ilmu : Teknik Elektro (Robotika)
2. Peneliti Utama
 - a. Nama Lengkap : Hendi Wicaksono, M.T.
 - b. Jenis Kelamin : Laki-laki
 - c. NIP : 208002
 - d. Pangkat/Golongan : III/B
 - e. Jabatan Struktural : -
 - f. Jabatan Fungsional : Asisten Ahli – 150
 - g. Fakultas/Jurusan : Fakultas Teknik/Jurusan Teknik Elektro
 - h. Telpon/Faks : (031) 2981157 / (031) 2981151
 - i. Telpon/HP : 0838 5757 0838
 - j. Email : hendi@ubaya.ac.id
3. Waktu Penelitian : 10 bulan
4. Pembiayaan
 - a. Jumlah biaya yang diajukan : Rp. 8.000.000,-

Surabaya, 26 Juli 2013

Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik,

Peneliti,

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

(Hendi Wicaksono, M.T.)
NPK: 208002

Menyetujui,
Ketua Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat

(Dr. Yoan Nursari Simanjuntak, S.H., M.Hum)
NPK: 196008

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI.....	5
DAFTAR GAMBAR	7
ABSTRAK	9
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1. 1. Latar Belakang.....	1
1. 2. Perumusan Masalah	2
1. 3. Tujuan Penelitian	3
1. 4. Manfaat Penelitian	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
BAB 3. METODE PENELITIAN.....	13
3. 1. Tahapan Penelitian.....	13
3. 2. Analisis Kebutuhan.....	13
3. 3. Desain <i>QuadCopter</i>	14
3. 4. Desain Kontrol T2-Fuzzy	21
3. 5. <i>Flowchart</i> Proses Kontrol <i>QuadCopter</i>	22
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	25
BAB 5. SIMPULAN DAN SARAN	33
DAFTAR PUSTAKA	35

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. <i>Hardware Communication Chart</i> [1].....	5
Gambar 2. <i>Final Hardware Platform</i> [1].....	6
Gambar 3. Ide Utama Sistem Kontrol yang Digunakan [1].....	6
Gambar 4. <i>QuadCopter Prototype</i> [2]	7
Gambar 5. <i>6 States Simulink LQR Control Loop with Sensor Motor Dynamics</i> [2]7	
Gambar 6. Diagram Kontrol <i>QuadCopter Prototype</i> [2].....	8
Gambar 7. Model <i>Quadrocopter</i> Berbahan <i>Polystyrene</i> [3]	8
Gambar 8. Tempat Pengujian <i>QuadCopter</i> [4].....	10
Gambar 9. Struktur T2-Fuzzy [7].....	11
Gambar 10. <i>X525 Glass Fiber QuadCopter Frame</i> 60 cm [5].....	15
Gambar 11. <i>SK450 Glass Fiber QuadCopter Frame</i> 45 cm [5].....	15
Gambar 12. <i>Plywood QuadCopter Frame</i> [5].....	16
Gambar 13. <i>H4 Copter Frame</i> 47 cm [5].....	16
Gambar 14. Turnigy Motor 1275 KV	17
Gambar 15. <i>3 Blade Propeller</i>	17
Gambar 16. Turnigy <i>Plush</i> 30A ESC.....	18
Gambar 17. <i>Sensor Accelerometer</i> MMA7361.....	18
Gambar 18. <i>Sensor Gyroscope</i> GS-12	19
Gambar 19. Bagan Pengkabelan Komponen <i>QuadCopter</i>	19
Gambar 20. Bentuk <i>QuadCopter</i> secara Keseluruhan	20
Gambar 21. IMF sebanyak 3 MF	21
Gambar 22. OMF sebanyak 3 MF	21
Gambar 23. <i>Rule Evaluations</i>	22
Gambar 24. <i>Flowchart</i> Proses Kontrol <i>QuadCopter</i>	23
Gambar 25. Data <i>Sensor</i> dan Respon T2-Fuzzy Tanpa <i>Disturbance</i> , <i>Gain</i> 0.3 ...	26
Gambar 26. Data <i>Sensor</i> dan Respon T2-Fuzzy Tanpa <i>Disturbance</i> , <i>Gain</i> 0.5 ...	27
Gambar 27. Data <i>Sensor</i> dan Respon T2-Fuzzy Tanpa <i>Disturbance</i> , <i>Gain</i> 0.8 ...	28
Gambar 28. Data <i>Sensor</i> dan Respon T2-Fuzzy dengan <i>Disturbance</i> , <i>Gain</i> 0.3..	29

Gambar 29. Data *Sensor* dan Respon T2-Fuzzy dengan *Disturbance*, Gain 0.5.. 30

Gambar 30. Data *Sensor* dan Respon T2-Fuzzy dengan *Disturbance*, Gain 0.8.. 31

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk membuat sebuah kontrol board yang dapat menyetabilkan terbang QuadCopter. Dengan menggunakan frame kayu balsa, ESC plush 30A, motor brushless 1275KV, didesain sebuah kontrol board yang mengendalikan kecepatan putar motor brushless dengan memberikan pulsa yang bervariasi pada ESC. Pengendalian kecepatan motor brushless secara closed-loop menggunakan sistem kontrol T2-Fuzzy dengan sensor accelerometer MMA-7361 dan sensor gyroscope GS-12. Desain T2-Fuzzy diharapkan bisa mengeliminir tingkat noise atau kenonlinearan sensor sehingga QuadCopter dapat terbang dengan stabil. Pada penelitian awal ini tentang kontrol board diperlukan sistem test bench yang dapat menghindari QuadCopter dari kerusakan akibat kesalahan sistem kontrol board di awal pengujian. Hanya saja akibat test bench model diikat dengan seutas tali, menyebabkan pengujian hanya dilakukan pada 1 axis saja. Dengan menambahkan parameter Gain, diperoleh Gain yang optimal adalah 0.5 dengan respon yang cukup cepat namun dengan osilasi yang singkat. Gain 0.3 diamati osilasi yang lebih cepat stabil namun respon kurang, sedangkan Gain 0.8 mempunyai respon cepat namun osilasi cukup lama.

Kata Kunci: *T2-Fuzzy, Stabilisator 1 axis, Sensor Accelerometer MMA-7361, Sensor Gyroscope GS-12*

BAB 1. PENDAHULUAN

1. 1. Latar Belakang

MAV atau *Miniature Aerial Vehicle* saat ini sedang banyak diteliti baik di Indonesia maupun di dunia. Selain ruang lingkup MAV ini cukup luas, tantangan masalah yang dihadapi juga cukup banyak. Banyak jenis MAV, namun MAV jarak dekat yang cukup populer adalah jenis *QuadCopter*. *QuadCopter* dikembangkan pertama kali hanya sekedar untuk hobi *aeromodelling*. Namun, sekarang penelitian seputar *QuadCopter* mulai dikembangkan.

Topik penelitian dengan objek *QuadCopter* ini kebanyakan melakukan pengembangan dalam bidang sistem kontrol pergerakan otomatis objek *QuadCopter* itu sendiri. Dan itu dimulai dengan lingkungan di dalam ruangan (*indoor environment*) untuk meminimalisir faktor alam (*outdoor*) seperti angin. Ketertarikan banyak peneliti pada bidang MAV khususnya pada *QuadCopter* dikarenakan yang pertama adalah tingkat kompleksitas dari pergerakan *QuadCopter* itu yang meliputi pergerakan 3-axis, dan yang kedua adalah faktor pengembangan menjadi pesawat tanpa awak yang dapat digunakan untuk memonitor sesuatu yang tidak bisa dijangkau oleh manusia, seperti kalau di Indonesia adalah pengambilan citra lokasi lumpur Sidoarjo di Jawa Timur. Tentu saja dalam pengambilan citra seperti itu diperlukan sebuah MAV yang dapat terbang stabil, sehingga pengambilan citra bisa fokus. Itulah salah satu pengembangan kedepannya dari MAV *QuadCopter* ini.

Saat ini terdapat *platform QuadCopter* yang cukup terkenal yaitu Parrot AR.Drone. Bagi peneliti yang ingin mengembangkan pada aplikasi lanjutan maka Parrot AR.Drone sudah cukup dapat memfasilitasi hal tersebut. Namun untuk dapat mengembangkan lebih dalam, dan mungkin

untuk dapat mengembangkan tingkat manuver dari sebuah *QuadCopter*, maka tidak cocok bila memakai Parrot AR.Drone. Hal ini dikarenakan *QuadCopter* ini mempunyai sistem yang bukan *open source* sehingga tidak memungkinkan untuk dilakukan pengembangan.

Untuk itu harus dimulai membuat *QuadCopter* mulai dari nol, desain mulai dari kerangka, pemasangan motor dan pengatur kecepatannya, hingga mendesain teknologi mikrokontroler untuk membuatnya bisa terbang. Lain halnya pesawat terbang atau helikopter pada umumnya, membuat sebuah *QuadCopter take-off* secara vertikal dan bisa *hover* secara stabil tidaklah mudah. Perlu adanya kombinasi kecepatan 4 buah motornya yang sesuai untuk dapat membuat sebuah *QuadCopter take-off*. Apalagi untuk membuatnya berpindah tempat dan mengikuti objek misalnya. Kestabilan ini diperlukan agar ketika *QuadCopter* ini didesain membawa kamera untuk melakukan pemotretan citra dapat dilakukan dengan baik.

1. 2. Perumusan Masalah

Permasalahan yang timbul dengan membuat *QuadCopter* dimulai dari nol itu adalah bagaimana membuat sebuah kerangka *QuadCopter* yang ringan sehingga dapat terbang dengan memanfaatkan daya angkat sebuah propeler bergerak, bagaimana membuat sebuah kerangka *QuadCopter* yang sudah didesain tadi dapat *take-off* secara vertikal dan *hover* dengan stabil pada ketinggian 1 meter. Kemudian permasalahan berikutnya, bagaimana mendesain sistem kontrol T2-Fuzzy yang mengakses *sensor accelerometer* dan *sensor gyroscope* yang berguna untuk mengetahui kemiringan sebuah *QuadCopter* dalam 1-axis, bagaimana membuat parameter T2-Fuzzy yang *robust* agar dapat stabil secara otomatis ketika diberi gangguan atau *disturbance*, dengan fitur T2-Fuzzy yang mampu mengeliminir keluaran dari *sensor accelerometer* dan *sensor*

gyroscope ini mempunyai *noise* yang cukup mengacaukan kestabilan *QuadCopter*.

1.3. Tujuan Penelitian

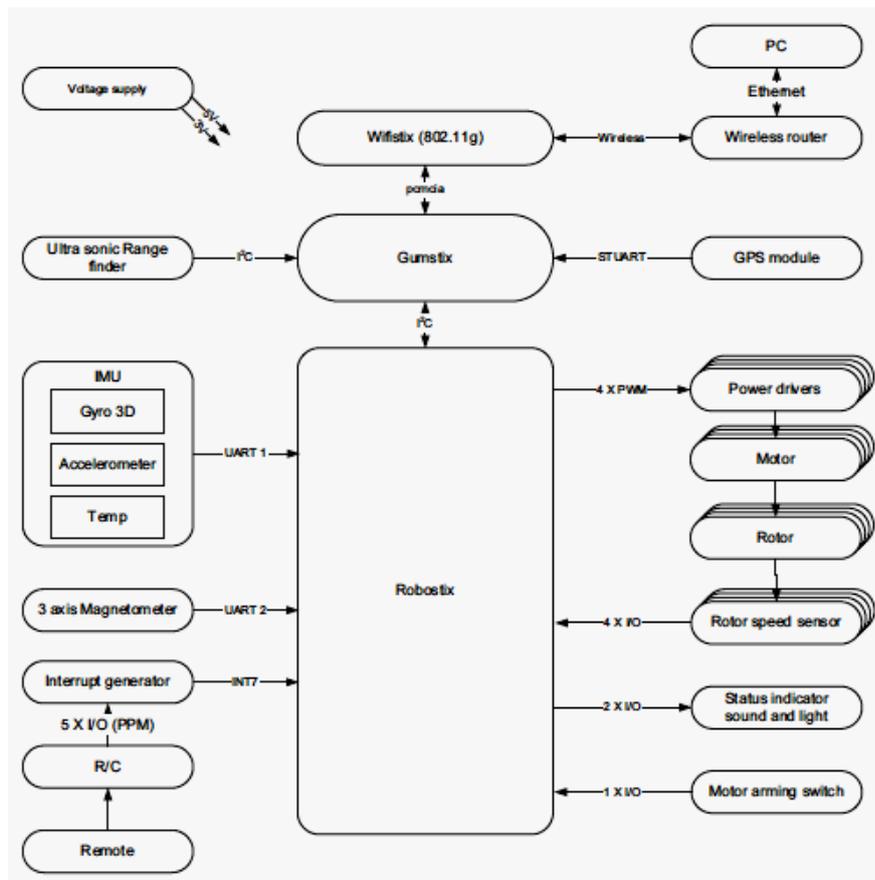
Penelitian ini bertujuan utama yaitu mendesain parameter T2-Fuzzy yang dapat membuat sebuah *QuadCopter* menyetabilkan dirinya sendiri apabila terdapat sebuah *disturbance*. Tujuan lanjutannya adalah membuat sebuah MAV yang dirancang dari nol, sehingga dapat dikembangkan pada penelitian lanjutan.

1.4. Manfaat Penelitian

Penelitian ini bermanfaat untuk penelitian lanjutan yang bersifat lebih aplikatif seperti pengambilan citra dari sebuah lokasi menggunakan kamera, serta pengembangan penelitian ke arah *outdoor flight*. Selain itu, penelitian ini dimanfaatkan untuk pengembangan pembelajaran robotika.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

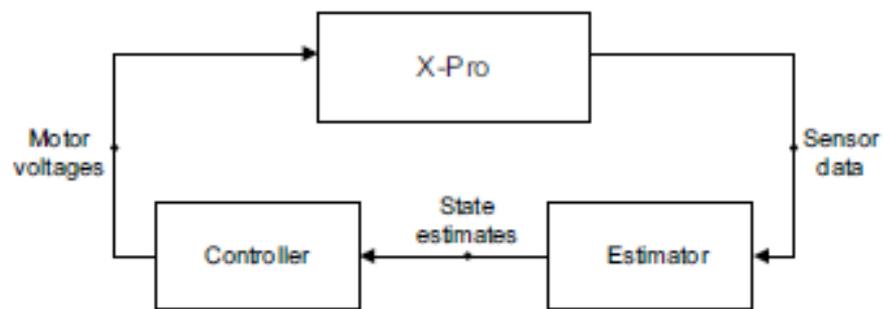
Jakob Bjørn, Morten Kjærgaard, Martin Sørensen, pada Master Thesis mereka tahun 2007 [1] meneliti tentang sistem kontrol *linear quadratic control*, *piecewise affine hybrid systems control* yang diterapkan pada kondisi *hover flight* untuk *quadrotor*. Jadi mereka meneliti seputar teknik kontrol agar sebuah *QuadCopter* dapat melakukan *hover flight*. Diagram penelitian bisa dilihat pada Gambar 1. Dan pada Gambar 2 dapat dilihat *platform* yang didesain sudah lengkap dari kerangka, mikrokontroler, dan *sensor-sensor* yang diperlukan. Sedangkan ide utama pengontrolan kestabilan *hover flight* dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 1. Hardware Communication Chart [1]



Gambar 2. *Final Hardware Platform* [1]



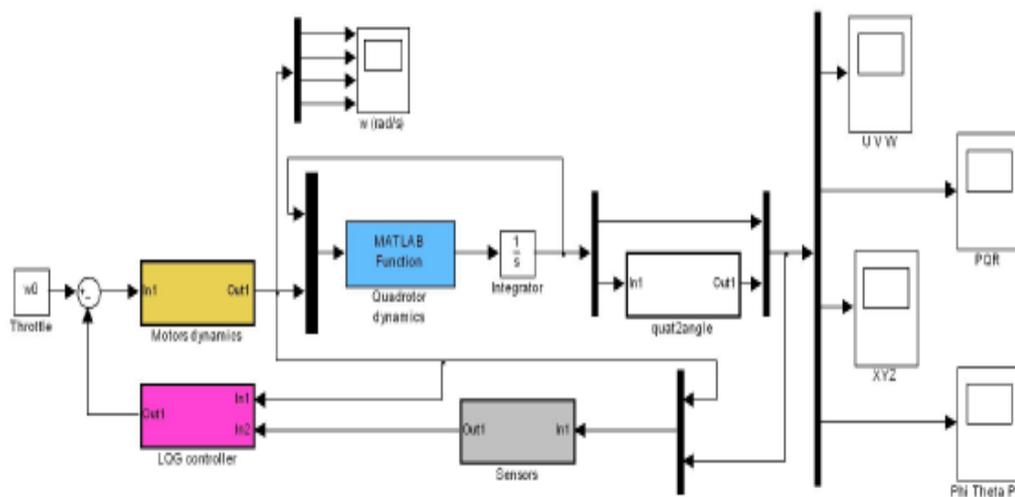
Gambar 3. Ide Utama Sistem Kontrol yang Digunakan [1]

Berikutnya yang juga meneliti tentang *QuadCopter* adalah Jorge Miguel Brito Domingues pada thesis yang berjudul *QuadCopter Prototype* di tahun 2009 [2]. Jorge mendesain dari mulai kerangka hingga sistem kontrol menggunakan *Kalman Filter* dan *The Linear Quadratic Regulator*. Hasil kerangka *QuadCopter* buatan Jorge dapat dilihat pada Gambar 4. Jorge mengimplementasikan *Kalman Filter* untuk mengatasi *noise* yang ditimbulkan oleh penggunaan *sensor accelerometer* dan *sensor gyroscope* [2]. Dan untuk optimasi *Vertical Take-Off and Landing* (VTOL) [2], Jorge menggunakan *Linear Quadratic Regulator* yang permulaan didesain menggunakan Matlab dan selanjutnya diimplementasikan pada *QuadCopter prototype*. Bentuk diagram dari salah satu sistem kontrol dari 2 sistem yang dikembangkan dapat dilihat pada Gambar 5. Namun, Jorge masih menggunakan pengendali *gamepad controller* untuk menerbangkan *QuadCopter*

buatannya. Diagram kontrol dari *QuadCopter Prototype* dapat dilihat pada Gambar 6.

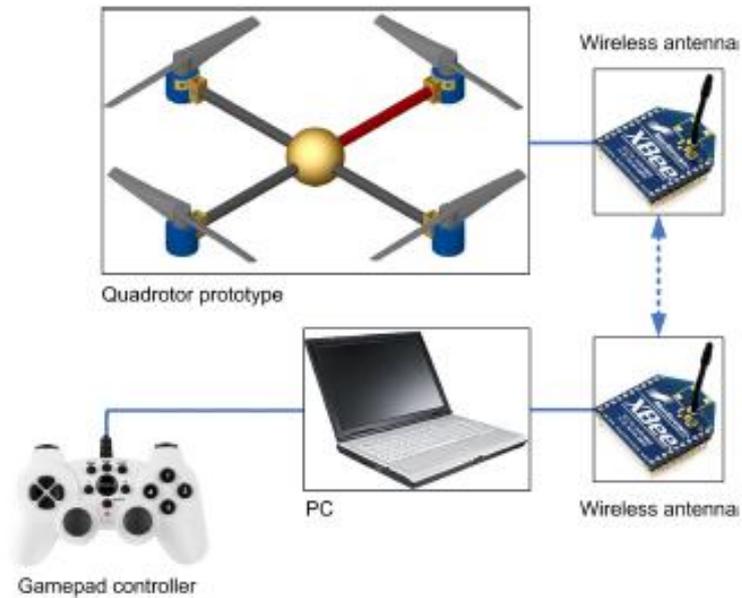


Gambar 4. *QuadCopter Prototype* [2]



Gambar 5. 6 States Simulink LQR Control Loop with Sensor Motor Dynamics [2]

Pada tahun 2008, Vedran Sikiric pada *master thesis* yang berjudul *Control of Quadrocopter* mencoba memperkirakan bahan-bahan apa saja yang memungkinkan untuk dijadikan bahan kerangka *QuadCopter* [3]. Terdapat 4 bahan/material yaitu *polystyrene*, *carbon fibre*, *balsa wood*, *pine wood* [3]. Dan Vedran memilih untuk menggunakan *polystyrene* dengan alasan bahan yang paling murah dan banyak tersedia di daerahnya.



Gambar 6. Diagram Kontrol *QuadCopter Prototype* [2]

Bentuk dari desain quadcopter terlihat pada Gambar 7. Pada gambar tersebut dapat dilihat ilustrasi tes prosedur ketika *pitch* dan *control* sedang dievaluasi. Dapat dilihat motor (1) dan motor (3) dalam keadaan *off* (mati), dan motor (2) dan motor (4) dijalankan normal. Dilakukan pengamatan sudut antara *longitudinal axis* (5) dengan bidang datar horisontal.



Gambar 7. Model *Quadcopter* Berbahan *Polystyrene* [3]

Leon Keith Burkamshaw pada tahun 2010 baru saja menyelesaikan *thesis* yang meneliti tentang *platform QuadCopter* dengan biaya paling rendah [4]. Dalam *thesis*, Leon Keith mengungkapkan bahwa untuk menekan biaya, maka harus dilihat bagian mana yang mempunyai resiko terbesar untuk rusak. Karena membengkaknya biaya dikarenakan adanya penggantian-penggantian bagian yang rusak. Bagian pertama yang mempunyai resiko tertinggi adalah kerangka/*frame QuadCopter* [4]. Bagian berikutnya adalah PCB elektronik terutama pada bagian mikrokontroler.

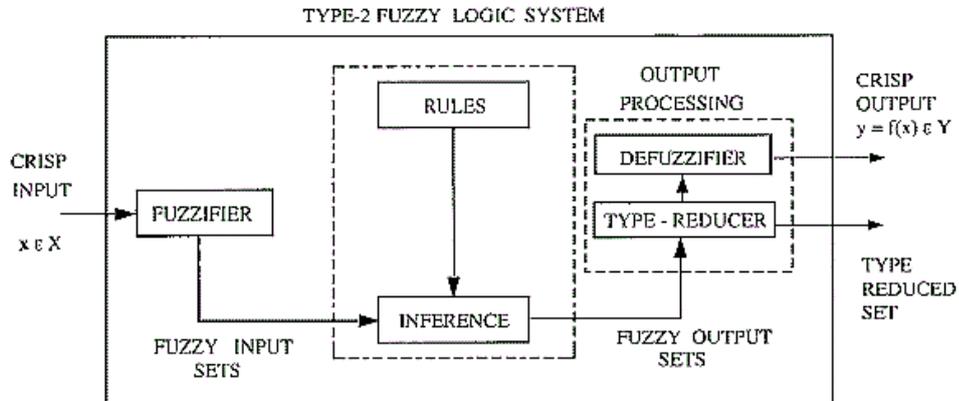
Oleh karena itu, sebelum dilakukan pengujian terbang pertama kali, perlu dilakukan 2 tahap pengujian yang tentunya menggunakan pengaman. Uji respon motor dan sistem kontrol dilakukan dengan memberikan seperti tempat agar *QuadCopter* tidak terbang meskipun semua rotor dan propeler berputar. Tempat yang dimaksud seperti pada Gambar 8. Hal ini dimaksudkan untuk mengurangi efek hantaman apabila semua sistem belum berjalan sesuai desain yang diinginkan. Dan setelah benar berlanjut pada pengujian berikutnya sebelum penerbangan pertama yaitu dengan memasang tali pada ujung-ujung *QuadCopter* sehingga efek gerakan *QuadCopter* tidak begitu luas dan aman bagi frame dan sistem mikrokontroler. Hal ini dimaksudkan agar tidak terjadi kerusakan yang dapat menghambat kemajuan proyek *QuadCopter* tersebut [4].

Sampai saat ini, sistem kontrol yang digunakan belum ada yang menggunakan sistem kontrol T2-Fuzzy, kebanyakan dari mereka langsung melakukan proses *filtering* pada bagian keluaran *sensor* seperti pada [2] menggunakan *Kalman Filter* sedangkan untuk sistem kontrolnya menggunakan *Linear Quadratic Regulator*.



Gambar 8. Tempat Pengujian *QuadCopter* [4]

Realisasi dari T2-Fuzzy menaikkan level operasi dari proses *fuzzification*, *inference*, dan *output processing*. Pengembangan dari kontrol T2-Fuzzy sekitar *output processing*. *Output processing* T2-Fuzzy berperan penting dalam menentukan tingkat ketidakpastian dan ketidakpresisian dari T2-Fuzzy serta juga menentukan waktu proses perhitungan T2-Fuzzy. *Output processing* terdiri atas *type reduction* dan *defuzzification*. *Type reduction* merupakan proses *extended defuzzification* T2-Fuzzy. Dan pada *type reduction* ini memiliki lebih dari sekedar *uncertainty rules* dibandingkan proses *defuzzification*. Bila didesain T2-Fuzzy secara general maka terjadi kesulitan untuk melakukan proses perhitungan yang *real time* karena cukup kompleks. Namun bila waktu yang dibutuhkan dalam proses perhitungan *output processing* ini relatif singkat maka sudah dapat dipastikan bahwa terjadi penyederhanaan-penyederhaan yang berlebihan membuat tingkat ketidakpastian dan tingkat ketidakpresisian dari T2-Fuzzy berkurang. Pada Gambar 9 dapat dilihat struktur dari T2-Fuzzy [7].



Gambar 9. Struktur T2-Fuzzy [7]

Cara menggambarkan *fuzzy membership* dari *fuzzy set* dengan menggunakan *Footprint Of Uncertainty* (FOU) dalam representasi 2D. Pada FOU T2-Fuzzy bisa dikatakan terbentuk dari beberapa T1-Fuzzy. Pada sisi dalam disebut dengan LMF atau *Lower Membership Function*. Sedangkan pada sisi luar disebut dengan UMF atau *Upper Membership Function* [7].

BAB 3. METODE PENELITIAN

3. 1. Tahapan Penelitian

Adapun tahapan penelitian sebagai berikut:

1. Pengadaan komponen-komponen *QuadCopter* mulai dari *frame*, *brushless* motor, ESC (*Electronic Speed Controller*), *propeller*, baterai, *board* Arduino Mega 2560, *sensor accelerometer*, dan *sensor gyroscope*.
2. Merakit semua komponen tersebut sehingga terbentuk *QuadCopter*.
3. Mencari metode *test bench* yang aman bagi peralatan *QuadCopter* dan para peneliti.
4. Mendesain parameter-parameter penting kontrol T2-Fuzzy sebelum dilakukan pemrograman.
5. Membuat kode program perhitungan T2-Fuzzy berbasis Arduino.
6. Pengujian nilai-nilai *board* Arduino Mega 2560 yang sudah berisikan program pengambilan *input*, perhitungan T2-Fuzzy, dan pengeluaran nilai *pulse* untuk pengaktifan ESC secara simulasi.
7. Pengujian *board* Arduino Mega 2560 tanpa dan dengan *disturbance* (gangguan)
8. Menganalisis respon kontrol T2-Fuzzy dengan melihat perilaku osilasi *QuadCopter*. Data diperoleh secara *wireless* menggunakan perangkat *Bluetooth*.

3. 2. Analisis Kebutuhan

Setelah membaca banyak karya ilmiah baik dalam negeri maupun luar negeri, diperoleh bahwa ada kebutuhan untuk melakukan penelitian ini sebagai berikut.

1. Belum adanya penelitian dalam negeri yang meneliti atau mendesain kontrol *board* dari *scratch*. Penelitian dalam negeri berfokus pada aplikasi *QuadCopter*.
2. Belum adanya penelitian baik dalam maupun luar negeri yang meneliti metode kontrol T2-Fuzzy sebagai kontrol pada *QuadCopter board*. Kebanyakan dari mereka menggunakan kontrol PID dan melakukan *preprocessing input* dari *sensor accelerometer* dan *sensor gyroscope* menggunakan *Kalman Filter*.

3. 3. Desain *QuadCopter*

Pada bagian ini dijelaskan mengenai desain *QuadCopter* mulai dari pengadaan komponen-komponen *QuadCopter*, proses pengiriman, dan perakitan menjadi sebuah *QuadCopter*. *QuadCopter* sederhana terdiri atas (1) *frame*, (2) 4 buah motor *brushless*, (3) 4 buah *propeller*, (4) *controller board*, (5) *sensor accelerometer*, dan (6) *sensor gyroscope*. Komponen-komponen penting di atas perlu langsung didatangkan dari luar negeri untuk menekan biaya pengadaan.

Di Indonesia sudah mulai banyak toko-toko elektronik maupun toko hobi yang menjual komponen *QuadCopter*, namun harga jualnya sudah berkali-kali lipat jika membeli langsung dari luar negeri. Namun, ada kerugian apabila mendatangkan langsung dari luar negeri adalah waktu pengiriman yang bisa mencapai 3-4 minggu. Untuk masalah pajak bea masuk, komponen-komponen itu harus dibeli dalam beberapa gelombang dan harga barang tiap gelombang maksimum Rp 500.000. Dengan begitu bisa terhindar dari pajak bea masuk.

Dari tiap komponen di atas memiliki banyak variasi dan spesifikasi. Mulai dari *frame*, *frame* yang biasa digunakan adalah berbentuk X dengan masing-masing motor berada pada ujung-ujung diagonal. Model *frame* bervariasi mulai dari ukuran maupun jenis bahan *frame*. Berikut beberapa model *frame* dapat dilihat pada Gambar 10, Gambar 11, Gambar 12,

Gambar 13, dan masih banyak ukuran lainnya. Dari ketiga model ini dibedakan dari bahan *frame*. Gambar 10 bisa dilihat *frame* dengan tulang rangka dari aluminium. *Frame* pada Gambar 11 merupakan *frame* dengan tulang rangka berasal semacam plastik. Sedangkan pada Gambar 12 dapat dilihat *frame* yang terbuat dari kayu balsa atau *plywood*. Dan pada gambar terakhir itu model *QuadCopter* yang lain dari biasanya yang tulang rangkanya membentuk “X”, yang ini membentuk huruf “H” makanya dinamakan *H Copter*. Pada penelitian ini menggunakan *frame* seperti pada Gambar 12 yang terbuat dari kayu balsa.



Gambar 10. X525 Glass Fiber QuadCopter Frame 60 cm [5]



Gambar 11. SK450 Glass Fiber QuadCopter Frame 45 cm [5]



Gambar 12. *Plywood QuadCopter Frame* [5]



Gambar 13. *H4 Copter Frame 47 cm* [5]

Berikutnya pemilihan jenis motor *brushless* yang sesuai. Pemilihan motor *brushless* ini dilihat dari besar kecilnya putaran motor per satuan volt (rpm/V). Putaran motor per satuan volt yang digunakan untuk *QuadCopter* mulai dari 1000KV hingga 3000KV. Semakin besar putaran motor per satuan volt, makin besar pula torsi yang dihasilkan, dan kerugiannya semakin boros pemakaian energi baterai. Pada penelitian ini dipilih motor dengan putaran yang tidak terlalu besar agar tidak boros dalam pemakaian baterai yaitu motor *brushless* 1275 KV dengan merk/tipe Turnigy SK3-2822-1275. Bentuk Turnigy SK3-2822-1275 dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Turnigy Motor 1275 KV

Untuk pemilihan *propeller*, pertimbangannya terkait dengan panjang dari *propeller* itu yang dikaitkan dengan besar putaran motor per satuan volt. Semakin besar putaran motor per satuan volt semakin kecil panjang *propeller* yang dibutuhkan. Penelitian ini menggunakan *propeller* 9 inch. Selanjutnya pemilihan *Electronic Speed Controller* (ESC). ESC yang digunakan adalah Turnigy ESC plush 30A. Bentuk *propeller* yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 15, sedangkan bentuk ESC *plush* 30 A dapat dilihat pada Gambar 16.



Gambar 15. 3 Blade Propeller



Gambar 16. Turnigy Plush 30A ESC

Dua buah *sensor* untuk mengetahui sudut kemiringan dan kecepatan sudut saat bergerak adalah *sensor accelerometer* dan *sensor gyroscope*. *Sensor accelerometer* digunakan untuk mengetahui sudut kemiringan *QuadCopter*, dan *sensor gyroscope* digunakan untuk mengetahui seberapa cepat *QuadCopter* menuju kemiringan tertentu tersebut. Pada penelitian ini memilih model *sensor accelerometer* dan *sensor gyroscope* yang biasa digunakan pada robot. *Sensor accelerometer* yang digunakan adalah MMA7361. *Sensor accelerometer* ini memiliki 3 *axis*. Bentuk MMA7361 dapat dilihat pada Gambar 17. *Sensor gyroscope* yang digunakan bertipe GS-12 yang memiliki 2 *axis* saja. Bentuk *sensor* ini bisa dilihat pada Gambar 18.

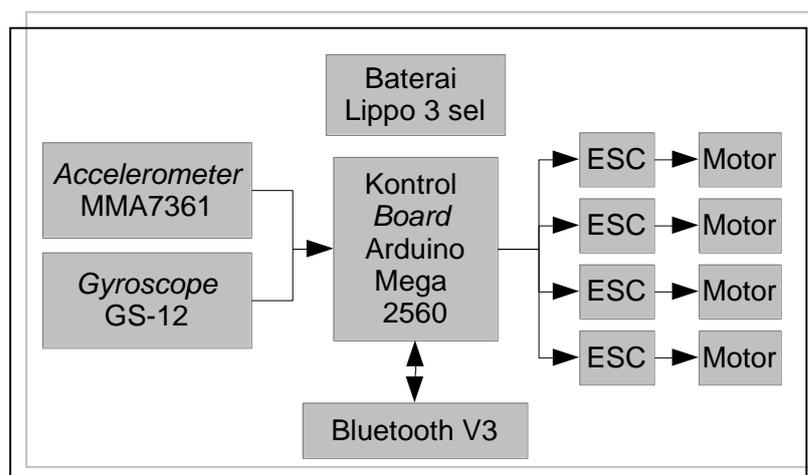


Gambar 17. Sensor Accelerometer MMA7361

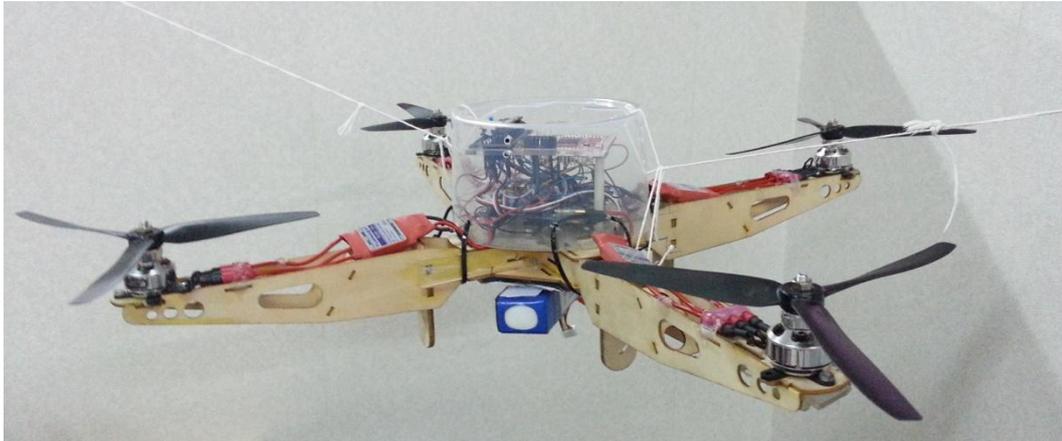


Gambar 18. Sensor Gyroscope GS-12

Untuk pemasangan secara mekanik bisa mengikuti lubang-lubang yang sudah ada. Pada pemasangan kabel motor dan ESC ada yang perlu diingat. Pada Gambar 14 dapat dilihat motor mempunyai 3 kabel yang dihubungkan pada ESC. Pasang dulu ketiga kabel tersebut, dan jika nanti hasil putaran motor berkebalikan dengan yang diinginkan, maka tukarlah sambungan kabel yang paling tepi kiri dengan yang tepi kanan. Koneksi hubungan antara beberapa komponen *QuadCopter* dapat dilihat pada Gambar 19. Bentuk mekanik *QuadCopter* yang sudah dirakit seperti terlihat pada Gambar 20.



Gambar 19. Bagan Pengkabelan Komponen *QuadCopter*



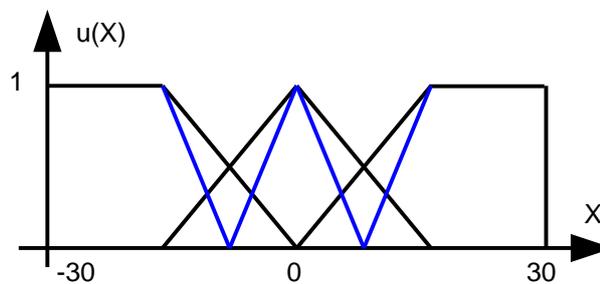
Gambar 20. Bentuk *QuadCopter* secara Keseluruhan

Seperti diketahui, pergerakan *QuadCopter* berada pada 3 *axis*, sumbu X, sumbu Y, dan sumbu Z. Maka ujicoba kontrol *board* perlu benar-benar diperhatikan dikarenakan apabila masih ada kesalahan atau *bug* pada program bisa mengakibatkan kerusakan yang fatal pada *QuadCopter* karena jatuh pada ketinggian tertentu. Mengingat komponen-komponen *QuadCopter* itu cukup mahal dan mendatangkannya membutuhkan waktu yang tidak sedikit, maka pada penelitian ini awal dari uji desain kontrol *board* harus menggunakan pengaman. Pengaman pengujian sebuah *QuadCopter* sering disebut dengan *test bench* atau juga *test bed*. Terdapat ide-ide tentang *test bench* ini dari video-video dan *paper*.

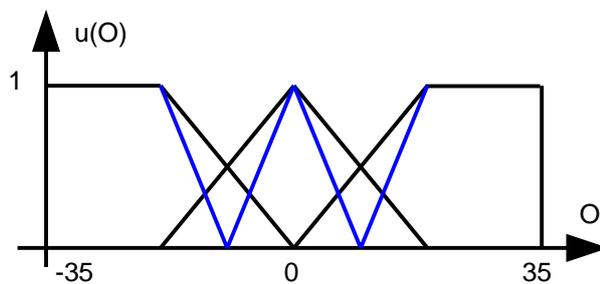
Beberapa model *test bench* sebagai berikut. (1) Penggunaan jaring pada seluruh bagian ruangan, (2) Mengikat *QuadCopter* pada seutas tali sehingga hanya bisa bergerak pada 1 *axis*, (3) Hampir sama dengan cara ketiga, namun *QuadCopter* dipasangkan as besi yang ujung kiri dan kanan diberikan *bearing*, (4) Melubangi *QuadCopter* sehingga dapat bergerak ke atas dan ke bawah. Salah satu model *test bench* yaitu model ke-3 dapat dilihat pada Gambar 8. Sedangkan pada penelitian ini, dibuat *test bench* model ke-2 dengan mengikat *QuadCopter* pada seutas tali seperti pada Gambar 20.

3. 4. Desain Kontrol T2-Fuzzy

Setelah mendesain *QuadCopter*, berikutnya desain kontrol T2 Fuzzy. Dikarenakan tidak bisa menyederhanakan struktur T2-Fuzzy, maka jumlah *Membership Function input* dan *output* harus dibuat kecil dengan tujuan proses pemrograman pada Arduino Mega 2560 tidak memakan *resource* yang besar. Pada penelitian ini *Input Membership Function* (IMF) dan *Output Membership Function* (OMF) didesain sebanyak 3 MF. Bentuk dan nilai anggota IMF dan OMF dapat dilihat pada Gambar 21 dan Gambar 22. Pada sistem ini terdapat 2 *input*, yaitu *sensor accelerometer* dan *sensor gyroscope*. Masing-masing memiliki 3 IMF yaitu *small* (S), *medium* (M), dan *big* (B) artinya bila dipautkan dengan Gambar 21 dapat dilihat bahwa kategori *small* mulai -30 atau kurang hingga 0, kategori *medium* mulai -20 hingga 20, sedangkan kategori *big* mulai dari 0 hingga 30 atau lebih. Sedangkan bagian *output* juga memiliki 3 MF yaitu *small* (S), *medium* (M), dan *big* (B) yang dimulai dari -35 atau kurang hingga 35 atau lebih.



Gambar 21. IMF sebanyak 3 MF



Gambar 22. OMF sebanyak 3 MF

Selanjutnya mendesain *rule evaluations* untuk kedua *input*. Karena jumlah IMF cukup sedikit maka kombinasi OMF juga sedikit dan dengan mudah untuk dibuatkan *rule evaluations*. *Rule evaluations* dapat dilihat pada Gambar 23.

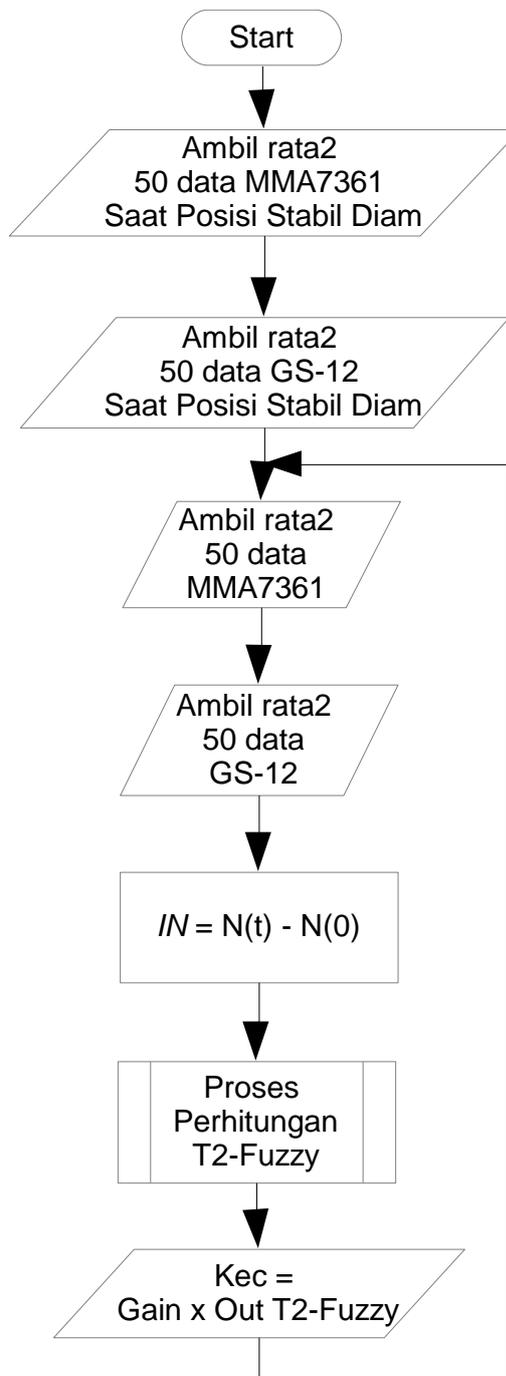
		Gyroscope		
		S	M	L
Accelerometer	S	S	S	S
	M	M	M	M
	L	L	L	L

Gambar 23. *Rule Evaluations*.

3. 5. *Flowchart* Proses Kontrol *QuadCopter*

Berikut ini adalah *flowchart* proses kontrol *QuadCopter* yang dapat dilihat pada Gambar 24, dimulai dari pengambilan data dari kedua buah *sensor* yaitu *sensor accelerometer* dan *sensor gyroscope*. Diawali dengan pengambilan 50 data *sensor accelerometer* dan data *sensor gyroscope* saat keadaan stabil di tanah sebagai target kemiringan 0 derajat. Desain pengambilan data *sensor* tidak hanya sekali pengambilan lalu diproses, namun dilakukan 50 kali pengambilan data dan diambil rata-rata dari kelimpuluh data tersebut. Hal ini dimaksudkan agar apabila ada *noise* sehingga 1 atau 2 buah data tiba-tiba berbeda dengan *range* yang besar bisa dieliminir. Proses seperti ini bisa dianggap *preprocessing* sederhana. Dengan *output* kedua *sensor* berupa tegangan sehingga untuk pengambilan data tersebut menggunakan ADC yang ada di Arduino Mega membuat pengambilan 50 data tersebut tidak mengganggu respon dari *QuadCopter* tersebut. Apabila dipilih model *sensor* yang berbeda yang *output* dari *sensor*

bukan tegangan melainkan semisal sejumlah *pulse* maka bisa jadi pengambilan 50 data tersebut mengganggu respon dari *QuadCopter*.



Gambar 24. Flowchart Proses Kontrol *QuadCopter*

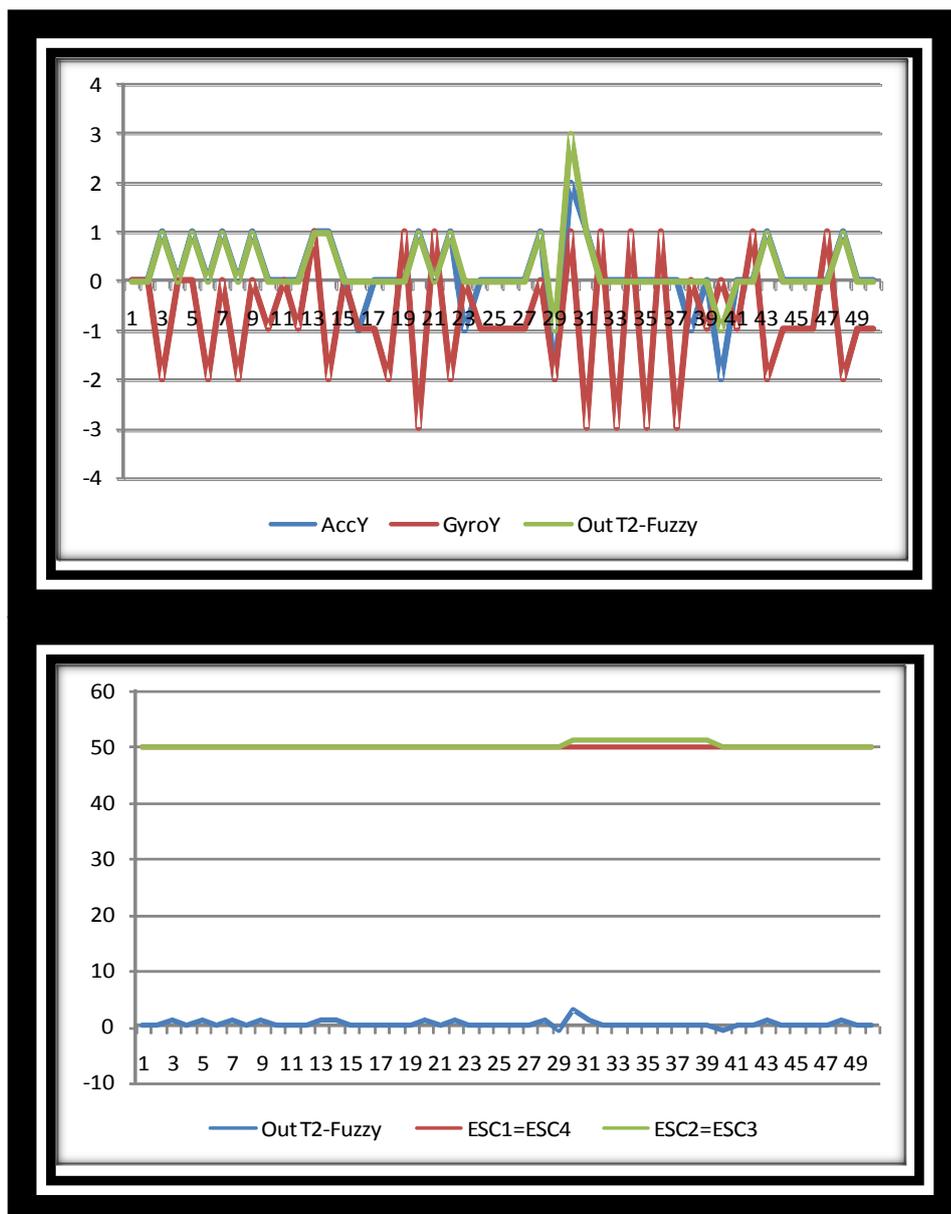
Selanjutnya dalam proses berulang, selalu dilakukan pengambilan 50 data yang diambil rata-ratanya dan dikurangi dengan data saat posisi *QuadCopter* kemiringan 0 derajat sebagai nilai *input* untuk sistem kontrol T2-Fuzzy. Setelah dilakukan proses perhitungan T2-Fuzzy, didapatkan hasil yang dikalikan dengan sebuah nilai *Gain* yang kemudian menjadi nilai kecepatan motor. Terus begitu berulang-ulang.

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian menggunakan *test bench* sangat aman. Sebelum menggunakan *test bench*, *QuadCopter* langsung dicoba diterbangkan secara otomatis. Namun, sesuai yang dikhawatirkan, *QuadCopter* terbang dan langsung oleng karena kontrol yang belum sempat merespon akibatnya 4 buah *propeller* dan *frame* rusak. Dan pada pengujian selanjutnya sudah menggunakan *test bench* dengan mengikat *QuadCopter* pada seutas tali/benang. Tujuan pengujian ini untuk melihat bagaimana kecepatan respon dari T2-Fuzzy dalam menyetabilkan posisi *QuadCopter* setelah mendapatkan sebuah gangguan/*disturbance*, dan menganalisis tingkat osilasi yang terjadi. Cara pengujian adalah dengan memberikan pulsa 50 ke ESC (berhenti pada pulsa di bawah 41, dan kecepatan maksimum pada pulsa 130). Dibiarkan stabil untuk mendapatkan data kedua *sensor* saat *QuadCopter* dalam keadaan stabil/rata dengan bidang datar. Kemudian salah satu sisi *QuadCopter* didorong ke atas atau ke bawah sesaat hingga membentuk kurang lebih sudut 45 derajat. Amati data yang dikirim *QuadCopter* ke komputer melalui *bluetooth*.

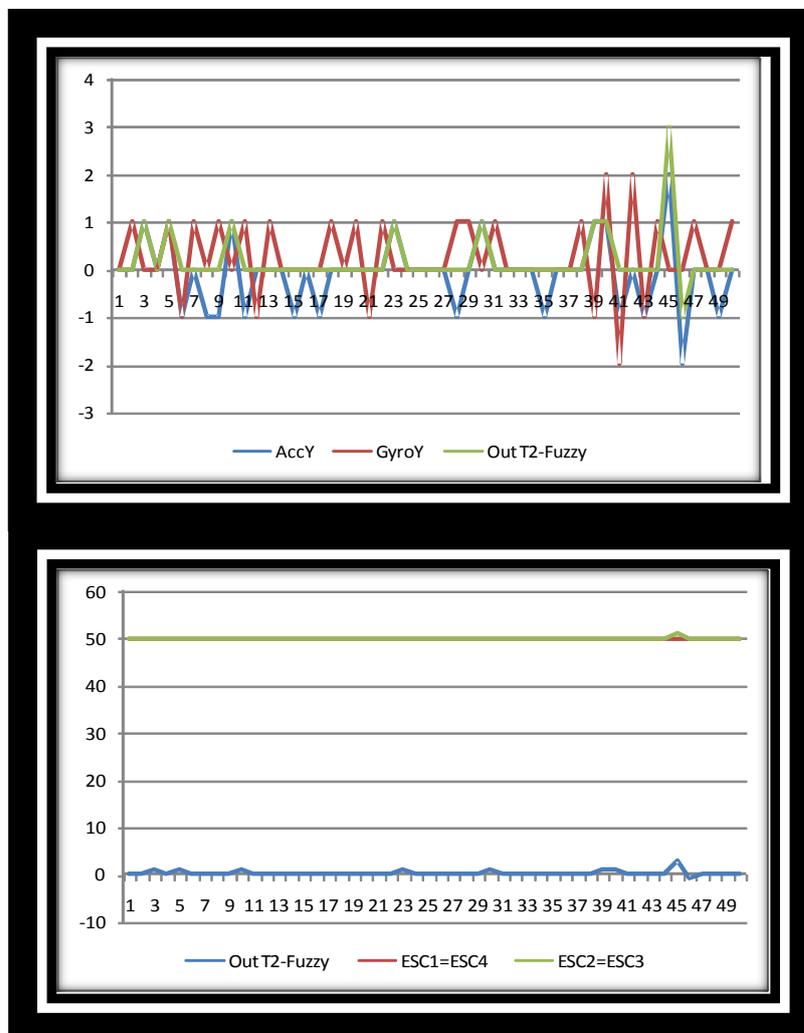
Pengujian pertama adalah menguji kontrol T2-Fuzzy saat *QuadCopter* terbang tanpa *disturbance*. Pengujian pertama ini dibuat 3 buah pengujian, yaitu pengujian dengan Gain = 0.3, dilanjutkan dengan Gain = 0.5, dan terakhir Gain = 1. Pada Gambar 25 dapat dilihat grafik atas menunjukkan data *sensor accelerometer* dan data *sensor gyroscope* serta data perhitungan T2-Fuzzy sebelum *disturbance*. Dapat dilihat beberapa data fluktuatif mengakibatkan data hasil perhitungan T2-Fuzzy juga berfluktuatif, namun ada juga ketika ada fluktuatif data menghasilkan data hasil perhitungan T2-Fuzzy bernilai stabil. Perubahan sudut kemiringan (*sensor accelerometer*) menyebabkan berubahnya hasil perhitungan T2-Fuzzy. Namun ketika terjadi perubahan kecepatan sudut tetapi tidak terjadi perubahan sudut kemiringan, maka tidak menyebabkan perubahan dari perhitungan T2-Fuzzy. Dapat dilihat dalam keadaan stabil pada

bidang datar saja, terdeteksi adanya perubahan kecepatan sudut *QuadCopter*, hal ini dikarenakan pengaruh getaran motor *brushless* dan *propeller*. Tidak berubahnya nilai hasil perhitungan T2-Fuzzy saat nilai kemiringan sudut juga tidak berubah dikarenakan saat desain *rule evaluations* T2-Fuzzy, parameter kemiringan sudut atau data *sensor accelerometer* lebih prioritas dibandingkan dengan parameter kecepatan sudut atau data *sensor gyroscope*.

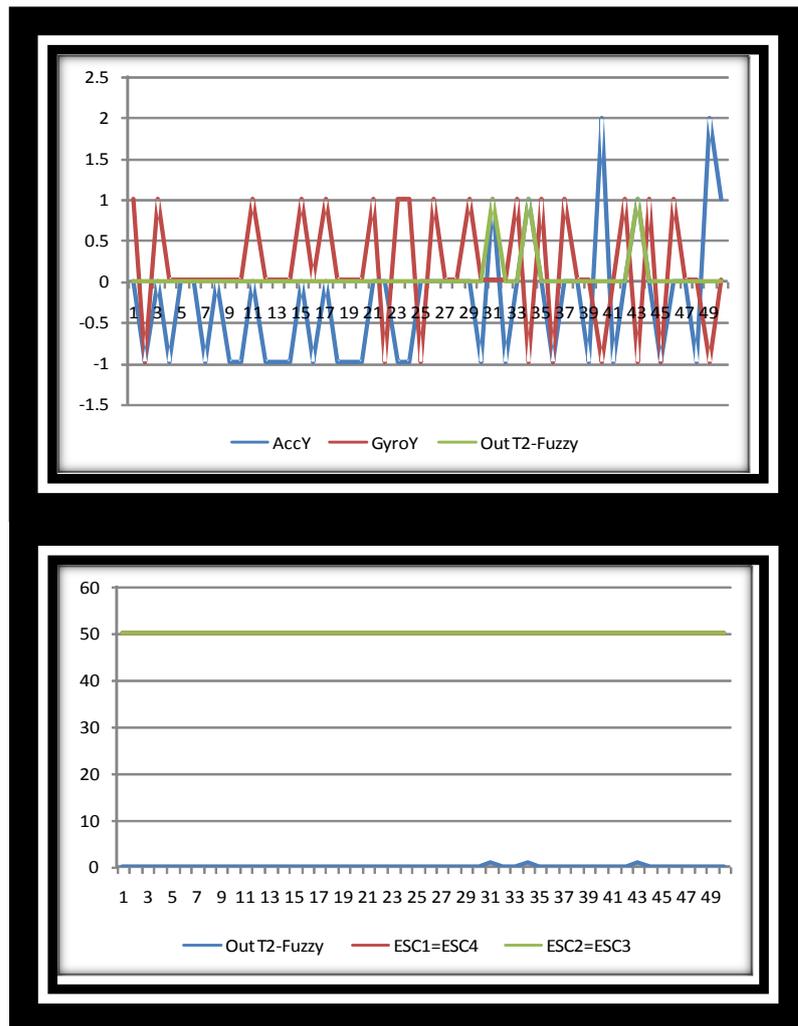


Gambar 25. Data *Sensor* dan Respon T2-Fuzzy Tanpa *Disturbance*, *Gain* 0.3

Pada gambar di bagian bawah dari Gambar 25, dapat dilihat meskipun hasil perhitungan T2-Fuzzy memberikan grafik *ripple* namun banyaknya pulsa yang diberikan ke ESC stabil di 50. Sedangkan pada Gambar 26, dapat dilihat grafik data *sensor* dan hasil perhitungan T2-Fuzzy serta besar pulsa yang diberikan ke ESC untuk tanpa *disturbance* dengan *Gain* 0.5. Dapat dilihat besar pulsa ESC tetap sebesar 50 dan lebih stabil dibanding dengan yang *Gain* 0.3 sebelumnya. Dan pada Gambar 27 dapat dilihat data *sensor*, hasil perhitungan T2-Fuzzy, dan besar pulsa ESC tanpa *disturbance* dengan *Gain* 0.8. Terlihat dengan *Gain* 0.8 menghasilkan besar pulsa yang lebih stabil.

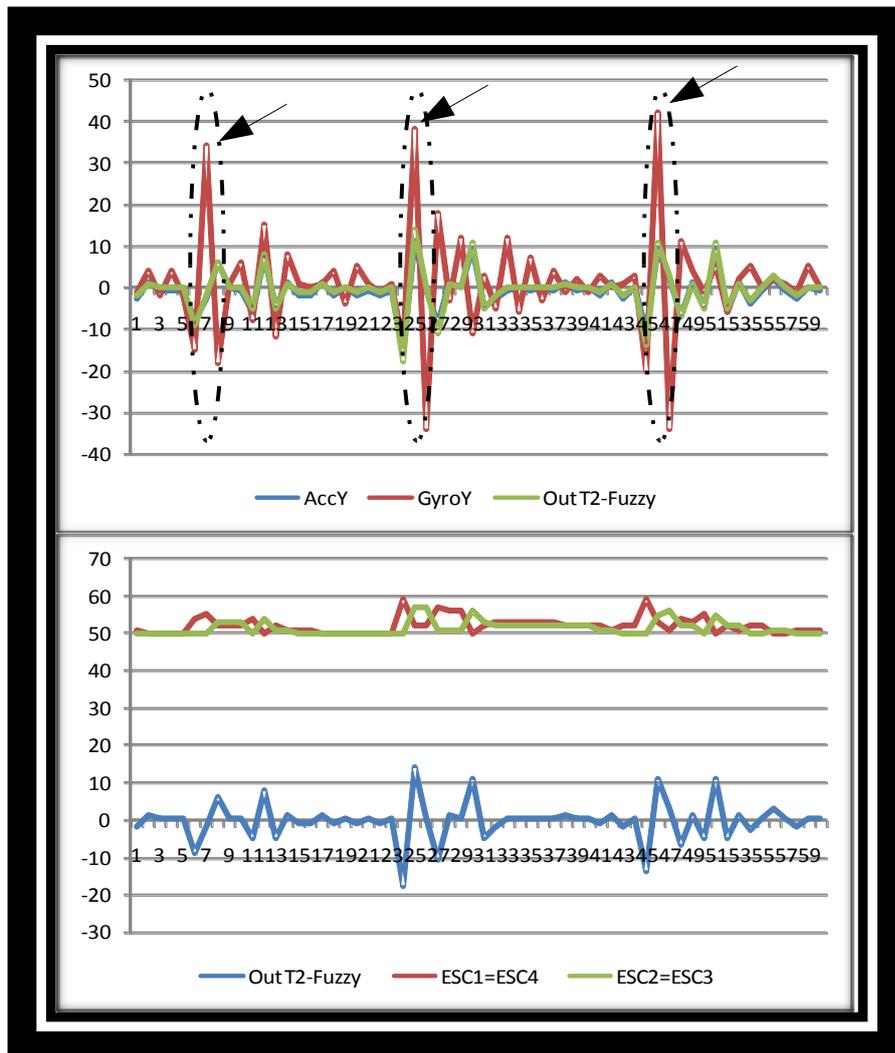


Gambar 26. Data *Sensor* dan Respon T2-Fuzzy Tanpa *Disturbance*, *Gain* 0.5



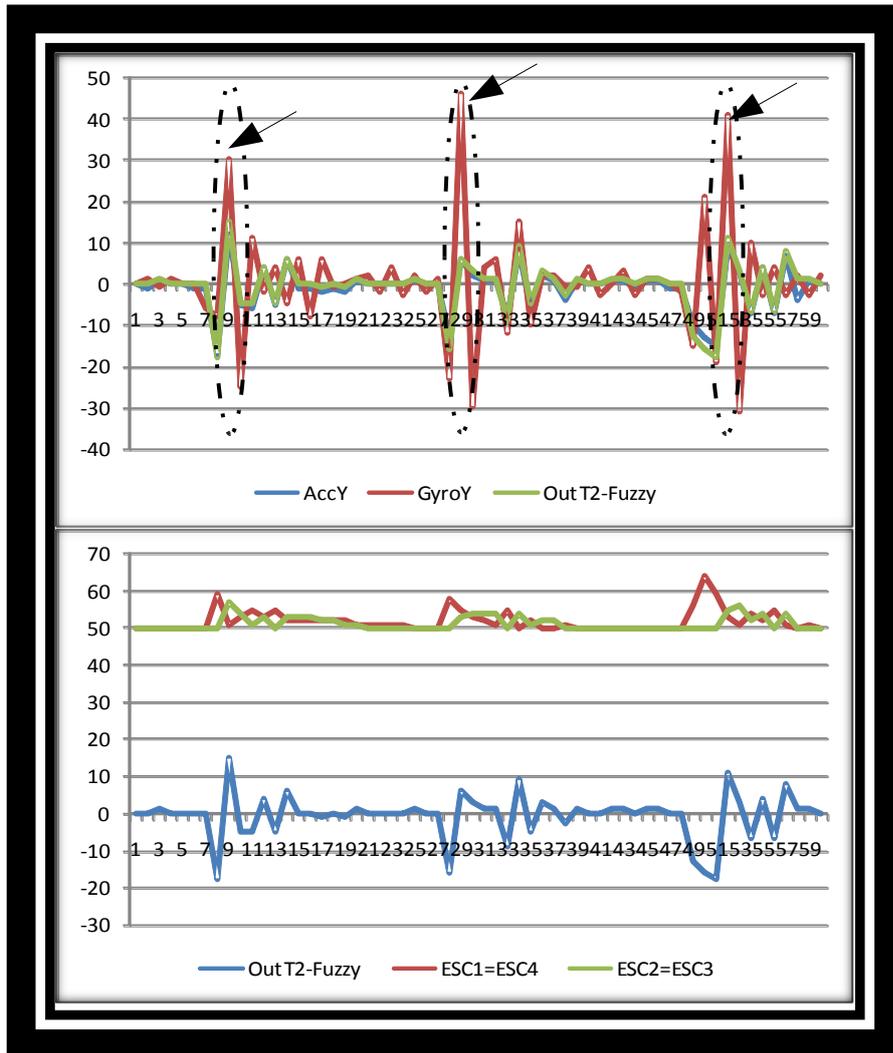
Gambar 27. Data *Sensor* dan Respon T2-Fuzzy Tanpa *Disturbance*, Gain 0.8

Setelah menguji kestabilan kontrol T2-Fuzzy tanpa diberi *disturbance* untuk mengetahui kemampuan T2-Fuzzy menyetabilkan *QuadCopter*, selanjutnya pengujian dilakukan dengan menambahkan *disturbance* tetap dengan menggunakan 3 besaran *Gain* untuk dibandingkan mana yang mempunyai osilasi terkecil. Pada Gambar 28 atas dapat dilihat bagian yang dilingkari hitam adalah saat pemberian *disturbance* dengan mendorong ke atas salah satu bagian sesaat. Terdapat 60 pengambilan data dengan beda pengambilan tiap 500 ms. Dapat dilihat juga osilasi terjadi sekitar 10 siklus diartikan baru stabil setelah 5 detik.

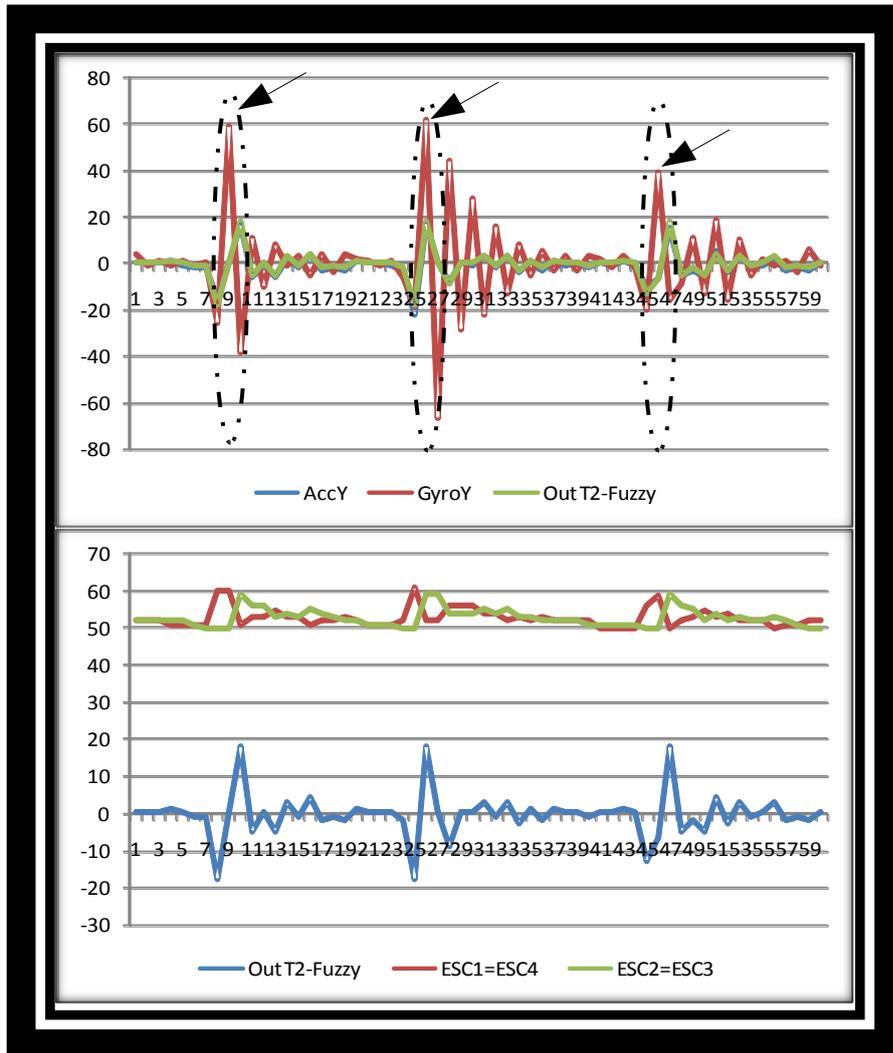


Gambar 28. Data Sensor dan Respon T2-Fuzzy dengan Disturbance, Gain 0.3

Selanjutnya pengujian dengan *disturbance* dan *Gain* 0.5 dapat dilihat pada Gambar 29. Pada *Gain* 0.5 ini terlihat tingkat osilasi lebih cepat distabilkan dibandingkan dengan yang menggunakan *Gain* 0.3. Sedangkan pada *Gain* 0.8, karena terlalu cepat merespon, maka osilasinya lebih besar dibandingkan dengan kedua *Gain* sebelumnya.



Gambar 29. Data Sensor dan Respon T2-Fuzzy dengan *Disturbance*, Gain 0.5



Gambar 30. Data *Sensor* dan Respon T2-Fuzzy dengan *Disturbance*, Gain 0.8

BAB 5. SIMPULAN DAN SARAN

Sebuah kontrol *board QuadCopter* berbasis sistem kontrol T2-Fuzzy berhasil dibuat. *Sensor* yang harus digunakan minimal sebanyak 2 buah yaitu *sensor accelerometer* dan *sensor gyroscope*. Dan pada penelitian ini masih menggunakan *test bench* berupa pengikatan *QuadCopter* dengan seutas tali demi keamanan peralatan *QuadCopter* yang ada. Dengan menggunakan model *test bench* tersebut, pengujian kestabilan masih pada 1 *axis* saja yang diujicoba pada kondisi tanpa *disturbance*, dan kondisi dengan *disturbance*. Selain itu, parameter *Gain* sangat berpengaruh pada waktu yang dibutuhkan untuk stabil. Pada penelitian ini diuji saat diberi *Gain* 0.3, 0.5, dan 0.8. *Gain* 0.5 memberikan respon terbaik, dibandingkan dengan *Gain* 0.3 dan *Gain* 0.8. Saran dari penelitian ini adalah harus didesain *test bench* atau ruangan khusus agar *QuadCopter* dapat diuji dalam 3 *axis* sekaligus.

DAFTAR PUSTAKA

1. J. Bjørn, M. Kjærgaard, *et all.* "Autonomous Hover Flight for a Quad Rotor Helicopter," Master's Tesis, AALBORG University, 2007.
2. J M B. Domingues, "Quadrotor Prototype," Dissertation, Universidade Tecnica de Lisboa, 2009.
3. V. Sikiric, "Control of Quadrocopter," Master Thesis, KTH Computer Science and Communication, Sweden, 2008.
4. L K. Burkamshaw, "Towards a Low-cost Quadrotor Research Platform," Thesis, Navl PostGraduate School, California, 2010.
5. Website, <http://www.hobbyking.com>
6. H. Wicaksono. "Fast Geometric T2-Fuzzy Based Improved Lower Extremities Stimulation Response", *Telkomnika: Indonesian Journal of Electrical Engineering*, ISSN: 1693-6930, e-ISSN: 2087-278X, Vol. 8, No. 3, December 2010: 207 – 216.

