

PENELITIAN KOLABORASI
DOSEN-MAHASISWA

LAPORAN PENELITIAN



**RANCANG BANGUN *QUADCOPTER* DILENGKAPI DENGAN
AUTOMATIC NAVIGATION GPS CONTROL DAN *CAMERA STABILIZER*
SEBAGAI ALAT BANTU *MONITORING LALU LINTAS*
DENGAN *LIVE STREAMING SYSTEM***

Oleh :

Dr. Fatchul Arifin, S.T., M.T.

Muslikhin, S.Pd., M.Pd.

Muhammad Izzuddin Mahali, S.Pd.T., M.Cs.

Muhammad Agus Satrio

Daniel Julianto

Akbar Aliyavi

NIP. 19720508 199802 1 002

NIP. 19850101 201404 1 001

NIP. 19841209 201504 1 001

NIM. 12507134024

NIM. 13502241024

NIM. 13502241012

No kontrak : 652.d.5/UN34.15/PL/2015

**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
2015**

Halaman Pengesahan



DEPARTEMEN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
FAKULTAS TEKNIK

Alamat: Karangmalang Yogyakarta 55281
Telp. 586168 pes. 292, 276, Telp & Fax: (0274) 586734



Certificate No. QSC 00592

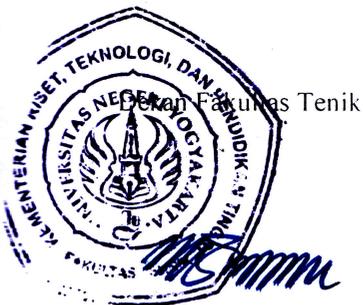
HALAMAN PENGESAHAN LAPORAN PENELITIAN

1. Judul : RANCANG BANGUN *QUADCOPTER* DILENGKAPI DENGAN *AUTOMATIC NAVIGATION GPS CONTROL* DAN *CAMERA STABILIZER* SEBAGAI ALAT BANTU MONITORING LALU LINTAS DENGAN *LIVE STREAMING SYSTEM*

2. Ketua Pelaksana Penelitian : Dr. Fatchul Arifin, S.T., M.T.
 - a. Tempat, Tanggal Lahir : Tulungagung, 8 Mei 1972
 - b. Jabatan Fungsional : Lektor
 - c. Program Studi : Pendidikan Teknik Elektronika
 - d. Jurusan : Pendidikan Teknik Elektronika
 - e. Alamat Rumah : Jl Bone Timur III No 34 B, RT 01 RW II,
: Banyuwangi, Banjarsari, Surakarta, Jawa Tengah.
: Griya Ketawang Permai L7, Mejing Lor,
 - f. Telpon/Faks/HP. : +6285725125326
 - g. e-mail : fatchul@uny.ac.id / fatchul.ar@gmail.com
 - h. Bidang Keahlian : Intelligent control System

3. Jenis Penelitian : Penelitian Kolaborasi Dosen-Mahasiswa
4. Jumlah Tim Peneliti : Ketua : 1 orang
: Anggota : 2 dosen, 3 Mahasiswa
5. Lokasi Penelitian : Jurusan Pendidikan Teknik elektronika
6. Biaya Yang Diperlukan :
 - a. Sumber dari Fakultas : Rp. 10.000.000,-
 - b. Sumber lain : Rp. -Jumlah : Rp. 10.000.000,- (Sepuluh Juta Rupiah)

Yogyakarta, 27 November 2015



(Dr. Moch. Bruri Triyono)
NIP. 19560216 198603 1 003

Peneliti

(Dr. Fatchul Arifin, M.T.)
NIP. 19720508 199802 1 002

Rancang Bangun *Quadcopter* Dilengkapi dengan *Automatic Navigation GPS Control* dan *Camera Stabilizer* sebagai Alat Bantu *Monitoring Lalu Lintas* dengan *Live Streaming System*

Fatchul Arifin¹, Muslikhin¹, M. Izzuddin Mahali², M. Agus Satrio³,
Daniel Julianto¹, Akbar Aliyavi¹

¹Program Studi Pendidikan Teknik Elektronika

²Program Studi Pendidikan Teknik Informatika

³Program Studi Teknik Elektronika

Fakultas Teknik, Universitas Negeri Yogyakarta

email: fatchul@uny.ac.id

Abstrak

Penelitian ini ditujukan untuk mengembangkan sistem pengambilan *aerial videography*. Dengan fokus penelitian untuk menemukan rancangan dan kinerja *quadcopter* untuk tujuan khusus alat bantu *monitoring* lalu lintas dengan *live streaming system*.

Penelitian ini termasuk penelitian riset dan pengembangan (R&D). Model pengembangan dilakukan menggunakan prinsip *Linier Sequential Model* (LSM) yang terdiri dari 6 tahapan yang berulang; dimulai dari a) tahap analisis dan studi literatur, b) desain dan perancangan, c) perakitan *hardware*, d) *coding*, e) tahap pengujian, dan f) teknik implementasi. Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini meliputi uji fungsional, uji camera stabilizer dan uji sistem secara menyeluruh.

Hasil uji coba *automatic navigation GPS Control* dan *camera stabilizer* pada *quadcopter* sebagai alat bantu monitoring dapat didesain menggunakan ArduPilot 6.0. Pemanfaatan algoritma *autonomous quadcopter* FSM (*finite state machine*) dan DCM-IMU mampu memberikan respon optimal dan minim getaran pada gimbal kamera. Kinerja *quadcopter* dilihat dari akurasi magnetometer memiliki persentase kesalahan 1,66%. *Quadcopter* mampu bermanuver dengan *pitch* (maks.) 89,5° dan *pitch* (min.) -89,5°, sedangkan untuk *roll* (maks.) 83,14° dan *roll* (min.) -83,10°.

Kata kunci: *quadcopter*, *live streaming system*, *autonomous quadcopter* FSM, DCM

Kata Pengantar

Puji syukur kehadiran Allah SWT sehingga atas berkat rahmat dan karunia-Nya, Laporan Penelitian Kolaborasi Dosen-Mahasiswa dengan judul “Rancang Bangun *Quadcopter* Dilengkapi Dengan *Automatic Navigation GPS Control* dan *Camera Stabilizer* sebagai Alat Bantu Monitoring Lalu Lintas Dengan *Live Streaming System*” dapat disusun sesuai dengan harapan.

Laporan Penelitian ini dapat diselesaikan tidak lepas dari bantuan dan kerjasama dengan pihak lain. Berkenaan dengan hal tersebut, penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada yang terhormat:

1. Bapak Dr. Mochamad Bruri Triyono M.Pd, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta.
2. Ketua Jurusan Pendidikan Teknik Elektronika Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta yang telah memberikan ijin,.
3. Seluruh Dosen dan staf yang ada di lingkungan Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta.
4. Semua pihak yang baik secara langsung maupun tidak langsung, tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu dalam penelitian dan selama penyusunan laporan penelitian ini

Semoga segala bantuan yang telah diberikan semua pihak di atas menjadi amalan yang bermanfaat dan mendapatkan balasan dari Tuhan Yang Maha Esa.

Kami peneliti menyadari tidak ada gading yang tidak retak. Oleh karena itu masukan dan kritik yang membangun dari para pembaca sangatlah kami harapkan.

Yogyakarta, 27 November 2015

Peneliti

(Dr. Fatchul Arifin, S.T., M.T.)
NIP. 19720508 199802 1 002

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan	ii
Abstrak.....	iii
Kata Pengantar.....	iv
Daftar Isi	v
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah	4
C. Tujuan Penelitian.....	4
D. Manfaat Penelitian.....	4
BAB II KAJIAN PUSTAKA.....	5
A. Kajian Teori tentang Proses Pengembangan Produk.....	5
1. <i>Quadcopter</i>	6
2. Sensor LSM9DS0.....	8
3. Ardupilot.....	9
4. Motor <i>Brushless</i>	11
5. GPS (<i>Global Positioning System</i>)	12
6. Radio Control	12
B. Kajian Teori tentang Produk yang dikembangkan	13
C. Kajian Hasil Penelitian yang Relevan	14
BAB III METODE PENELITIAN	16
A. Model Pengembangan	16
B. Prosedur Pengembangan	16
1. Analisis	16
2. Desain	16
3. Implementasi	18
4. Evaluasi	18
C. Teknik Pengumpulan Data	19
D. Teknik Analisis Data	19
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	20
A. Hasil Penelitian.....	20
1. Perancangan Kerangka	20
2. Motor dan Baling-Baling.....	21
3. Perancangan Elektronik.....	22
4. Rangkaian ESC dan BLDC	25
5. Algoritma <i>Autonomous</i>	26
B. Pembahasan	28
1. Analisis Sensor Akselerometer.....	28
2. Analisis Sensor <i>Gyroscope</i>	30
3. Analisis Sensor Magnetometer.....	32
4. Analisis AHRS	33
5. Analisis Pengambilan Gambar	36
BAB V SIMPULAN DAN SARAN.....	38
A. Simpulan.....	38
B. Saran	38
DAFTAR PUSTAKA	39

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Kisi-kisi instrumen uji kinerja	19
Tabel 2. Spesifikasi LIS3LV02DL	23
Tabel 3. Spesifikasi ITG3205	23
Tabel 4. Hasil Pengujian Magnetometer	31
Tabel 5. Data pengujian nilai <i>pitch axis, roll axis</i>	35
Tabel 6. Data hasil pengambilan <i>sample</i> video tanpa penstabil kamera	37
Tabel 7. Data hasil pengambilan <i>sample</i> video dengan pestabil kamera	54
Tabel 8. Masukan terkait penyajian.....	55
Tabel 9. Mata pelajaran yang dikembangkan dalam diseminasi	57
Tabel 10. Course yang dikembangkan dalam diseminasi	58
Tabel 11. Course yang terus dikembangkan	59
Tabel 10. Susunan Ketua dan Anggota Penelitian Hibah Pasca	70

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Keterkaitan penelitian selama tiga tahun.....	6
Gambar 3.	Model pengembangan desain produk multimedia menurut Rob Philips (1997)	18
Gambar 4.	Model pengembangan produk multimedia menurut W.Lee & Owens (2004)	18
Gambar 5.	Model desain penelitian dan pengembangan Borg dan Gall (1983:775)	19
Gambar 6.	Alur Penelitian Tahun Ke-3.....	35
Gambar 7.	Course (Mata Pelajaran) Hasil dari Pelatihan E-learning.....	45
Gambar 12.	Uji Kelayakan saat Diseminasi	48
Gambar 13.	Sub Indikator Kemenarikan dipelajari	49
Gambar 14.	Sub Indikator Kemudahan dipelajari	49
Gambar 15.	Sub Indikator Kemenarikan format	50
Gambar 16.	Sub Indikator Kejelasan Bahasa	50
Gambar 18.	Sub Indikator Kesesuaian Penjabaran Indikator	51
Gambar 19.	Sub Indikator Kebermanfaatan	52
Gambar 20.	Para Guru membaca Buku Pedoman Elearning SMK	72
Gambar 25.	Anggota Tim Peneliti memberi Materi Teknis Elearning.....	74

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Permasalahan lalu lintas di Indonesia merupakan sebuah permasalahan yang harus dikaji lebih mendalam. Permasalahan yang sering terjadi meliputi kecelakaan dan kemacetan. Tercatat dalam Badan Pusat Statistik bahwa jumlah kendaraan bermotor pada tahun 2013 meliputi mobil penumpang 11.484.514, bis 2.286.309, truk 5.615.494, dan sepeda motor 84.732.652. Dari data yang ada terlihat bahwa jumlah terbanyak kendaraan bermotor adalah sepeda motor. Hal juga berimbang dengan tingkat kecelakaan yang ada di Indonesia yang didominasi oleh kendaraan sepeda motor. Dalam koran Kompas dipaparkan bahwa angka-angka mengkhawatirkan, terlebih karena 70 persen kecelakaan di Indonesia melibatkan sepeda motor, kendaraan favorit masyarakat. Dalam gelaran Hari Perenungan Korban Kecelakaan Dunia alias World Day of Remembrance (WDOR) for Road Traffic Victims yang digelar di Jakarta, Minggu (16/11/2014), banyak pihak berdiskusi tentang dampak fatalitas kecelakaan tidak hanya berlaku individu tapi juga untuk masyarakat.

Berdasarkan data-data tersebut, ada beberapa faktor penyebab kecelakaan lalu lintas yaitu manusia, infrastruktur, kendaraan, dan alam. Faktor pertama, manusia. Banyak kecelakaan maupun kemacetan di jalan karena faktor kesadaran manusia yang rendah. Kedua, faktor infrastruktur. Masalah ini berkaitan dengan kesiapan prasarana yang biasanya dikelola negara. Mulai dari struktur, pagar pengaman, permukaan, penerangan jalan, dan minimnya rambu lalu lintas. Ketiga, faktor kendaraan. Hal ini terkait dengan kualitas keselamatan yang ditawarkan produsen sampai kelalaian konsumen dalam merawat kondisinya. Keempat, faktor alam. Hal ini diluar kemampuan manusia untuk mengaturnya, tetapi masih bisa dimanipulasi lewat desain atau struktur jalan yang ideal. Cuaca buruk, bencana alam, longsor, pohon tumbang, sampai banjir mengisi masalah pada faktor ini (www.kompas.com).

Permasalahan diatas merupakan hal yang kompleks jika tidak pikirkan solusi yang tepat dan akurat termasuk peran polisi merupakan hal yang sangat signifikan. Polisi lalu lintas adalah unsur pelaksana yang bertugas menyelenggarakan tugas kepolisian mencakup penjagaan, pengaturan, pengawalan dan patroli, pendidikan

masyarakat dan rekayasa lalu lintas, registrasi dan identifikasi pengemudi atau kendaraan bermotor, penyidikan kecelakaan lalu lintas dan penegakan hukum dalam bidang lalu lintas, guna memelihara keamanan, ketertiban dan kelancaran lalu lintas. Namun peran polisi dalam memonitor lalu lintas masih kurang efektif. Hal ini dibuktikan dengan keterlambatan dalam memperoleh informasi mengenai kecelakaan dan kemacetan lalu lintas.

UAV (*unmanned aerial vehicle*) secara umum dapat diartikan sebuah wahana udara jenis *fixed-wing*, *rotary-wing*, ataupun pesawat yang mampu mengudara pada jalur yang ditentukan tanpa kendali langsung oleh pilot. Berbagai macam penggunaan UAV yang sudah dilakukan oleh masyarakat. *Aerial photography* untuk pengambilan gambar melalui udara baik foto maupun video menggunakan UAV. Pemantauan terhadap lahan pertanian yang luas serta penggunaan UAV untuk penyebaran pupuk melalui udara. Pemanfaatan UAV pada pemantauan tanah dan keamanan pipa pada perusahaan minyak dan gas. Penggunaan UAV untuk pemantauan kepadatan lalu lintas oleh kepolisian. Kombinasi peralatan sudah banyak di terapkan pada UAV untuk menunjang berbagai macam kegiatan sesuai dengan peruntukannya. Sebuah kemajuan teknologi terbaru dari UAV dilengkapi perangkat pendukung yang memungkinkan wahana dapat sepenuhnya dikendalikan secara *autonomous*. Sistem *autonomous* UAV pada awalnya dikembangkan pada wahana dengan tipe *fixed-wing*. Sebuah *flight controller* digunakan sebagai pusat pengendalian dari sebuah wahana UAV yang dilengkapi dengan sistem algoritma untuk menggantikan pilot serta pembacaan sensor pendukung UAV.

Pada saat ini perkembangan sistem *autonomous* digunakan pada sistem wahana bertipe *rotary-wing*. Salah satu *jenis rotary-wing* yang berkembang saat ini adalah quadrotor atau *quadcopter*. *Quadcopter* merupakan pesawat yang memiliki empat buah motor yang dikendalikan secara terpisah satu sama lainnya. Pada perkembangannya *quadcopter* dirancang untuk kendaraan udara tanpa awak (yang dikendalikan jarak jauh oleh atau tanpa seorang pilot (*autopilot*)). Teknologi *quadcopter* diharapkan mampu meningkatkan daya angkat *payload* tanpa mengurangi efisiensi dari sebuah wahana udara. Sistem penggerak pada *quadcopter* menggunakan empat buah motor yang merupakan sinkronisasi antara dua buah motor yang berputar searah jarum jam dan dua buah motor yang berputar berlawanan dengan arah jarum jam. Dengan sistem tersebut *quadcopter* memiliki tantangan dalam segi kontrol yang menarik kalangan industri maupun universitas

untuk mengembangkan sistem tersebut. Salah satunya adalah dengan menggunakan teknologi GPS (*global positioning system*) sebuah *quadcopter* diharapkan mampu mempertahankan posisi pada koordinat yang ditentukan, sehingga dengan adanya teknologi tersebut *quadcopter* dapat diimplementasikan untuk berbagai bidang antara lain, inspeksi pada BTS, *aerial photography*, pemetaan, dan pemantauan udara.

Aerial photography atau foto udara pada perkembangan sekarang ini banyak sekali dimanfaatkan untuk berbagai macam kebutuhan untuk keperluan *survey*, pemetaan, penggunaan tata ruang atau pertanian. Selain itu juga sudah perkembangan *aerial videography* juga mulai marak. Kebutuhan *aerial videography* biasanya dimanfaatkan untuk pembuatan film, dokumentasi, profil wilayah ataupun pemanfaatan *survey* dalam bentuk gambar bergerak (*video*). Cara klasik *Aerial Videography* yang sudah pernah dilakukan adalah menggunakan pesawat ataupun helikopter. Penggunaan Pesawat ataupun helikopter untuk kegiatan tersebut membutuhkan biaya mahal. Pemanfaatan *quadcopter* untuk *aerial videography* merupakan solusi murah pengambilan video udara.

Video merupakan gabungan dari citra (*frame*) tunggal yang dilihat secara berurutan dalam waktu dan kecepatan tertentu, dengan satuan yang disebut *fps* (*frame per second*). Hasil rekaman video yang baik adalah apabila kestabilan pengambilan gambar terjaga, sehingga hasil video tidak goyang ataupun tidak berubah posisi secara cepat. Proses pengambilan gambar menjadi sebuah video jangan sampai terjadi perubahan posisi kamera secara cepat hal ini akan mengakibatkan gambar yang di hasilkan menjadi tidak baik, dari segi penonton perubahan gambar secara tiba mendadak dalam video dapat menyebabkan pusing.

Berdasarkan pemaparan diatas penulis memiliki sebuah gagasan tentang “Rancangbangun *Quadcopter* dilengkapi dengan *Automatic Navigation GPS Control* dan *Camera Stabilizer* sebagai Alat Bantu *Monitoring* Lalu Lintas dengan *Live Streaming System*”. Alat ini menggunakan *quadcopter* sebagai alat pengintai via udara yang hasilnya dapat diakses melalui web secara *live streaming system*. Alat ini juga dilengkapi dengan *automatic navigation system* menggunakan GPS sehingga mempermudah dalam pengontrolan. Penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan monitoring lalu lintas sehingga akan mempermudah tugas polisi.

B. Rumusan Masalah

Berbagai permasalahan yang timbul dalam sistem pengambilan *aerial videography* tersebut, dapat dirumuskan permasalahan penelitian sebagai berikut :

1. Bagaimana merancang dan membuat *Automatic Navigation GPS Control* dan *Camera Stabilizer* pada *Quadcopter* sebagai Alat Bantu *Monitoring* Lalu Lintas dengan *Live Streaming System* ?
2. Bagaimana kinerja *Automatic Navigation GPS Control* dan *Camera Stabilizer* pada *Quadcopter* sebagai Alat Bantu *Monitoring* Lalu Lintas dengan *Live Streaming System* ?

C. Tujuan Penelitian

Tujuan yang dicapai dalam penelitian ini adalah :

1. Dapat merancang dan membuat *Quadcopter* yang dilengkapi dengan *Automatic Navigation GPS Control* dan *Camera Stabilizer* sebagai Alat Bantu *Monitoring* Lalu Lintas dengan *Live Streaming System*.
2. Mengetahui kinerja *Quadcopter* yang dilengkapi dengan *Automatic Navigation GPS Control* dan *Camera Stabilizer* sebagai Alat Bantu *Monitoring* Lalu Lintas dengan *Live Streaming System*.

D. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini yang diharapkan adalah:

1. Bagi Peneliti
 - a. Dapat dilanjutkan sebagai jurnal untuk penelitian ke depan.
 - b. Dapat mengaplikasikan kemampuan akademik terutama bidang elektronika yang diperoleh untuk dikembangkan lebih lanjut.
2. Bagi Polisi
 - a. Memberikan solusi mudah dalam pengontrolan kondisi lalu lintas.
 - b. Memberikan kemudahan dalam hal penggunaan karena *automatic navigation*.
3. Bagi Pemerintah
 - a. Sebagai solusi untuk mempermudah peningkatan *monitoring* lalu lintas.
 - b. Sebagai alat siap pakai dalam meningkatkan *monitoring* lalu lintas.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

A. Kajian Teori tentang Proses Pengembangan Produk

Navigasi atau panduan arah merupakan teknik untuk membaca kedudukan (posisi) dan arah benda terhadap konsidi sekitarnya. Untuk melihat posisi dari suatu benda kita dapat menggunakan posisi dari benda yang lainnya. *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) atau kendaraan udara tanpa awak merupakan perkembangan teknologi yang memiliki potensi sangat besar untuk berbagai macam keperluan, baik untuk militer maupun untuk kepentingan sipil. Keuntungan dari penggunaan UAV adalah dapat digunakan untuk berbagaimacam misi-misi dengan resiko bahaya besar sehingga dapat mengurangi resiko pilot/manusia.

Pada permulaannya UAV dikembangkan oleh militer untuk berbagai macam operasi rahasia dan berbahaya. Namun seiring perkembangan teknologi dan perkembangan ilmu pengetahuan menuntut peneliti turut serta menggunakan UAV untuk berbagaimacam bidang penelitian yang mereka butuhkan sesuai dengan fungsi. Beberapa aplikasi yang merupakan implementasi dari UAV adalah untuk kebutuhan fotografi, survey, monitoring, pencarian sesuai, pemantauan lahan, dan keperluan lainnya. UAV sering digunakan untuk melakukan pekerjaan yang memiliki resiko tinggi.

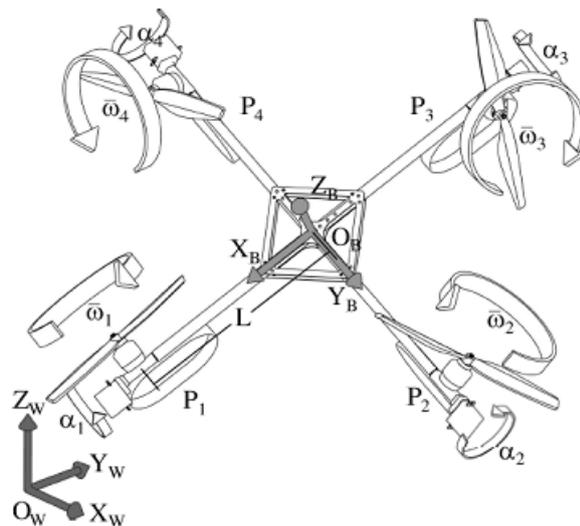
Seperti halnya kendaraan pada umumnya UAV juga membutuhkan pembacaan kondisi dan posisi dari lingkungan sekitarnya. Oleh karena itu UAV membutuhkan sistem navigasi untuk mengetahui kondisi sekitar dengan berbagaimacam sensor. Penggunaan sistem navigasi pada UAV tidak diletakkan pada bagian dalam UAV melainkan dikirimkan melalui pusat kendali dari UAV tersebut.

UAV pada umumnya digunakan untuk berbagaimacam operasi berbahaya yang apabila dilakukan oleh pesawat berawak akan membahayakan penumpang maupun pilot pesawat tersebut. Beberapa UAV sudah dilengkapi dengan berbagai senjata yang digunakan untuk kawasan perang, seperti Predator RQ-1 yang telah dapat melakukan serangan ke target-target di darat, bahkan kendaraan ini mampu melakukan serangan yang tertuju pada pesawat lain di udara.

1. *Quadcopter*

Quadcopter merupakan pesawat multirotor/multiwing yang memiliki rotor sejumlah 4 buah yang memiliki gerakan lebih leluasa dibandingkan dengan helicopter dengan 2 buah rotor. Terdapat empat gerakan dasar pada *quadcopter* yaitu gerakan altitude (*throttle*), gerakan sudut (*roll, pitch*), dan gerakan sudut *yaw*.

Gerakan *throttle* merupakan gerak translasi *quadcopter* sepanjang sumbu-z, Gerakan ini dipengaruhi oleh perubahan kecepatan keempat rotor dengan nilai kecepatan putaran yang sama. Dengan pergerakan *throttle*, *quadcopter* akan dapat melakukan akselerasi naik atau turun sesuai dengan tingkat kecepatan rotor. Gerakan *roll* merupakan gerakan rotasi pada sumbu-x, gerakan ini dipengaruhi oleh perubahan kecepatan rotor kanan dan kiri. Gerakan *pitch* merupakan gerakan rotasi pada sumbu-y, gerakan ini dipengaruhi oleh perubahan kecepatan pada motor depan dan belakang, sedangkan *yaw* merupakan gerakan rotasi pada sumbu z.

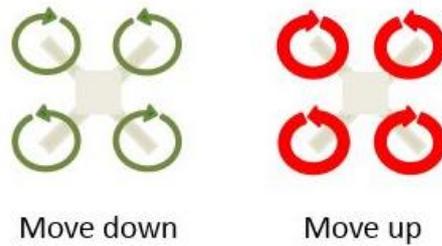


Gambar 1. Gerak sudut *Quadcopter*

Pola terbang *quadcopter* untuk manuver atau bergerak mempunyai aturan khusus berdasarkan pergerakan rotor pada keempat sisinya

1) *Throttle*

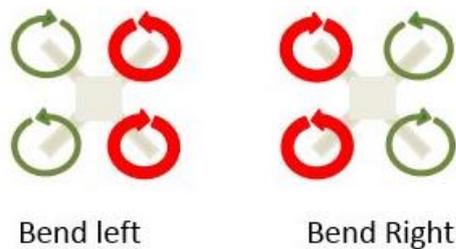
Gerak menaik atau menurunkan ketinggian dengan mengatur kecepatan keempat rotor sama besar. *Quadcopter* akan bergerak searah sumbu-z dengan mengacu pada koordinat *quadcopter*. Arah putar masing-masing rotor seperti pada gambar 2.



Gambar 2. Gerak Throttle

2) *Roll*

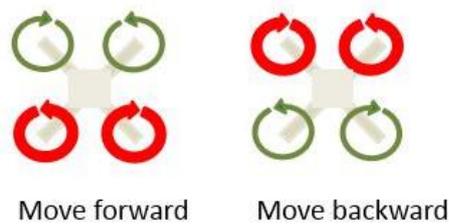
Gerak manuver kesamping dengan cara meningkatkan kecepatan putar bagian kiri atau kanan *quadcopter* dengan bersamaan. Gambar 3 adalah ilustrasi gerakan *roll* pada gerak rotasi *quadcopter*



Gambar 3. Gerak *roll*

3) *Pitch*

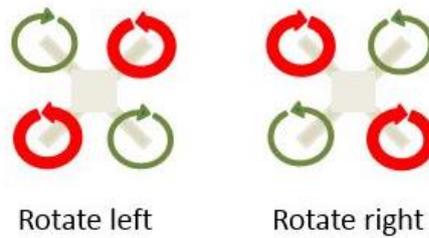
Gerak *pitch* hampir sama dengan gerak *roll*. Penerapan *pitch* pada manuver *quadcopter* adalah dengan meningkatkan atau menurunkan kecepatan putar rotor bagian depan atau belakang secara bersama dan kecepatan sama. Gambar 4 adalah ilustrasi gerakan *pitch*.



Gambar 4. Gerak *Pitch*

4) *Yaw*

Gerakan *yaw* dilakukan dengan cara meningkatkan kecepatan putar rotor dengan posisi bersilangan secara bersama-sama. Tujuan gerak ini adalah mendapatkan manuver *quadcopter* berputar searah atau berlawanan jarum jam. Pada gambar 5 merupakan ilustrasi untuk gerak *yaw* pada *quadcopter*.



Gambar 5. Gerak yaw

2. Sensor LSM9DS0

Accelerometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur percepatan, mendeteksi dan mengukur getaran (vibrasi), dan mengukur percepatan akibat gravitasi. Sensor accelerometer mengukur percepatan dari 3 sumbu gerakan akibat gerakan benda yang melekat padanya. Percepatan merupakan suatu keadaan berubahnya kecepatan terhadap waktu. Bertambahnya suatu kecepatan dalam suatu rentang waktu disebut juga percepatan (*acceleration*). Jika kecepatan semakin berkurang dari pada kecepatan sebelumnya, disebut deceleration. Percepatan juga bergantung pada arah/orientasi karena merupakan penurunan kecepatan yang merupakan besaran vektor. Berubahnya arah pergerakan suatu benda akan menimbulkan percepatan pula.

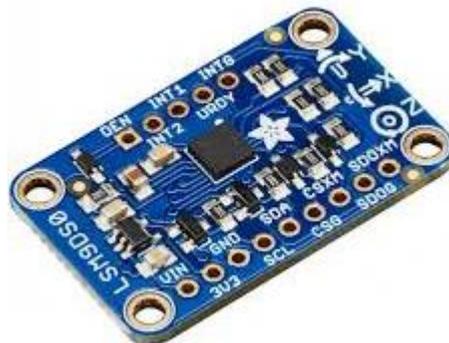
Gyroscope adalah suatu alat berupa sensor *gyro* untuk menentukan orientasi gerak dengan bertumpu pada roda atau cakram yang berotasi dengan cepat pada sumbu. *Gyroscope* memiliki output yang peka terhadap kecepatan sudut dari arah sumbu x yang nantinya akan menjadi sudut phi (*roll*), dari sumbu y nantinya menjadi sudut theta (*pitch*), dan sumbu z nantinya menjadi sudut psi (*yaw*). Penggunaan *gyroscope* dalam kehidupan sehari belum banyak. *Gyroscope* lazimnya digunakan pada pesawat terbang, kapal, helikopter, dan lainnya. Hal tersebut untuk mengurangi getaran yang ditimbulkan mesin agar keseimbangan tidak goyah. *Gyroscope* baru-baru ini juga diterapkan pada mainan helikopter dengan tujuan menyeimbangkan saat diterbangkan.

Kompas adalah alat navigasi untuk menentukan arah berupa sebuah panah penunjuk magnetis yang bebas menyelaraskan dirinya dengan medan magnet bumi secara akurat. Kompas memberikan rujukan arah tertentu, sehingga sangat membantu dalam bidang navigasi. Arah mata yang ditunjuknya adalah utara, selatan, timur, dan barat. Apabila digunakan bersama-sama dengan jam dan sekstan, maka kompas akan lebih akurat dalam menunjukkan arah. Alat ini membantu perkembangan perdagangan maritime dengan membuat perjalanan

jauh lebih aman dan efisien dibandingkan saat manusia masih berpedoman pada kedudukan bintang untuk menentukan arah.

Kompas dibedakan menjadi dua jenis, yaitu kompas analog dan kompas digital. Kompas analog adalah kompas yang biasa kita lihat dalam kehidupan sehari-hari. Misalnya saja kompas yang dipakai ketika acara pramuka. Sedangkan kompas digital merupakan kompas yang telah menggunakan proses digitalisasi. Dengan kata lain, cara kerja kompas ini menggunakan komputerisasi.

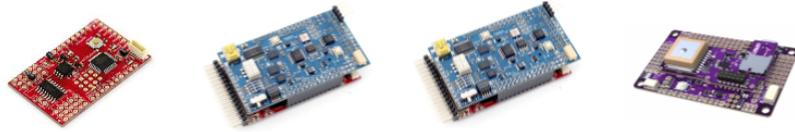
LSM9DS0 adalah sebuah sensor dengan fasilitas 3 axis accelerometer, gyrometer dan megnetometer. Sensor LSM9DS0 mendukung berbagai pengukuran skala accelerometer dengan kemampuan pengaturan ± 2 , 4, 6, 8, atau 16g. Sedangkan Gyrometer mendukung ± 245 , 500, dan $2000^0/s$. Untuk magnetometer memiliki rentang skala penuh ± 2 , 4, 8, atau 12 gauss. Selain itu LSM9DS0 memiliki komunikasi dengan dunia luar menggunakan jalur serial bus I2C dan SPI. Gambar 6 adalah bentuk fisik dari sensor LSM9DS0.



Gambar 6. Sensor LSM9DS0

3. Ardupilot

Ardupilot adalah proyek autopilot berbasis platform open-source Arduino. Terdapat pilihan Ardupilot Mega (APM) untuk perangkat keras elektroniknya dan versi perangkat lunak untuk kendaraan yang berbeda. Spesifikasi APM dapat dilihat pada gambar 7.



Autopilot	ArduPilot (aka "Legacy")	ArduPilotMega APM 1 – 1280	ArduPilotMega APM 1 – 2560	ArduPilotMega APM 2
Date of introduction	Q1 2009	Q1 2010	Q1 2011	Q4 2011
Status	Discontinued	Discontinued	Active	Active
Processors	atmega 328, attiny	atmega 1280, atmega 328	atmega 2560, atmega 328	atmega 2560, atmega 32u2, MPU-6000 DMP processor
Onboard sensors	None. External: Thermopiles or optional ArduIMU	3-axis gyro, 3-axis accel, baro, optional mag	3-axis gyro, 3-axis accel, baro, optional mag	6-axis MPU6000 (gyro+accel), baro, mag, GPS
Datalogging memory	None	2MB	2MB	4MB
Size	30x50x30mm	40x72x20mm	40x72x20mm	40x65x10mm
Assembly required	Lots!	Some soldering	Some soldering	None!

Gambar 7. Spesifikasi ArduPilot

Ardupilot Mega adalah produk yang dikembangkan oleh Chris Anderson dan Jordi Munoz dari DIY Drones. Modul ini berbasis open-source paling berkembang untuk modul autopilot. Baik autopilot untuk pesawat (Arduplane), Multicopter (Arducopter) dan juga kendaraan darat (Ardurover). Modul ini menggunakan mikrokontroler Arduino yang sangat populer di bidang instrumentasi. Oleh karena itu *multicopter* yang menggunakan modul ini sering juga disebut Arducopter.

Perangkat keras APM akan tetap sama untuk semua tipe pesawat dan dibedakan berdasarkan *firmware* yang ditanamkan sesuai dengan tipe pesawat yang digunakan menggunakan via *mission planner*. Untuk meningkatkan performa pesawat secara spesifik, dapat ditambahkan sensor lain seperti sensor airspeed atau magnetometer untuk multicopter.

Ardupilot Mega terdiri dari dua sistem board, antara lain:

- a. *Main processor board*, yang menggunakan prosesor ATmega 2560 dan ATmega328 sebagai pendukung prosesor yang digunakan sebagai *interface* untuk RC
- a. *Shield board* yang diletakkan palign atas, yang memiliki beragam sensor dari *gyroscope* dan tekanan, kesemua ini berintegrasi menjadi satu kesatuan IMU. Fitur yang terdapat pada APM antara lain: a) *firmware open source* gratis yang mendukung pengendalian pesawat, *multicopter* (quad, hex, oct,

dll) helicopter dan *ground rover.*, b) proses setup yang mudah. Apabila ingin merubah kode program di dalamnya dapat digunakan *software* Arduino, c) dapat membuat *script* misi terbang yang diinginkan., d) dapat mendukung ratusan *way point* secara 3D, e) telemetri dua arah dan perintah *in-flight* menggunakan protocol MAVLink, f) pilihan *ground station* gratis digunakan, g) dapat melakukan *autonomous take off, landing* dan beberapa perintah khusus seperti kontrol kamera dan video, h) mendukung simulasi *hardware in the loop* menggunakan Xplane dan *flight gear*.

4. Motor *Brushless*

Brushless direct current (BLDC) adalah salah satu dari sekian jenis motor yang umum digunakan. Sesuai dengan namanya, BLDC motor tidak menggunakan sikat arau *brush* untuk kontak pergantian magnet (komunikasi) tetapi dilakukan secara komutasi elektronik. Penggunaan motor BLDC memiliki banyak keuntungan dibandingkan motor DC dan motor induksi lainnya. Keuntungannya antara lain; a) kecepatan yang lebih baik untuk melawan karakteristik tenaga putaran, b) tanggapan dinamis tinggi, c) efisiensi tinggi, d) tahan lama, e) nyaris tanpa suara, f) *speed range* yang lebih luas.

Sebagai tambahan perbandingan tenaga putaran lebih besar dibandingkan dengan ukuran motornya. Dengan ukuran motor yang relatif kecil dapat menghasilkan torsi cukup besar. Jadi penggunaan motor BLDC sangat bermanfaat bila digunakan pada aplikasi kritis terhadap beban dan tempat pemasangan.

Motor BLDC termasuk suatu jenis motor sinkron yang artinya medan magnet yang dihasilkan oleh strator dan medan magnet yang dihasilkan oleh rotor berputar di frekuensi yang sama. Motor BLDC tidak mengalami slip, tidak seperti yang terjadi pada motor induksi biasa. Motor BLDC adalah motor DC tiga fasa yang ter-supply pada setiap saat sementara satu fasa lainnya tak tersupply. Fenomena ini mengakibatkan motor ini seperti motor DC, karena arus yang mengalir pada kumparan stator mirip dengan motor DC meskipun motor ini sebenarnya tercatu dengan arus tiga fasa. Spesifikasi dari motor BLDC RC Timer 1000Kv yang ada pada Gambar 8.



Gambar 8. *Brushless Motor*

5. GPS (*Global Positioning System*)

Global Positioning System (GPS) merupakan sistem radio navigasi dan penentuan posisi menggunakan satelit, dengan nama resminya NAVSTAR GPS (*Navigation Satellite Timing and Ranging Global Positioning System*). GPS dikembangkan pertama kali oleh Departemen Pertahanan Amerika Serikat pada tahun 1978 dan secara resmi GPS dinyatakan operasional 3 pada tahun 1994. Pada awalnya GPS digunakan hanya untuk kepentingan militer Amerika Serikat, tetapi kemudian dapat dimanfaatkan juga untuk kepentingan sipil. Ada beberapa karakteristik yang menjadikan GPS menarik untuk digunakan yaitu dapat digunakan setiap saat tanpa tergantung waktu dan cuaca, posisi yang dihasilkan mengacu pada suatu datum global, pengoperasian alat receiver relatif mudah, relatif tidak terpengaruh dengan kondisi topografis, dan ketelitian yang dihasilkan dapat diandalkan (Abidin,H.Z, 2007).

6. Radio Control

Untuk mengendalikan sebuah benda dari jarak yang cukup jauh dibutuhkan sebuah alat bantu. Turnigy 9X merupakan salah satu produk pengendalian secara jarak jauh. Radio control ini merupakan media untuk melakukan kontrol jarak jauh guna mengendalikan *hardware* yang jaraknya jauh dari pengguna. Radio control Turnigy 9X merupakan salah satu radio *transmitter-receiver* yang bekerja pada frekuensi 2,4Ghz, pemilihan frekuensi ini dikarenakan frekuensi ini bebas digunakan. Radio receiver merupakan perangkat yang digunakan untuk menerima sinyal dari radio transmitter yang dikendalikan oleh pilot.

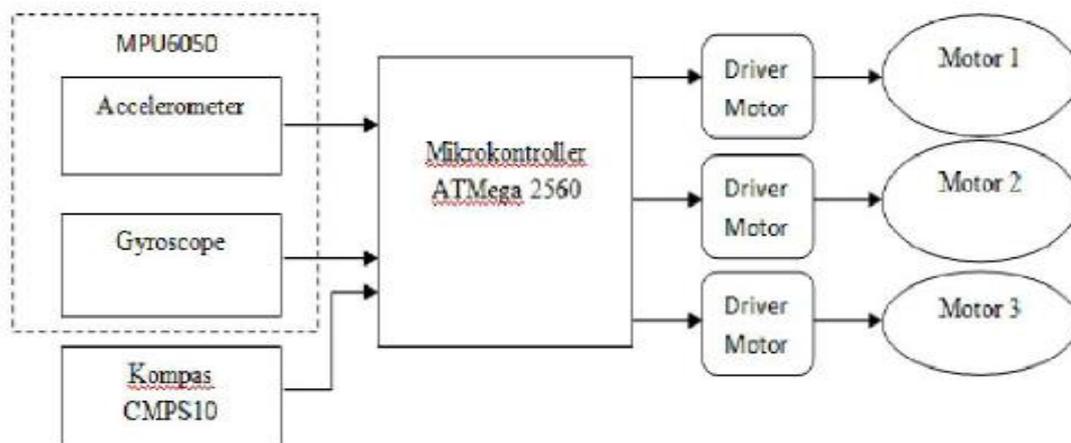
Radio transmitter mengirimkan sinyal-sinyal sesuai dengan posisi-posisi dari setiap kanal. Keluaran radio receiver dapat langsung digunakan untuk

mengendalikan servo dan ESC karena sinyalnya merupakan sinyal standar dalam dunia RC. Keluaran RC *receiver* dihubungkan dengan perangkat modul mikrokontroler agar dapat digunakan untuk mengatur gerakan-gerakan *Quadcopter* pada saat terbang secara manual. Turnigy 9X dilengkapi dengan 8ch ppm/9ch pcm dan display 128X64 mm LCD. Bentuk dari Turnigy 9X ditunjukkan pada Gambar 9.



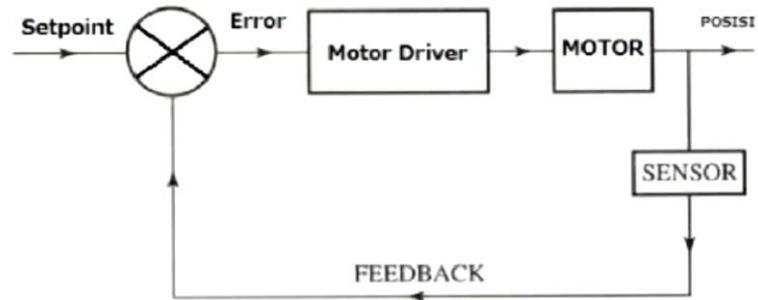
Gambar 9. Radio *transmitter/receiver* Turnigy 9X

B. Kajian Teori tentang Produk yang dikembangkan



Gambar 10. Blok diagram pengendali rotor *quadcopter*

Blok diagram Gambar 10 dapat kita lihat bahwa pergerakan ketiga buah motor akan dikontrol oleh 2 buah sensor, yaitu MPU6050 yang terdiri dari accelerometer dan *gyroscope* serta CMPS10 yang merupakan kompas digital. Perubahan posisi dan kemiringan yang terdeteksi oleh kedua buah sensor ini akan diolah oleh mikrokontroler untuk selanjutnya menjadi parameter untuk menggerakkan 3 buah motor ke posisi tertentu, sehingga posisi kamera akan tetap stabil.



Gambar 11. Skema *close loop sistem*

Secara umum, cara kerja sistem penstabil kamera ini akan menggunakan sistem kendali close loop. Ilustrasi sistem dapat dilihat pada gambar 11. Output yang diharapkan dari sistem ini adalah kestabilan posisi dalam 3 axis. Kestabilan posisi didapat dari pembacaan posisi oleh sensor-sensor MPU6050 dan CMPS10. Setpoint merupakan inialisasi posisi awal yang akan distabilkan untuk masing-masing axis, posisi ini selanjutnya akan dipertahankan oleh sistem. Motor driver berfungsi sebagai antarmuka antara pengendali mikrokontroler dengan motor yang akan dikendalikan, motor driver yang digunakan sendiri adalah IC L6234. Sedangkan motor merupakan komponen penggerak yang akan bergerak dan bertahan di posisi setpoint yang ditentukan. Motor yang digunakan disini adalah brushless DC motor.

Jika setpoint sudah ditentukan, sensor setiap saat akan mendeteksi apakah posisi sesuai dengan nilai *set point*. Jika sesuai, maka feedback yang dikirimkan tidak akan memiliki error dan *mikrokontroler* akan menahan motor pada posisi tersebut. Jika terjadi ketidaksesuaian, sensor akan mendeteksi dan mengirimkan *feedback* yang berisi besar *error* yang terjadi. *Feedback* ini akan masuk dan diproses oleh mikrokontroler. Lalu, mikrokontroler ini akan memerintahkan motor bergerak sesuai dengan kalkulasi *feedback* yang dikirimkan hingga posisi setpoint kembali tercapai.

C. Kajian Hasil Penelitian yang Relevan

Penelitian yang dilakukan oleh Rosario (2014) Sistem Navigasi Ruang *Quadcopter* Dengan Menggunakan Sensor *Ultrasonic* ini memanfaatkan sensor *ultrasonic* untuk membaca jarak dari *quadcopter*. *Quadcopter* memanfaatkan kontroler PID yang tertanam pada modul ardupilot untuk mengatur kesetabilan dan memonitoring *quadcopter*. Ardupilot mengirim informasi pada mikrokontroler ARM STM32F4, dimana ARM STM32F4 akan memproses hasil pembacaan dari sensor

dari modul ardupilot selanjutnya mikrokontroler akan melakukan kalkulasi untuk memberi data hasil navigasi *quadcopter* untuk ditampilkan pada komputer. Hasil dari penelitian tugas akhir tersebut membuktikan bahwa perpindahan posisi *Quadcopter* saat terbang memiliki selisih error rata-rata vektor X sebesar 0,072% , dan error rata-rata vektor Y sebesar 0,426% disaat mendarat.

Penelitian yang dilakukan oleh Yusuf 2014 dengan judul Perancangan dan Implementasi Kontroler PID untuk Autonomous Moving *Forward Manuver* pada *Quadcopter*. Dalam perancangan sistem, set point yang ditentukan untuk sudut *roll* dan *yaw* adalah 0, *set point* ketinggian adalah 2 meter, dan setpoint sudut *pitch* adalah 0,5 derajat. Masukan pada sistem ini adalah kecepatan putar setiap *propeller* pada *quadcopter* dengan keluaran sudut *pitch*, *roll*, *yaw*, dan ketinggian. Kestabilan telah tercapai pada simulasi dengan $K_p = 5$, $K_i = 0.6$, $K_d = 3$ untuk sudut *roll*, $K_p = 2$, $K_d = 1$, $K_i = 1$ untuk sudut *yaw*, dan $K_p = 35$, $K_i = 0$, $K_d = 17$ untuk ketinggian, memiliki respon time sekitar 0,6 detik dengan *error steady state* adalah 0. Namun, pada implementasi terdapat *noise* yang begitu besar, sehingga respon *quadcopter* beresilasi di sekitar *set point*.

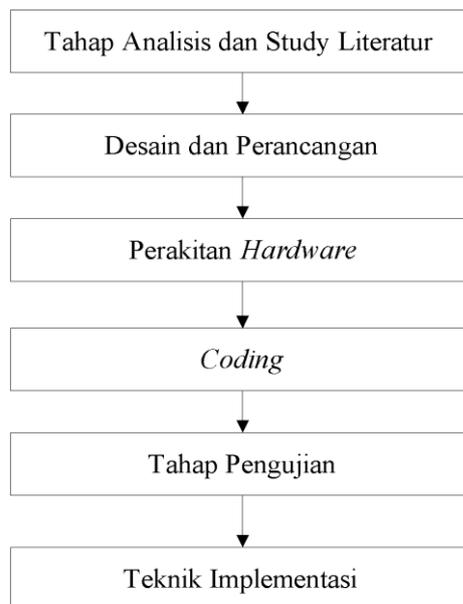
Penelitian yang dilakukan oleh Rahmat dkk 2014 dengan judul Rancang Bangun Sistem Penstabil Kamera untuk Foto Udara Berbasis Wahana Udara *Quadcopter*. Menghasilkan sebuah sistem yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas hasil foto dan video udara, diperlukan sebuah sistem yang dapat mempertahankan posisi kamera dan mengurangi goyangan yang disebabkan oleh pergerakan *quadcopter*. Sistem ini dikembangkan untuk dapat mengurangi goyangan pada sumbu X, Y dan Z yang disebut juga dengan istilah *roll*, *pitch* dan *yaw*. Sistem penstabil kamera ini dibuat menggunakan sensor MPU6050 dan sensor CMPS10. Untuk inti pemrosesannya, digunakan modul Arduino Mega2560 dan sebagai aktuatornya, digunakan 3 buah *brushless* DC motor yang berfungsi untuk mempertahankan posisi kamera pada *set point* yang sudah ditentukan. Dari hasil pengujian perilaku respon sistem, terlihat grafik bergelombang seperti gelombang sinus, ini menunjukkan bahwa sistem mampu mengoreksi posisi kamera kembali pada setpoint, namun respon motor sedikit terlambat. Sistem penstabil kamera ini tetap mampu meningkatkan kualitas hasil foto dan video yang diambil. Hal ini dapat dilihat melalui perbandingan hasil foto dan video antara kamera yang menggunakan sistem penstabil kamera dengan yang tidak.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Model Pengembangan

Model pengembangan dilakukan menggunakan prinsip *Linier Sequential Model* (LSM) yang terdiri dari 6 tahapan yang berulang seperti pada Gambar 12.



Gambar 12. Blok diagram *Linier Sequential Model*.

B. Prosedur Pengembangan

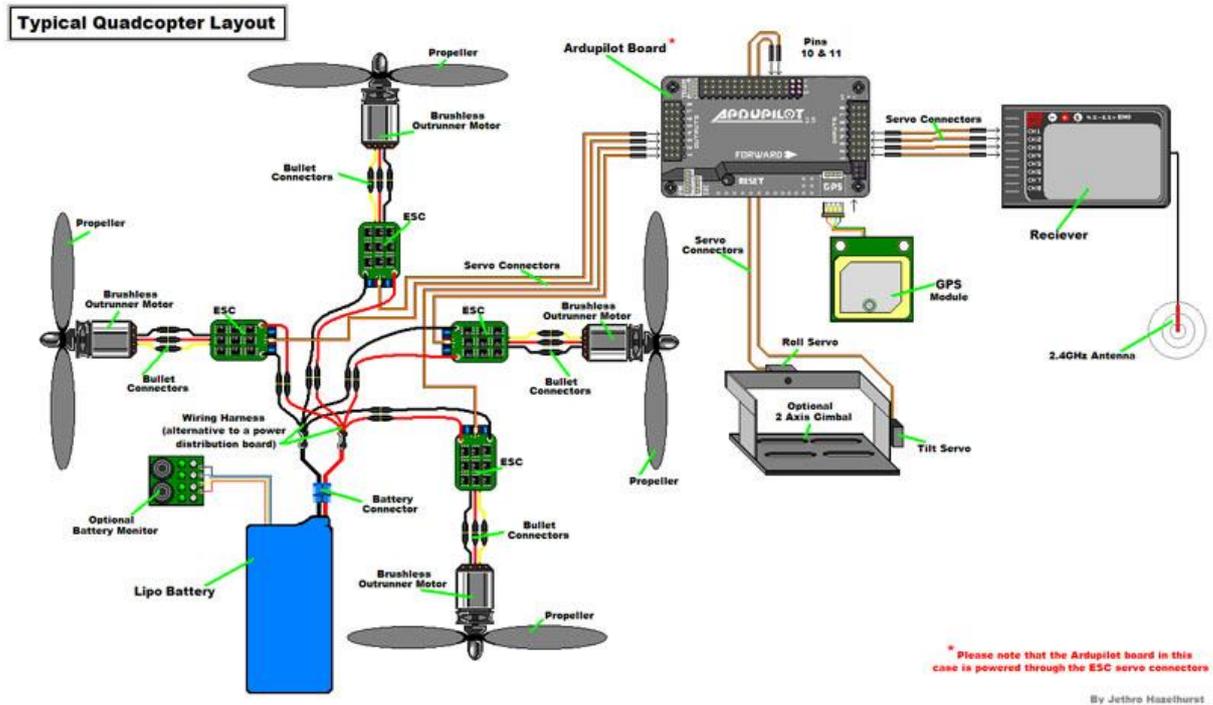
1. Analisis

Analisis data meliputi variabel-variabel yang meliputi kondisi gerakan *auto navigation* dari *quadcopter* serta pendekteksian koordinat menggunakan sensor GPS. Sistem kontrol gerakan menggunakan motor DC agar memperoleh kestabilan sehingga *quadcopter* dapat terbang dengan baik

2. Desain

Rancangan sistem terbagi menjadi 3 bagian, (1) sistem *quadcopter* (2) sistem penstabil camera dan (3) Sistem pengiriman gambar video. Sistem yang pertama yaitu Sistem *quadcopter*. Sistem ini merupakan sistem yang bertujuan untuk mengendalikan 4 buah motor *brushless* yang terdapat pada *quadcopter*. Sistem ini diatur oleh mikrokontroler ATmega dengan menggunakan ArduPilot Mega. Kecepatan gerak putar setiap motor di kendalian menggunakan ECS.

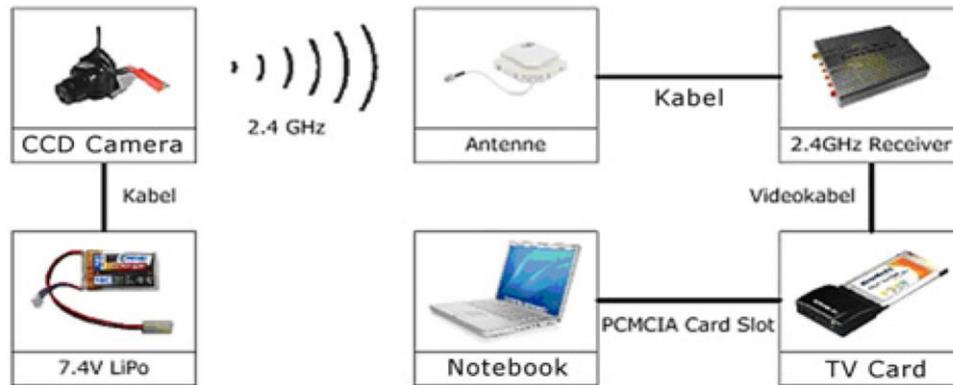
Sistem pusat mikrokontroler menerima input dari receiver berupa perintah-perintah yang dikirim dari *transmitter* pengendali (pilot). Gambar sistem secara detail ada pada Gambar 13.



Gambar 13. Skema Diagram Pengendalian *Quadcopter*
 Sumber : <http://copter.ardupilot.com>

Bagian yang kedua adalah penstabil camera. Bagian ini merupakan terpisah dari *quadcopter* akan tetapi memiliki proses pengendalian motor jadi satu dengan ArduPilot. Memanfaatkan *gyroscope* sensor putaran motor pada penyearah camera baik *roll*, *pitch* dan *yaw* digunakan untuk parameter pergerakan motor dengan tujuan posisi kamera akan selalu dalam keadaan stabil.

Sistem yang ketiga merupakan sistem pengiriman sinyal video dari sistem. Sistem ini terpisah dari kedua sistem *quadcopter*. Hal ini dikarenakan Proses pengiriman video dilakukan dengan menggunakan transmitter dan receiver tersendiri. Kamera yang digunakan untuk pengambilan gambar memiliki output berupa video data dan output dari camera ini akan menjadi masukan dari *video sender*. Pengiriman sinyal video menggunakan *video sender* kemudian data yang sudah diterima oleh *transmitter* dimasukkan pada unit komputer untuk di olah dan sibroadcast. Skema pengiriman video ada pada Gambar 14.



Gambar 144. Skematik diagram pengiriman gambar

3. Implementasi

Implementasi dari sistem merupakan gabungan dari sistem pengendali *quadcopter*, rangkaian penstabil camera dan sistem pengiriman signal video. Secara ilustrasi bentuk akhir dari sistem ini dapat dilihat pada Gambar 15.



Gambar 155. Implementasi system

4. Evaluasi

Evaluasi perlu dilakukan untuk mendapatkan penilaian dari penelitian yang sudah dilakukan. Evaluasi ini dilakukan pada setiap blok sistem secara tersendiri terlebih dahulu. Evaluasi untuk sistem pengendali *quadcopter* dilakukan meliputi evaluasi proses: a) *take-off*, b) *landing*, c) gerak *throttle*, d) gerak *roll* kiri-kanan, e) gerak *pitch* depan-belakang, f) gerak *yaw*, g) pengujian sensor accellero untuk ke 3 axis, h) pengujian sensor *gyro* untuk ke 3 axis, i) pengujian kendali remote baik *transmitter-receiver*.

Pengujian sistem kedua dilakukan pada sistem penstabil camera. Pengujian sistem ini dilakukan pada respon *gyro* untuk 3 axis pergerakan dan penggerak motor sejumlah 3 buah. Pengujian ketiga dilakukan pada proses pengiriman video. Pengujian ini dilakukan dengan cara melakukan *testing* pengiriman video dengan variabel jarak yang berbeda. Respon yang terjadi dari penangkapan sinyal video dapat digunakan sebagai acuan hasil pengujian sistem.

C. Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data yang digunakan pada penelitian ini meliputi uji fungsional, uji camera stabilizer dan uji sistem secara menyeluruh, sebagaimana terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Kisi-kisi instrumen uji kinerja

Instrumen	Kisi-kisi	Keterangan
Uji Fungsional	ketinggian	mengukur ketinggian <i>quadcopter</i>
	<i>rpm</i>	mengukur putaran motor BLDC penggerak <i>propeller</i>
	koordinat	mengukur posisi koordinat
Uji Camera Stabilizer	koordinat	mengukur posisi koordinat
	sumbu x	mengukur sudut X
	sumbu y	mengukur sudut Y
	sumbu z	mengukur sudut Z
Uji Sistem	posisi	<i>quadcopter</i> diposisikan X, Y,Z
	hasil gambar	hasil gambar/video dilihat posisinya

Pengujian dilakukan dengan menguji setiap blok-blok diagram berdasarkan karakteristik dan fungsi masing-masing blok. Pengujian ini bertujuan memastikan setiap blok-blok dapat bekerja sesuai dengan fungsinya agar tidak ada kendala saat pengoperasian.

D. Teknik Analisis Data

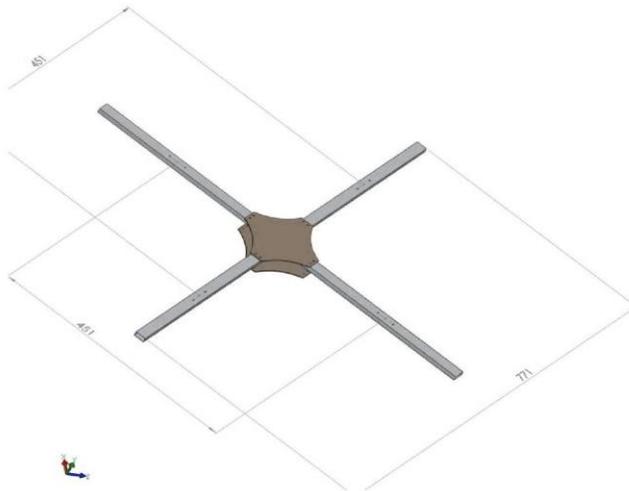
Analisis data penelitian ini dilakukan dengan cara membanding parameter dengan data yang diperoleh. Sedangkan untuk spesifik analisis dideskripsikan melalui penjabaran data yang diperoleh. Analisis data *quadcopter* yang terdiri dari hasil monitoring, uji reliabilitas data sensing, uji validitas data sensing, kestabilan sistem monitoring, dan fleksibilitas sistem monitoring.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

1. Perancangan Kerangka

Rancangan *quadcopter* pada penelitian ini memiliki bentuk kerangka terbuat dari bahan aluminium. Penempatan empat rotor yang memiliki jarak yang sama terhadap pusat massa pesawat (Gambar 16).



Gambar 166. Kerangka *quadcopter*

Sebagian besar, bahan yang digunakan untuk kerangka pesawat adalah aluminium, karena ringan (massa jenis: $2.70 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$) dan mudah didapat. Peneliti mengalami kesulitan untuk mendapatkan bahan kerangka lain yang lebih ringan dan kuat seperti karbon fiber.

Tuntutan dari kerangka yang dibuat adalah ringan dan kuat. Ringan, agar daya yang dibutuhkan untuk menerbangkan pesawat tidak terlalu besar, sehingga mampu mengangkat *payload* yang lebih berat. Kuat, agar bentuk fisik dari kerangka tidak berubah saat terbang dan jika pesawat kandas (*crash*), tidak mengubah bentuk kerangka. Mengingat banyaknya percobaan terbang yang dilakukan dengan kemungkinan kandas yang cukup besar, kerangka harus dibuat sesederhana mungkin untuk menghemat waktu pembuatan.

Hal yang harus diperhatikan pada kerangka *quadcopter* adalah posisi keempat rotor yang harus selalu datar dan sebidang. Karena jika tidak datar akan timbul proyeksi gaya sesuai dengan kemiringan dari rotor terhadap rata-rata air,

sehingga menyebabkan pesawat akan bergerak perlahan meskipun controller sudah mengendalikan pesawat untuk hovering.

Ada dua bagian dari kerangka yang menentukan kedataran dari masing-masing rotor, yaitu mekanik yang menghubungkan rotor dengan kerangka dan mekanik yang menghubungkan keempat lengan rotor. Mekanik yang menghubungkan keempat lengan rotor tidak dibuat sangat kuat (agar tidak terdeformasi), tetapi fleksibel. Dalam beberapa uji terbang, pesawat beberapa kali mengalami crash dan menyebabkan bagian yang menghubungkan keempat lengan rotor ini berubah bentuk dan pada akhirnya membuat keempat rotor tidak datar. Sehingga ditambahkan PCB (*printed circuit board*) fiber pada bagian ini agar kerangka lebih elastis saat *crash*, tetapi masih tetap kuat dan datar saat terbang.

Untuk melindungi baling-baling jika terjadi *crash*, masing-masing lengan rotor diperpanjang. Memang, di satu sisi penambahan panjang lengan ini menambah berat pesawat, namun kerugian ini tidak seberapa dibandingkan dengan keuntungan proteksi yang didapatkan. Kemungkinan terburuk bagi baling-baling pesawat saat *crash* adalah saat pesawat jatuh terbalik. Kemungkinan ini harus dihindari dengan membuat kendali gerak pesawat yang prima dan meminimalisir kemungkinan *error* yang menyebabkan *crash*.

2. Motor dan Baling-Baling

Sebagai pemutar baling-baling digunakan motor BLDC karena lebih efisien daya dan tidak membutuhkan perawatan jika dibandingkan dengan motor DC konvensional dengan sikat. Dengan BLDC, baling-baling dapat dipasang langsung ke motor tanpa gir reduksi sehingga getaran dapat diminimalisir.

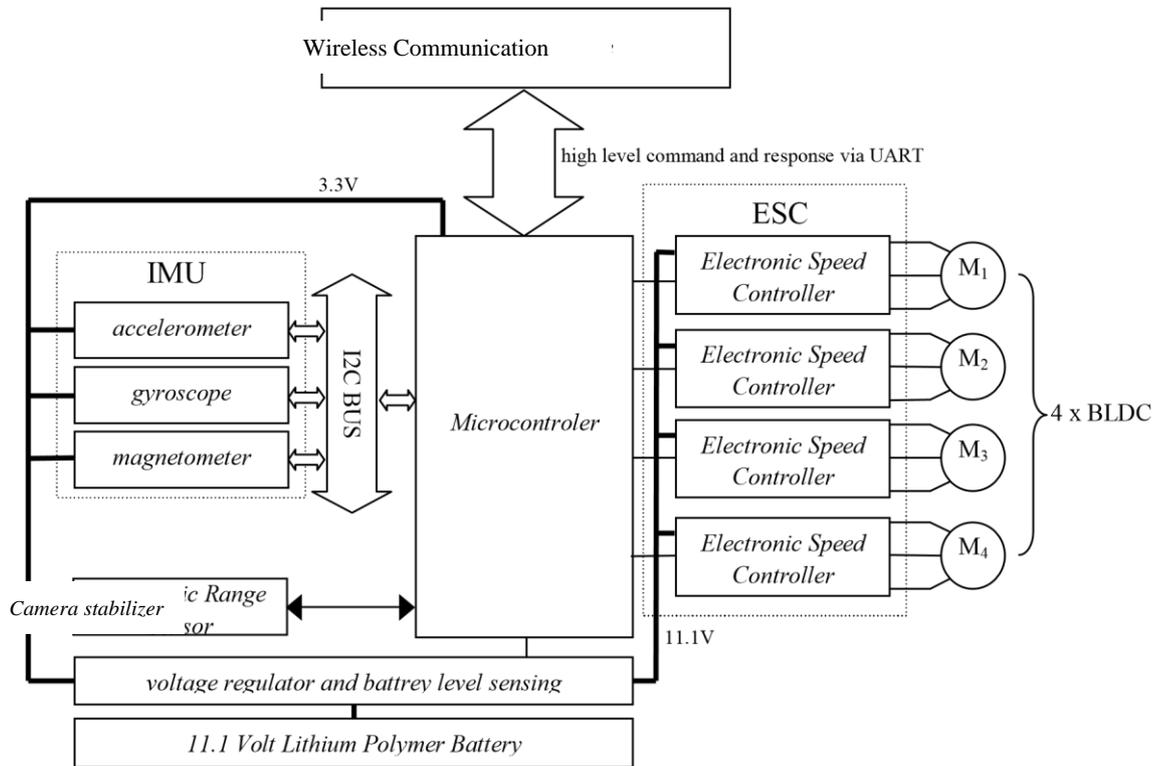
BLDC yang digunakan dengan ukuran 1000 kV (1000 RPM/V). Idealnya, dengan sumber tegangan 11.1 V didapatkan kecepatan maksimum 11100 RPM. Sebagai pengendali kecepatan untuk motor ini digunakan ESC 30A berdasarkan rekomendasi produsen motor tersebut. ESC yang digunakan memiliki antarmuka PWM dengan periode 2 ms ($0.7\text{ms} < t_{\text{on}} < 1.9\text{ms}$). Baling-baling (Gambar 17) yang digunakan berbahan plastik dua bilah dengan berat ± 7 gram dan ukuran 10x4.5 (diameter 10 inch, pitch 4.5 inch). Pemilihan baling-baling ini merujuk pada rekomendasi produsen BLDC yang digunakan.



Gambar 177. Baling-baling 10x4.5

3. Perancangan Elektronik

Secara keseluruhan sistem elektronik *quadcopter* yang dibuat terlihat pada Gambar 18.



Gambar 18. Sistem elektronik *quadcopter*

Pada bagian selanjutnya akan dijelaskan masing-masing bagian dari rangkaian elektronik pesawat. IMU merupakan sensor-sensor yang merupakan sumber informasi utama dari AHRS. Sensor-sensor tersebut terdiri dari akselerometer, *gyroscope* dan *magnetometer*. Masing-masing sensor terhubung dalam jalur bus dengan protokol asinkron serial 2 kawat I2C (*inter integrated*

circuits). Sebagai sensor akselerometer digunakan LIS3LV02DL produksi ST Microelectronics. Tabel 2 menunjukkan spesifikasi penting yang perlu diperhatikan dari sensor LIS3LV02DL.

Tabel 2. Spesifikasi LIS3LV02DL

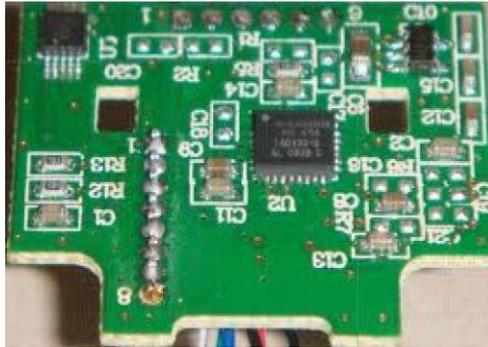
Spesifikasi	Nilai
Tegangan kerja	2.16-3.6 Volt
Jumlah sumbu pengukuran	3
Jangkauan Pengukuran	± 2.0 g (FS=0), ± 6.0 g (FS=1)
Sensitivitas (FS=0, 12bit)	1024 LSB/g

Alasan memilih sensor LIS3LV02DL adalah karena jangkauan pengukurannya (± 2 g) yang cocok jika digunakan untuk mengukur arah percepatan statis gravitasi (1g). Keputusan ini berdasarkan asumsi bahwa pesawat tidak bergerak dengan percepatan dinamis melebihi $2 \times 9.8 \text{ms}^{-2}$ dengan frekuensi yang terlalu banyak, karena LIS3LV02DL akan mengalami saturasi dan pengukuran percepatan menjadi tidak valid. Resolusi yang tinggi (12bit) memungkinkan untuk mendapatkan hasil pengukuran dengan resolusi tinggi. Untuk sensor *gyroscope* digunakan ITG3205. Tabel 3 menunjukkan beberapa spesifikasi penting dari sensor ini.

Tabel 3. Spesifikasi ITG3205

Spesifikasi	Nilai
Tegangan kerja	2.1-3.6 Volt
Jumlah sumbu pengukuran	3
Jangkauan Pengukuran	$\pm 2000^\circ/\text{s}$
Resolusi data keluaran	16bit
Sensitivitas (FS_SEL=3)	14.375 LSB/($^\circ/\text{s}$)

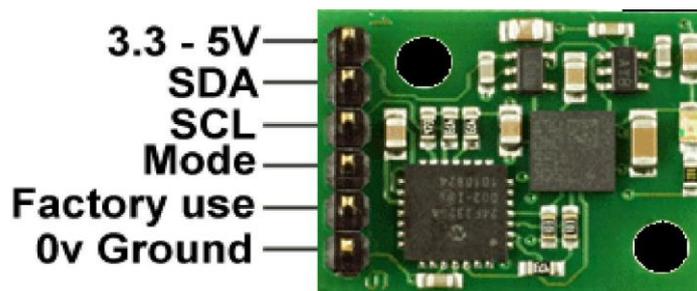
Sensor ITG3205 (Gambar 3.5) memiliki sensitivitas yang cukup tinggi untuk mendeteksi perubahan sudut (14.375 LSB/($^\circ/\text{s}$)). Sensor ini digunakan pada Wii MotionPlus sebagai ekstensi *joystick* Nintendo Wii untuk mendeteksi gerak dan orientasi.



Gambar 19. ITG3205 pada Wii MotionPlus

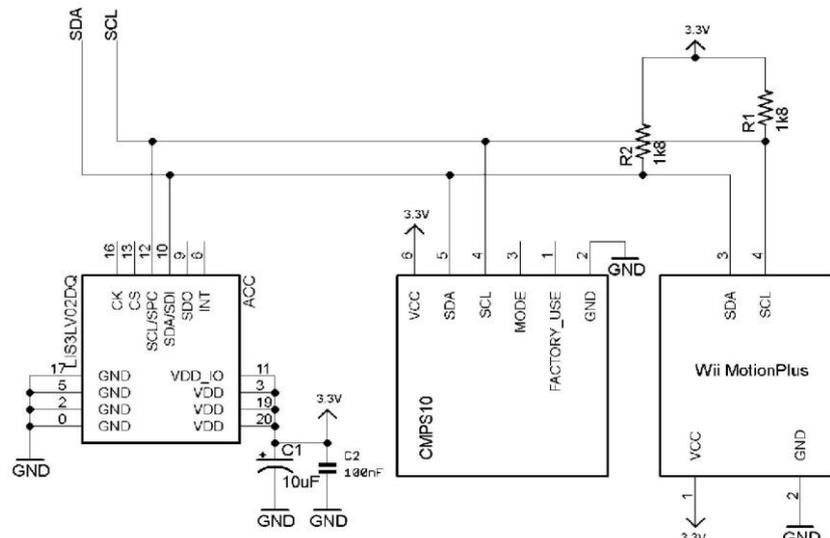
Pemilihan sensor ITG3205 dari Wii MotionPlus karena modul ini sudah dalam bentuk chip. Wii MotionPlus memiliki *host controller* yang mengolah data *gyroscope*, mengenkripsinya dan mengirimkan ke *joystick*. Untuk membuat akses ke sensor ini menjadi praktis dan memperkecil latency, jalur I2C yang menghubungkan host controller dan ITG3205 diputus dan langsung dihubungkan ke rangkaian mikrokontroler utama.

Untuk magnetometer digunakan CMPS10 (Gambar 20), yang merupakan kompas digital terkompensasi kemiringan (*tilt compensated digital compass*). CMPS10 dapat mengukur medan magnet bumi yang diolah untuk menjadi referensi arah utara. Sensor ini memiliki ketelitian 0.1° dalam mendeteksi arah utara kutub bumi.



Gambar 19 Pinout CMPS10

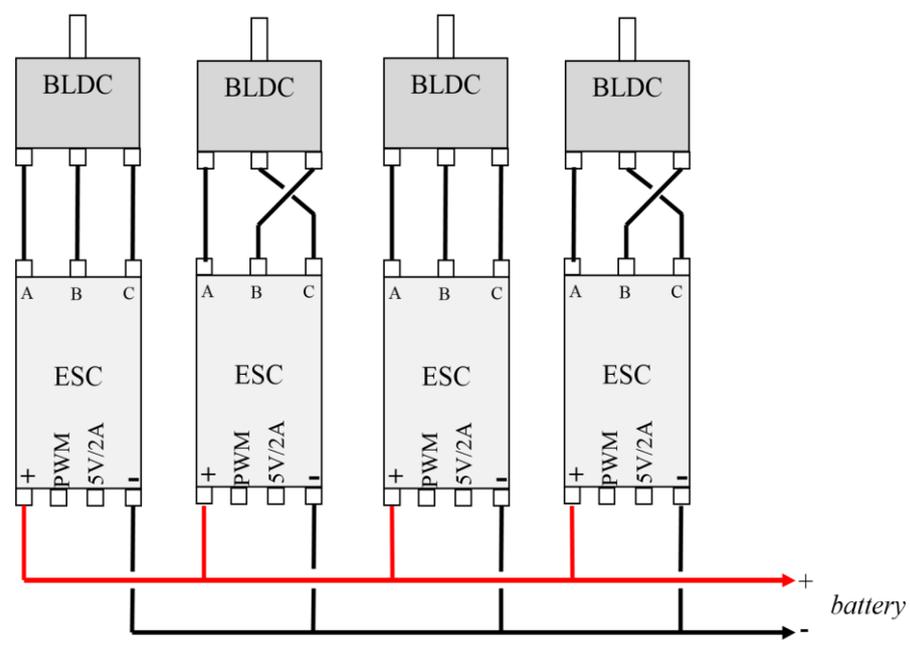
Sensor LIS3LV02DL, ITG3205 dan CMPS10 dapat diakses dengan protokol komunikasi I2C. Ketiga sensor ini dihubungkan dalam satu bus seperti pada Gambar 3.7.



Gambar 201. Bus I2C Sensor LIS3LV02DL, ITG3205 dan CMPS10

4. Rangkaian ESC dan BLDC

Untuk menggerakkan baling-baling digunakan BLDC yang dikendalikan komutasinya oleh ESC. Karena *quadcopter* memiliki empat buah BLDC, sehingga dibutuhkan empat buah ESC untuk mengendalikan masing-masing motor. Antarmuka ESC dengan mikrokontroler menggunakan PWM, sehingga dibutuhkan empat pin PWM untuk semua ESC, seperti pada Gambar 22.



Gambar 21. Konfigurasi ESC dan BLDC

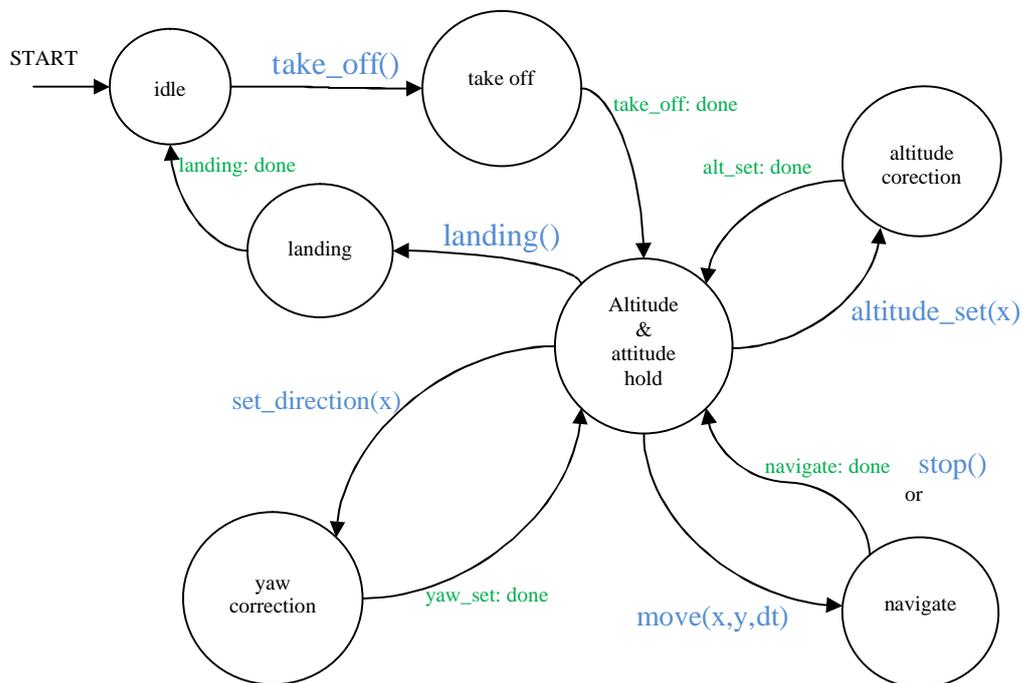
Setiap ESC memiliki regulator tegangan 5V2A. Regulator ini merupakan regulator linier yang terdiri dari dua buah LM7805 yang diparalel. Keluaran dari

regulator pada ESC ini dimanfaatkan untuk mencatu rangkaian elektronik lainnya. Untuk mengukur tegangan battery, digunakan resistor sebagai pembagi tegangan dan kapasitor sebagai filter. Pengukuran tegangan ini sangat penting agar battery tidak over discharge yang menyebabkan umur battery LiPo semakin pendek.

Quadcopter memiliki dua buah motor yang berputar searah jarum jam dan dua buah motor yang berputar berlawanan dengan arah jarum jam. Untuk mendapatkan konfigurasi arah putar yang berbeda, BLDC hampir mirip dengan motor DC konvensional yaitu mengatur polaritas-nya. BLDC dapat diatur arah putarnya dengan menukar urutan tiga kabel yang dimilikinya, dengan menukar urutan kabel sama saja dengan mengatur urutan komutasinya.

5. Algoritma *Autonomous*

Algoritma *autonomous quadcopter* diimplementasikan dengan mesin kondisi terbatas (FSM, *finite state machine*) seperti pada Gambar 23.



Gambar 223. Diagram *finite state machine* dari *mid layer control*

FSM yang dibuat terdiri dari beberapa kondisi (*state*), yaitu: *idle*, *take off*, *altitude & attitude hold*, *altitude correction*, *yaw correction* dan *navigate*.

Kondisi-kondisi ini dapat beralih ke kondisi-kondisi tertentu yang terbatas jika ada pemicu (*trigger*) yang sesuai. Ada dua jenis *trigger* yang berlaku, yaitu perintah dari *high layer application* dan *trigger* internal seperti terpenuhinya kondisi dari sebuah *state*. Penjelasan dari setiap *state* tersebut adalah sebagai berikut:

1. *Idle*

Merupakan kondisi awal dari pesawat. Semua rotor dalam kondisi berhenti, tetapi proses *low layer seperti* akuisisi sensor dan algoritma DCM-IMU masih berjalan.

2. *Take off*

Proses *take off* atau lepas landas dilakukan setelah ada perintah dari *high layer application* untuk lepas landas dari kondisi *idle*. Sudut set untuk *roll* dan *pitch* diberi nilai 0, yang artinya *low layer control* harus mempertahankan *quadcopter* pada posisi seimbang mendatar. Saat proses ini dipicu, sudut yaw disimpan dan dijadikan sudut set, sehingga tidak ada koreksi pada sudut yaw yang mengganggu kontrol keseimbangan *quadcopter*, terutama komponen proporsional pada kontrol PID *low layer control*. *State* ini akan memicu *state attitude, altitude hold* jika ketinggian pesawat menyentuh nilai *default* yaitu 1 meter.

3. *Attitude dan altitude hold*

State attitude dan *altitude hold* atau *hovering* merupakan kondisi di mana *quadcopter* mempertahankan keseimbangan, sudut yaw dan ketinggian. Sudut set untuk yaw diambil dari sudut yaw aktual pertama kali saat *state* ini dipicu. *State* ini merupakan *state idle* dari *quadcopter* saat berada di udara. Dari *state* ini dapat dipicu oleh perintah *high layer application* untuk berpindah ke *state altitude correction, yaw correction* atau *navigate*.

4. *Altitude correction*

State altitude correction dipicu dari *state attitude* dan *altitude hold* setelah ada perintah dari *high layer application* untuk menyesuaikan ketinggian pesawat. Pada kondisi ini, set ketinggian disesuaikan secara bertahap sesuai dengan perintah yang dikirimkan oleh *high layer application*. Setelah set ketinggian dianggap sudah terpenuhi (*magnitude error* ketinggian kurang dari

10 cm selama 3 detik atau 1500 siklus kontrol), state ini memicu kembali *state attitude* dan *altitude hold*.

5. *Yaw correction*

State yaw correction dipicu dari *state attitude* dan *altitude hold* setelah ada perintah dari *high layer application* untuk menyesuaikan arah hadap *quadcopter*. Besarnya sudut *yaw* perintah diteruskan ke set sudut *yaw* pada kontrol PID. *State yaw correction* akan memicu *state attitude* dan *altitude hold* jika sudut *yaw* yang diperintahkan dianggap sudah terpenuhi (*magnitude error* sudut *yaw* kurang dari 5 derajat selama 3 detik atau 1500 siklus kontrol).

6. *Navigate*

State navigate adalah kondisi di mana *quadcopter* bergerak sesuai dengan perintah dari *high layer application*. Pergerakan *quadcopter* dilakukan dengan mengatur set sudut *pitch* dan *roll* pada kontrol PID. Pada saat *state* ini dipicu, parameter perintah arah gerak (x dan y) dari *high layer application* diubah menjadi set sudut untuk *roll* dan *pitch* yang dibatasi sampai $\pm 20^\circ$ agar pergerakan dari *quadcopter* tidak terlalu ekstrim. *State* ini akan memicu *state attitude* dan *altitude hold* dengan dua kemungkinan trigger, yaitu saat parameter perintah data yang merupakan perintah lama *quadcopter* bergerak sudah berakhir, dan saat *high layer application* memerintahkan untuk berhenti dengan perintah `stop()`.

B. Pembahasan

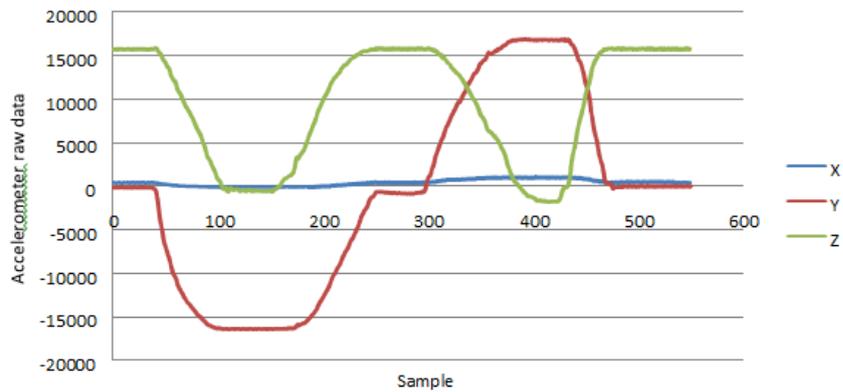
Dari hasil pengujian sensor magnetometer, didapatkan sensor magnetometer dapat merespon perubahan arah hadap. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa sensor magnetometer yang digunakan memiliki nilai selisih maksimum dari sudut hadap aktual sebesar 20° . Nilai *error* ini terlalu besar terutama jika digunakan untuk navigasi berdasarkan arah kutub magnet bumi. Tetapi keuntungan dari sensor ini adalah tidak mengalami *drift*. Sehingga meskipun tidak akurat, tetapi dapat digunakan untuk *drift correction* pada algoritma DCM-IMU.

1. Analisis Sensor Akselerometer

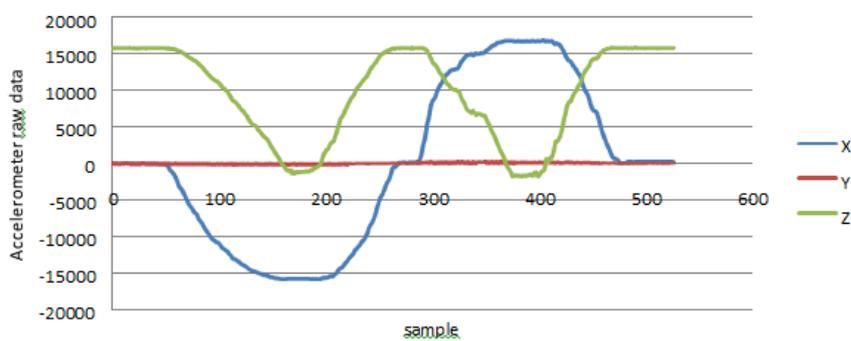
Pengujian dilakukan dengan melakukan akuisisi data sensor akselerometer tiga aksis dan responnya terhadap kemiringan. Akuisisi data sensor dilakukan dengan mikrokontroler LPC1114 dan dikirimkan ke PC melalui port serial. Proses akuisisi

oleh mikrokontroler LPC1114 menggunakan metode *interrupt driven*, sehingga pengujian ini sekaligus menguji fungsionalitas dari program akuisisi sensor dengan metode *interrupt driven*.

Sensor akselerometer LIS3LV02DL yang digunakan diinisialisasi dengan jangkauan pengukuran $\pm 2g$ dan representasi data yang digunakan 16 bit. Pengujian sensor dilakukan dengan memosisikan sensor pada posisi awal mendatar (sumbu z mengarah ke atas) dan selanjutnya sensor diputar perlahan dengan sumbu rotasi x sebesar 90° dan -90° . Dengan proses yang sama, pengujian juga dilakukan dengan sumbu rotasi y. Gambar 24 dan 25 merupakan grafik hasil pengujian sensor akselerometer yang telah dilakukan. Sumbu mendatar adalah *sample* dan sumbu vertikal adalah nilai keluaran akselerometer.



Gambar 23. Hasil uji akselerometer dengan diputar pada sumbu X



Gambar 24. Hasil uji akselerometer dengan diputar pada sumbu Y

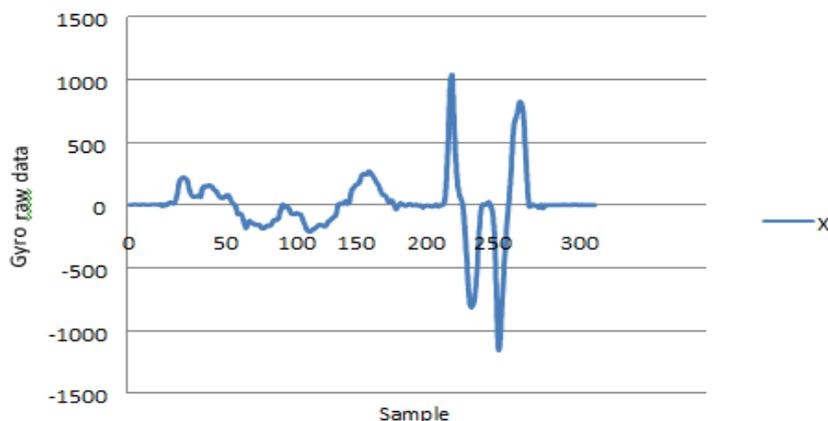
Pada saat kondisi datar, percepatan gravitasi yang bersifat statis bekerja pada sumbu z negatif, sehingga data pada sumbu z bernilai positif. Pada hasil percobaan,

respon terhadap percepatan statis ini juga berlaku pada sumbu-sumbu pengukuran yang lain. Untuk sumbu yang digunakan sebagai sumbu rotasi dibuktikan dalam pengujian bahwa nilainya mendekati 0. Hal ini menandakan secara fungsional, akselerometer dapat bekerja.

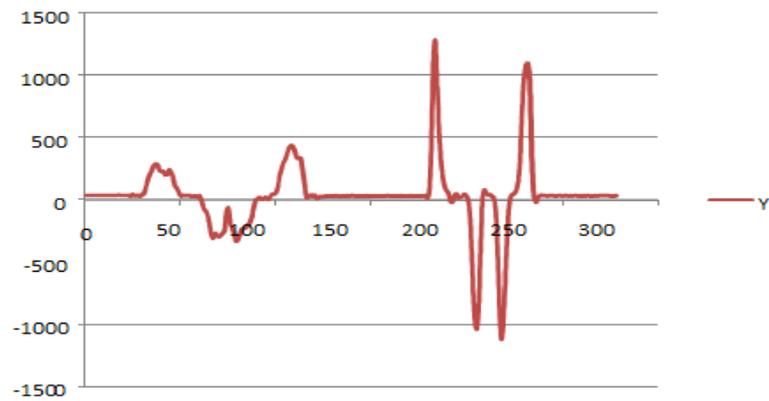
Nilai absolut maksimum dari satu sumbu pada pengujian ini merupakan besarnya nilai sensor untuk merepresentasikan percepatan gravitasi, karena tidak ada percepatan dinamis yang bekerja dan setiap sumbu “pernah” diarahkan searah percepatan gravitasi. Nilai absolut maksimum sumbu z pada pengujian ini adalah 15804, sumbu y sebesar 16800 dan sumbu x sebesar 16858. Idealnya, sensor LIS3LV02DL merepresentasikan 1g dengan nilai 16384 ($2^{16}/4$, resolusi = 16bit, jangkauan $\pm 2g$). Perbedaan ini dapat diatasi dengan proses kalibrasi.

2. Analisis Sensor *Gyroscope*

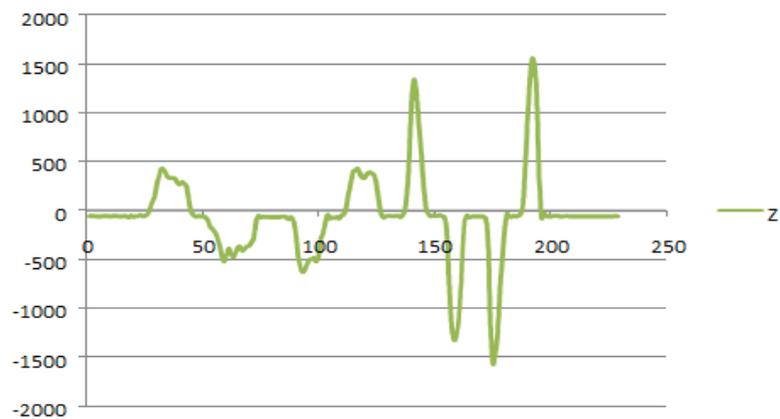
Sensor *gyroscope* pada skripsi ini digunakan untuk mendeteksi kecepatan sudut sebagai pembentuk matrik rotasi pada algoritma DCM-IMU. Pengujian yang dilakukan pada sensor *gyroscope* hampir sama dengan pengujian pada akselerometer, yaitu dengan akuisisi data sensor yang dikirimkan ke PC. Pengujian sensor dilakukan dengan merotasi sensor *gyroscope* pada setiap sumbu-sumbu pengukurannya. Pengujian tiap sumbu pengukuran dilakukan dengan 5 langkah perlakuan yaitu diam → rotasi arah positif → rotasi arah negatif → diam → rotasi arah negatif → rotasi arah positif. Tiga langkah pengujian tersebut dilakukan dengan dua kecepatan rotasi yang berbeda.



Gambar 25. Hasil uji *gyroscope* sumbu X



Gambar 26. Hasil uji *gyroscope* sumbu Y



Gambar 27. Hasil uji *gyroscope* sumbu Z

Dari hasil percobaan masing-masing sumbu dapat merespon kecepatan sudut yang diberikan baik pada rotasi positif dan negatif. Masing-masing sumbu juga memiliki keluaran data yang proporsional terhadap besarnya kecepatan sudut yang dilakukan. Untuk menguji akurasi besarnya keluaran sensor terhadap kecepatan sudut yang dilakukan, dibutuhkan media berputar dengan kecepatan sudut yang konstan di mana sensor *gyroscope* diletakan pada media tersebut. Alat pengujian ini bagi penulis sulit untuk direalisasikan. Sehingga sensitifitas data keluaran sensor ITG3205 ini sepenuhnya merujuk pada datasheet yaitu $14.375 \text{ LSB}/(^{\circ}/\text{s})$. Hasil pengujian pada sumbu z menunjukkan rata-rata ZRO *gyroscope* yang cukup besar yaitu 59 LSB atau $4.1 \text{ }^{\circ}/\text{s}$, sehingga pada penggunaanya, perlu untuk mengurangi data keluaran sumbu z dari *gyroscope* dengan nilai rata-rata ZRO ini.

3. Analisis Sensor Magnetometer

Magnetometer digunakan untuk referensi arah hadap serta *yaw cancelation*. Seperti sensor akselerometer dan *gyroscope*, pengujian dilakukan dengan akuisisi data sensor CMPS10 dan dikirimkan ke PC. Untuk menguji data keluaran, magnetometer diputar 360° secara bertahap pada bidang datar. Setiap berputar 22.5° (terukur dengan busur) nilai sensor disimpan. Pada saat pengujian pada sudut 0°, nilai dari kompas digital dipakai sebagai nilai awal pengukuran, hal ini dilakukan untuk menguji linieritas dari kompas digital, seperti. Tabel 4 merupakan hasil pengujian sensor magnetometer.

Tabel 4. Hasil Pengujian Magnetometer

Sudut hadap (°)	Keluaran Kompas (°)	Selisih (°)
2.5	2.5	0
25	21	4
47.5	39.3	8.2
70	59.3	10.7
92.5	81.5	11
115	105.5	9.5
137.5	131.5	6
160	162.5	-2.5
182.5	193.5	-11
205	222.4	-17.4
227.5	247.5	-20
250	269.5	-19.5
272.5	288.9	-16.4
295	307.6	-12.6
317.5	326.4	-8.9
340	345.5	-5.5

Dari hasil pengujian sensor magnetometer, didapatkan sensor magnetometer dapat merespon perubahan arah hadap. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa sensor magnetometer yang digunakan memiliki nilai selisih maksimum dari sudut hadap aktual sebesar 20°. Nilai *error* ini terlalu besar terutama jika digunakan untuk navigasi berdasarkan arah kutub magnet bumi. Tetapi keuntungan dari sensor ini adalah tidak mengalami *drift*. Sehingga meskipun tidak akurat, tetapi dapat digunakan untuk *drift correction* pada algoritma DCM-IMU.

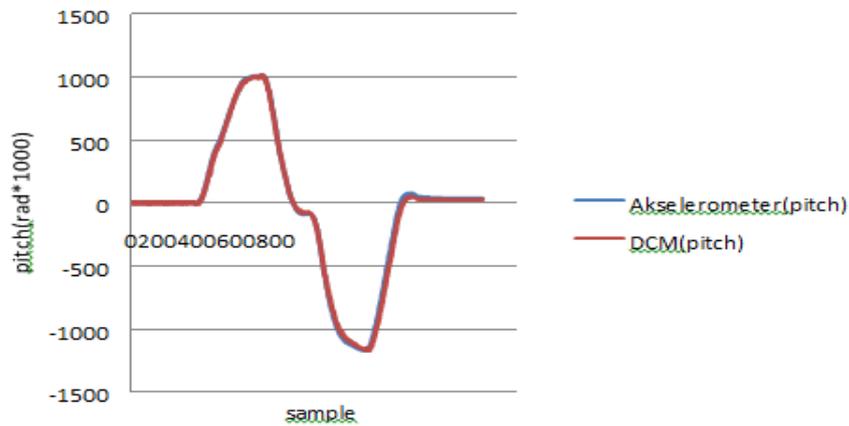
4. Analisis AHRS

Pengujian AHRS dilakukan untuk menguji koreksi *drift* dan respon dari implementasi algoritma DCM-IMU pada AHRS yang telah dibuat. Pengujian dilakukan dengan melakukan pengiriman data hasil (roll, pitch dan yaw) algoritma DCM-IMU oleh mikrokontroler LPC1114 ke PC. Pada pengujian ini AHRS sudah terpasang pada kerangka *quadcopter*. Ada dua pengujian yang dilakukan, yaitu uji koreksi *drift* dan uji respon.

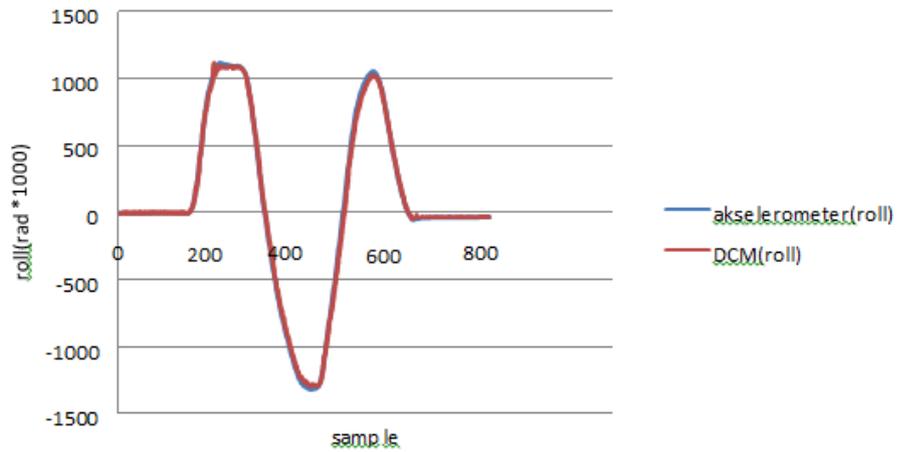
1) Uji Respon

Uji respon dilakukan untuk menguji respon dari AHRS dengan algoritma DCM-IMU terhadap perubahan sudut. Pengujian dilakukan dengan membandingkan keluaran AHRS dan pengukuran sudut dengan akselerometer. Metode ini dilakukan dengan asumsi bahwa akselerometer memiliki respon yang cepat dalam mendeteksi percepatan, termasuk percepatan statis gravitasi bumi.

Pengujian pertama dilakukan dengan merotasikan AHRS pada sumbu x (roll) dan pada sumbu y (*pitch*). Hasil dari pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 29 dan 30.

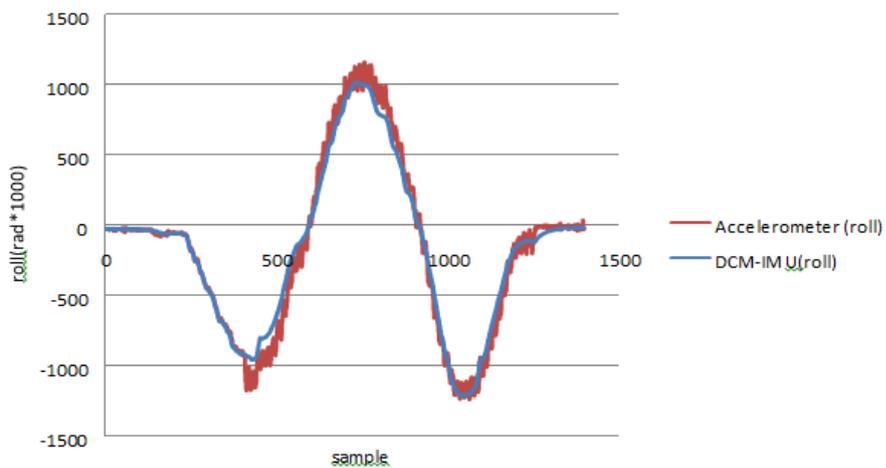


Gambar 28. Perbandingan DCM-IMU dan Akselerometer pada Sudut Pitch.

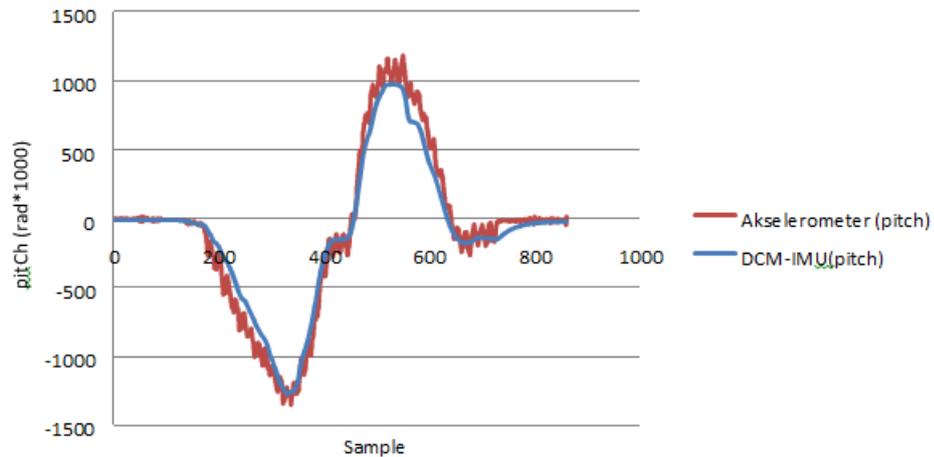


Gambar 29. Hasil uji DCM-IMU dan akselerometer pada sudut *roll*

Berdasarkan hasil yang ditunjukkan pada Gambar 29 dan 30, keluaran DCM-IMU mampu mengikuti perubahan sudut yang terjadi. Hal ini membuktikan bahwa AHRS yang dirancang dapat merespon perubahan sudut yang terjadi. Pengujian kedua adalah menguji pengaruh vibrasi terhadap AHRS yang dirancang. Vibrasi dibuat dengan menghidupkan rotor pada Quadcopter. Langkah pengujian sama dengan pengujian sebelumnya. Hasil dari pengujian ini ditunjukkan pada Gambar 31 dan 32.



Gambar 30. Hasil Uji DCM-IMU pada Sudut Roll dengan Vibrasi Rotor.

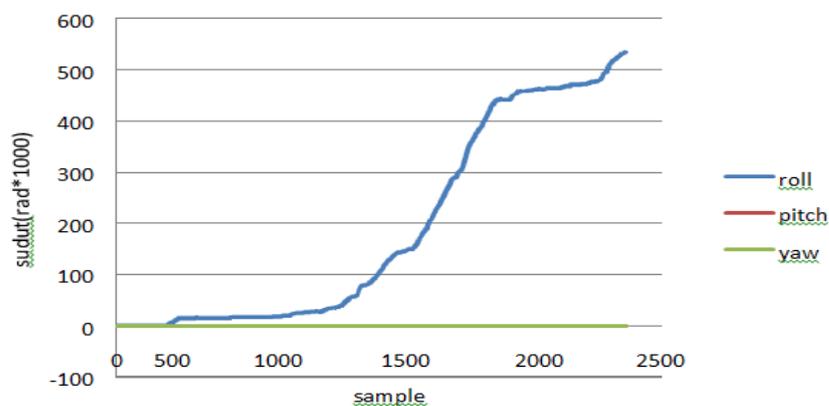


Gambar 31. Hasil Uji DCM-IMU pada sudut pitch dengan vibrasi rotor

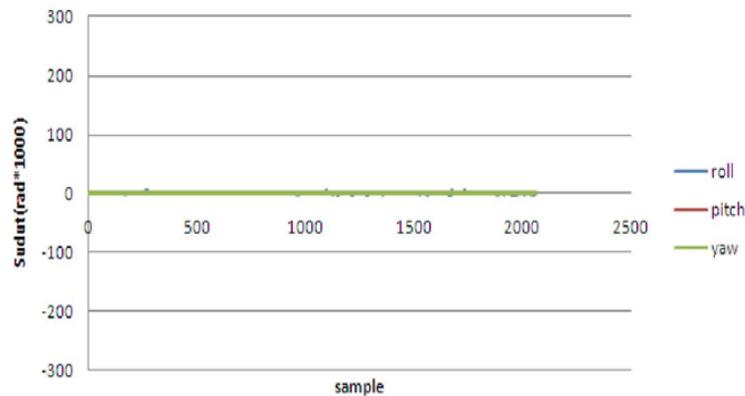
Dari hasil pengujian dengan vibrasi, didapatkan sudut akselerometer terpengaruh oleh vibrasi rotor dan sudut hasil algoritma DCM-IMU lebih tidak terpengaruh vibrasi. Juga dapat dilihat bahwa AHRS dapat merespon perubahan sudut meskipun ada pengaruh vibrasi.

2) Uji Koreksi *Drift*

Uji koreksi *drift* dilakukan untuk mengetahui apakah AHRS mempunyai nilai yang bergerak merambat saat dalam kondisi diam. Ada dua langkah yang diambil, yaitu dengan menonaktifkan fungsi `drift_correction()` pada algoritma DCM-IMU dan langkah kedua mengaktifkan fungsi itu lagi. Pengujian dilakukan pada kondisi diam dan AHRS pada kondisi mendarat. Waktu pengujian adalah 300 detik. Gambar 4.11 dan 4.12 menunjukkan hasil pengujian ini.



Gambar 32. Hasil Uji DCM-IMU tanpa *drift correction*



Gambar 33. Hasil Uji DCM-IMU dengan *drift correction*

Dari hasil uji *drift*, didapatkan bahwa keluaran algoritma DCM-IMU tanpa fungsi `drift_correction()` mengalami perubahan sudut 0.53 radian pada sudut *roll* setelah didiamkan selama 300 detik. Setelah fungsi `drift_correction()` digunakan ketiga sudut keluaran DCM-IMU tidak mengalami perubahan saat diam selama 300 detik. Hal ini menandakan bahwa algoritma DCM-IMU yang dibuat mampu mengatasi *drift*.

5. Analisis Pengambilan Gambar

Pada bagian ini akan dilihat mengenai perilaku respon sistem saat mendapat pergerakan, baik pada *pitch axis*, *roll axis*. Dari sini, akan diketahui seberapa baik sistem dapat menstabilkan posisi kamera. Data hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Data pengujian nilai *pitch axis*, *roll axis*.

No	Sudut	Nilai Sudut	
		<i>Pitch</i>	<i>Roll</i>
1.	Maksimum	-89,05	83,14
2.	Minimum	-89,05	-83,10

Berikut ini merupakan hasil sampel pengambilan video dari udara dan dari dilakukan dengan cara menggerakkan alat dengan tangan. Kemudian hasil video yang diambil menggunakan sistem penstabil kamera dengan yang tidak dibandingkan hasilnya satu sama lain. Pada pengujian hasil pengambilan video, baik yang menggunakan sistem penstabil kamera maupun yang tidak.

Tabel 6. Data hasil pengambilan *sample* video tanpa penstabil kamera

No.	Gerak <i>quadcopter</i>	Hasil penstabil kamera
1.	 <p>Posisi <i>quadcopter</i> manuver</p>	 <p>Hasil gambar menjadi ikut miring saat <i>quadcopter</i> manuver</p>
2.	 <p>Kamera tidak mempertahankan posisi set awal</p>	 <p>Hasil gambar menjadi ikut miring</p>

Tabel 7. Data hasil pengambilan *sample* video dengan penstabil kamera

No.	Hasil pada kamera <i>quadcopter</i> Menggunakan penstabil kamera	Gerak <i>quadcopter</i>
1.	 <p>Dua orang yang menjadi titikfokus, hasil gambar tidak ikut miring</p>	 <p>Posisi <i>quadcopter</i> miring ke kanan</p>
2.	 <p>Orang yang menjadi titik fokus</p>	 <p>Kamera mempertahankan posisi set awal</p>

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Hasil *Automatic Navigation GPS Control* dan *Camera Stabilizer* pada *Quadcopter* sebagai Alat Bantu *Monitoring* dapat didesain menggunakan ArduPilot 6.0 menggunakan algoritma *autonomous quadcopter* FSM (*finite state machine*) dan DCM-IMU.
2. Kinerja *Automatic Navigation GPS Control* dan *Camera Stabilizer* pada *Quadcopter* dilihat dari akurasi magnetometer memiliki persentase kesalahan 1,66%. *Quadcopter* mampu bermanuver dengan *pitch* (maks) $89,5^\circ$ dan *pitch* (min) $-89,5^\circ$, sedangkan untuk *roll* (maks) $83,14^\circ$ dan *roll* (min) $-83,10^\circ$.

B. Saran

Saran yang diberikan peneliti sekaligus pengembangan untuk kebaikan produk ini adalah sebagai berikut:

1. Perlu adanya pengembangan untuk mengetahui posisi *quadcopter*.
2. Pengembangan aplikasi yang bersifat dinamis, sehingga mudah dalam pengelolaannya.
3. Sistem pengiriman gambar masih menggunakan *software official* dari GoPro. Perlu pengembangan *software* yang terintegrasi dengan pengendalian *quadcopter*.

DAFTAR PUSTAKA

- Accelerometer and Gyro Integration. <http://www.hobbytronics.co.uk/accelerometer-gyro>. Diakses pada tanggal 2 Juni 2013.
- Accelerometers. <http://www.hobbytronics.co.uk/accelerometer-info>. Diakses pada tanggal 2 Juni 2013.
- Amahah, Justice,. 2009. The Design of an Unmanned Aerial Vehicle Based on the ArduPilot. Georgian Electronic Scientific Journal. Beijing University. Computer Science and Telecommunications 2009, No.5(22) p.144.
- Badan Pusat Statistik. 2013. Perkembangan Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Jenis tahun 1987-2013.
- Brushless DC (BLDC) motor with Arduino. 2011. <http://elabz.com/bldc-motor-witharduino-circuit-and-software/>. Diunggah tanggal 14 November 2011.
- Brushless DC Motor Guide.<http://www.anaheimautomation.com/manuals/forms/brushless-dc-motorguide.php#sthash.XaWcJ2ll.ZaotrxuY.dpbs>.
- Colton, Shane. 2007. The Balance Filter. Chief Delphi White Paper
- Gyro and Accelerometer Fusion. <https://sites.google.com/site/controlandelectronics/gyro-and-accelerometer-fusion>. Diakses pada tanggal 4 Juni 2013.
- Hidayat, Rahmat. Komarudin, M. Raharjo, Yulianto. 2014. Rancang Bangun Sistem Penstabil Kamera Untuk Foto Udara Berbasis Wahana Udara *Quadcopter*, Jurnal ELECTRICIAN-Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro, Universitas Negeri Lampung, Volume 8, No. 2, Mei 2014.
- Krus P. and Andersson J., "Optimizing Optimization for Design Optimization", in Proceedings of ASME Design Automation Conference, Chicago, USA, September 2-6, 2003.
- Kurniawan, Agung. 2014. Lima Faktor Utama Masalah Lalu Lintas di Indonesia dalam Koran Kompas edisi Rabu, 16 April 2014.
- M.V. Cook. 'Flight Dynamics Principles', John Wiley & Sons Inc., ISBN 0-470-23590-X, 1997
- Michelson R. Newcome N. "21st Century Aerial Robotics 2001" Course Notes
- PID Control: A brief introduction and guide, using Arduino. 2011. <http://www.maelabs.ucsd.edu/mae156alib/control/PID-Control-Arduino.pdf>. Diunduh tanggal 26 September 2011.
- Remotely Piloted Vehicles, Twelfth International Conference, Bristol, UK
- Rosario, Yosa. 2014. Sistem Navigasi Ruang *Quadcopter* Dengan Menggunakan Sensor Ultrasonik System Navigation *Quadcopter* Using Ultrasonic Sensor. Institute Sepuluh November. Surabaya.
- Setyono, Arif. Wahyudi. Setiawan, Iwan. [t.th]. Perancangan Perangkat Lunak Pendeteksi Posisi Benda Dalam 6 Derajat Kebebasan. Semarang: Universitas Diponegoro
- Stable Orientation – Digital IMU 6DOF + Arduino. 2012. <http://bildr.org/?s=arduino+stable>. Dikunjungi tanggal 28 Februari 2013.
- Sudewo, Teddy. Iskandar, Eka. Astrowulan, Katjuk. 2012. Disain dan Implementasi Kontrol PID Model Reference Adaptive Control untuk Automatic Safe Landing Pada Pesawat UAV *Quadcopter*. Jurnal dari Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Vol. 1, No. 1, (2012) 1-6.
- Suragih, Febri Ardani. 2014. Taat Peraturan Lalu-Lintas Ampuh Pangkas Angka Kecelakaan dalam Koran Kompas edisi Senin, 17 November 2014.

- Tandil, Dhanny. Manuel, Ivander S. Wilyanto, Yansen Susanto, Rudi. [t.th]. Pengaplikasian Kalman Filter Dan Kendali Pid Sebagai Penyeimbang Robot Roda Dua. Jakarta: Universitas Bina Nusantara.
- UAV Annual Report, DARO, November 1997
- Utama, Rizky Wiguna. 2012. Sistem Kendali Holding Position Pada *Quadcopter* Berbasis Mikrokontroler Atmega 328p. Bandar Lampung: Universitas Lampung.
- Wicaksono, Felix E.W. 2009. Apa itu Foto Udara?. Yogyakarta: Badan Perpustakaan dan Arsip Daerah Provinsi DIY.
- Yusuf, Zam. 2014. Perancangan dan Implementasi Kontroler PID Untuk Autonomous Moving Forward Manuever Pada *Quadcopter* Design And Implementation Of PID Control System To Moving Control Of Hovering On Uav *Quadcopter*. Institute Sepuluh November. Surabaya.

LAMPIRAN

Lampiran 1 : Biaya Penelitian

NO	Nama Kegiatan / Barang	Harga		Total	
		Jumlah	Satuan		
1	Honorarium Peneliti				
	Ketua Peneliti	1 org X 6 bln X	120,000	720,000	
	Anggota (dosen)	2 org X 6 bln X	90,000	1,080,000	
	Anggota (Mahasiswa)	3 org X 6 bln X	60,000	1,080,000	
				Total	2,880,000
2	Biaya Operasional				
	Ardupilot Mega 2.5	1	1,300,000	1,300,000	
	GPS	1	500,000	500,000	
	Motor Brushless	4	150,000	600,000	
	Propeller	4	25,000	100,000	
	ESC	4	200,000	800,000	
	Batteray #s 2,2A	2	400,000	800,000	
	Turnigy 9X	1	1,200,000	1,200,000	
	Frame	1	500,000	500,000	
	Servo	3	150,000	450,000	
	LSM9DS0	1	400,000	400,000	
				Total	6,650,000
3	Biaya Desiminasi Penelitian				
	Publikasi dan Ujicoba	1	470,000	470,000	
				Total	470,000
Jumlah Keseluruhan					10,000,000

Lampiran 2 : Jadwal Penelitian

No	Kegiatan	April				Mei				Juni				Juli				Agustus				September			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Seminar Awal	■	■																						
2	Penyusunan Instrumen		■	■	■	■	■																		
3	Analisis		■	■	■	■	■																		
4	Desain					■	■	■				■													
5	Implementasi									■	■	■	■	■	■	■	■								
6	Evaluasi													■	■	■	■	■	■	■	■				
7	Penyusunan Laporan					■	■															■	■	■	
8	Seminar Hasil											■	■			■	■					■	■	■	■
9	Publikasi Ilmiah																							■	■

**DAFTAR RIWAYAT HIDUP PENELITI
KETUA**

1. Identitas Peneliti

- a. Nama Lengkap : Dr. Fatchul Arifin, S.T., M.T.
- b. Tempat, Tanggal Lahir : Jawa Timur, 8 Mei 1972
- c. Jabatan Fungsional : 19720508 199802 1 002
- d. Program Studi : Pendidikan Teknik Elektronika
- e. Jurusan : Pendidikan Teknik Elektronika
- f. Alamat Rumah : Jl Bone Timur III No 34 B, RT 01 RW II,
Banyuanyar, Banjarsari, Surakarta, Jawa Tengah.
- g. Telpon/Faks/HP : +6285725125326
- h. e-mail : fatchul@uny.ac.id / fatchul.ar@gmail.com

2. Pendidikan

Jenjang	Nama Perguruan Tinggi dan Lokasi	Tahun Lulus	Program Studi
S3	Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya	2014	Teknik Elektro
S2	Institut Teknologi Bandung (ITB), Bandung	2003	Teknik Elektro
S1	Universitas Diponegoro, Semarang	1996	Teknik Elektro

3. Pengalaman Penelitian 5 Tahun Terakhir

NO	Judul Penelitian	Sumber Dana	Tahun
1.	Intonation Classification of speech Base on Neck Muscle EMG Signal	Dikti (Hibah doktor)	2013
2.	Helping Device for Speech Base on Microcamera II	Dikti (Hibah bersaing)	2012-2011
3.	ElectroLarynx, Esopahgus, and Normal Speech Classification using Gradient Discent, Gradient discent with momentum and learning rate, and Levenberg-Marquardt Algorithm	Mandiri	2009
4.	Modul of Speech Recognition system Using Matlab	Mandiri	2009
5.	Modul of pattern Recognition based on MicrocontRoller ATemega 16	DIPA UNY	2009
6.	Electronic Nose For detecting of Impure Gasoline	Dikti (Hibah Bersaing)	2008
7.	Remote Fuzzy Logic ContRoller Based on WEB	Dikti (Dosen Muda)	2007
8.	Design and Simulation Vehicle Suspension Based on Optimal Control	Dikti (Dosen Muda)	2006

9.	Fuzzy Logic as Mobile Robot Navigation controller, Funded By DIKTI	Dikti (Dosen Muda)	2005
10.	Classification of Pap Smear result (cancer) based on Artificial Neural Network,	Dikti (Dosen Muda)	

4. Publikasi Karya Ilmiah 5 Tahun Terakhir

NO	Judul Karya Ilmiah	Media Publikasi	Tahun
1.	The Relationship between Electromyography Signal of Neck Muscle and Human Voice Signal for Controlling Loudness of Electrolarynx	International Journal terindeks Scopus: Biomedical Engineering – Application Basis and Communication	2014
2.	Electrolarynx Voice Recognition Utilizing Pulsed Coupled Neural Network	Jurnal Nasional terakreditasi “IPTEK”, Institut Teknologi Surabaya	2010
3.	Desain dan simulasi Sistem suspense Mobile Berbasis Kendali Optimal	Jurnal Nasional TELKOMNIKA, Ahmad Dahlan University, Yogyakarta, Indonesia	2006
4.	Klasifikasi Kanker (Hasil Pap Smear) Berbasis Jaringan Syaraf Tiruan	Jurnal Nasional SAINSTEK, Yogyakarta State University, Yogyakarta, Indonesia	2005
5.	Pelacak posisi solar cell berbasis Microcontroller 8051	Jurnal Nasional JPTK, Yogyakarta State University, Yogyakarta	1999

No.	Nama Pertemuan Ilmiah/Seminar	Judul Artikel Ilmiah	Waktu dan Temp
1	International Seminary BME Days (Biomedical Engineering)	Esophageal Speech Recognition Utilizing Pulsed Coupled Neural Network	2010, Surabaya
2	ICGC (International Conference Green Computing) 2010 and AUN/SEED	ElectroLarynx, Esopahgus, and Normal Speech Classification using Gradient Discent, Gradient discent with momentum and learning rate, and Levenberg-Marquardt Algorithm	2010, Yogyakarta
3	International Conference on Communication Technology & System	Electronic Nose For detecting of Impure Gasoline	2009, Surabaya

Yogyakarta, 1 Maret 2015

Dr. Fatchul Arifin, S.T., M.T.
NIP. 19720508 199802 1 002

**DAFTAR RIWAYAT HIDUP PENELITI
ANGGOTA 2**

1. Identitas Peneliti

- a. Nama Lengkap : Muslikhin, S.Pd., M.Pd.
- b. Tempat, Tanggal Lahir : Demak, 1 Januari 1985
- c. Jabatan Fungsional : 19850101 201404 1 001
- d. Program Studi : Pendidikan Teknik Elektronika
- e. Jurusan : Pendidikan Teknik Elektronika
- f. Alamat Rumah : Griya Ketawang Permai L7, Mejing Lor,
Gamping, Sleman
- g. Telpon/Faks/HP : 0856 4354 3046
- h. e-mail : muslikhin@uny.ac.id

2. Pendidikan

Jenjang	Nama Perguruan Tinggi dan Lokasi	Tahun Lulus	Program Studi
S2	UNY Yogyakarta	2013	Pendidikan Teknologi dan Kejuruan
S1	UNY Yogyakarta	2011	Pendidikan Teknik Elektronika
D3	UNY Yogyakarta	2008	Teknik Elektronika

3. Pengalaman Penelitian 5 Tahun Terakhir

NO	Judul Penelitian	Sumber Dana	Tahun
1.	Model Pembelajaran Elearning untuk Sekolah Menengah Kejuruan	DIKTI	2013
2.	Pengembangan <i>Decision Support System</i> (DSS) untuk Menentukan Metode Pelatihan <i>E-learning</i> Berbasis Moodle Bagi Guru SMK	Mandiri (tesis)	2013
3.	Desain <i>Wind Turbine</i> Daya 400 Watt Model Sayap Elang untuk Tipe <i>High Speed RPM Low Wind</i>	RISTEK	2012
4.	Rancang Bangun <i>Electronics Data Record</i> (EDR) sebagai Data Analisis pada Latihan Atlet Lempar Lembing dan Lempar Cakram Dilengkapi <i>Multistage Fitness Test</i>	KEMENEGPO RA	2011
5.	Meningkatkan Keterampilan Gambar Teknik melalui metode <i>Reinforcement Learning</i> Menggunakan Media Proteus 7.4	Mandiri (penelitian)	2011
6.	<i>Chemicelectroconcrete</i> sebagai Bahan Beton dengan Kemampuan <i>Blocked-Passed Signal</i> untuk Komunikasi <i>Handphone</i> (HP) pada Bangunan Gedung	INDOCEMEN T	2010

7.	Alat Pendeteksi Asap Rokok Berbasis AT89S52 dengan Output Suara	DIKTI	2010
----	---	-------	------

4. Publikasi Karya Ilmiah 5 Tahun Terakhir

NO	Judul Karya Ilmiah	Media Publikasi	Tahun
1.	Pengembangan <i>Decision Support System</i> (DSS) untuk Menentukan Metode Pelatihan <i>E-learning</i> Berbasis Moodle Bagi Guru SMK	Proceedings Seminar Nasional Pendidikan Vokasi 2013 FT UNY	2013 ISBN: 978-602 7981-24-9
2.	<i>Chemicelectroconcrete</i> sebagai Bahan Beton dengan Kemampuan <i>Blocked-Passed Signal</i> untuk Komunikasi <i>Handphone</i> (HP) pada Bangunan Gedung	Proceedings Seminar Nasional Kimia 2010 FMIPA UNY	2010 ISBN 978-789-98117-7-6
3.	<i>Mobile Video Robot</i> Berbasis <i>Personal Computer</i> (PC)	Jurnal Pelita Vol. IV, No. 2 Agustus 2010	2009 ISSN 1858-4446

Yogyakarta, 1 Desember 2015

Muslikhin, S.Pd., M.Pd.
NIP. 19850101 201404 1 001

**DAFTAR RIWAYAT HIDUP
ANGGOTA 3**

1. Identitas Peneliti

- a. Nama Lengkap : Muhammad Izzuddin Mahali, M.Cs.
- b. Tempat, Tanggal Lahir : Sleman, 9 Desember 1984
- c. Jabatan Fungsional : 19841209 201504 1 001
- d. Program Studi : Pendidikan Teknik Elektronika
- e. Jurusan : Pendidikan Teknik Elektronika
- f. Alamat Rumah : Krapyak RT10/RW21 Triharjo Sleman
Yogyakarta
- g. Telpn/Faks/HP : HP. 081215300118
- h. e-mail : izzudin@uny.ac.id / m.izzuddin.m@gmail.com

2. Pendidikan

Jenjang	Nama Perguruan Tinggi dan Lokasi	Tahun Lulus	Program Studi
S3	-	-	-
S2	UGM Yogyakarta	2013	Magister Ilmu Komputer
S1	UNY Yogyakarta	2007	Pendidikan Teknik Elektronika

1. Pengalaman Penelitian 5 Tahun Terakhir

6.	Judul Penelitian	Sumber Dana	Tahun
1	Pelacakan Benda Bergerak Menggunakan Metode Mean-Shift Dengan Perubahan Skala Dan Orientasi	Mandiri (Tesis)	2013
2	Hubungan antara persepsi siswa Terhadap media pembelajaran multimedia Dan minat belajar siswa dengan prestasi belajar siswa Pada mata diklat edk kelas 1av1 smk n 3 yogyakarta Tahun pelajaran 2007/2008	Mandiri (Penelitian)	2007
3	PPM		2015

2. Publikasi Karya Ilmiah 5 Tahun Terakhir

7.	Judul Karya Ilmiah	Media Publikasi	Tahun
1	-		
2	-		

Yogyakarta, 1 Maret 2015

Muhammad Izzuddin Mahali, M.Cs.
NIP. 19841209 201504 1 001

Lampiran 6 : Daftar Riwayat Hidup Mahasiswa 1

**DAFTAR RIWAYAT HIDUP
MAHASISWA 1**

Nama : Muhammad Agus Satriyo
Tempat, Tanggal lahir : Semarang, 18 Oktober 1994
NIM : 12507134024
Semester : VI
Jurusan/Prodi : Teknik elektronika D3
Alamat : Sendang Tirto Berbah Sleman
Judul Proyek Akhir : *Automatic Navigation GPS Control pada Quadcopter*
Pembimbing Proyek Akhir : Dr. Fatchul Arifin, S.T., M.T.

Yogyakarta, 1 Maret 2015

Muhammad Agus Satriyo
NIM 12507134024

Lampiran 7 : Daftar Riwayat Hidup Mahasiswa 2

**DAFTAR RIWAYAT HIDUP
MAHASISWA 1**

Nama : Daniel Julianto
Tempat, Tanggal lahir : Kebumen, 29 Agustus 1995
NIM : 13502241024
Semester : IV
Jurusan/Prodi : Pendidikan Teknik elektronika
Alamat : Samirono CTVI/032

Yogyakarta, 1 Maret 2015

Daniel Julianto
NIM. 13502241024

Lampiran 8 : Daftar Riwayat Hidup Mahasiswa 3

**DAFTAR RIWAYAT HIDUP
MAHASISWA 1**

Nama : Akbar Aliyavi
Tempat, Tanggal lahir : Cilacap, 19 Januari 1995
NIM : NIM. 13502241012
Semester : Semseter IV
Jurusan/Prodi : Pendidikan Teknik elektronika
Alamat : Papringan Condong Catur Depok Sleman

Yogyakarta, 1 Maret 2015

Akbar Aliyavi
NIM. 13502241012

ORGANISASI TIM PELAKSANA

No.	Nama dan NIP	Kedudukan	Tugas
1	Dr. Fatchul Arifin, S.T., M.T. NIP. 19720508 199802 1 002	Ketua	Penyusun konsep sistem, mengkoordinir jalannya program
2	Muslikhin, S.Pd., M.Pd. NIP. 19850101 201404 1 001	Anggota 1	Pengembangan dan Penyusunan konsep Produk <i>Quadcopter</i>
3	Muhammad Izzuddin Mahali, S.Pd.T., M.Cs.	Anggota 2	Pengembangan dan Penyusunan Konsep Stabilizer camera, Web streaming
4	Muhammad Agus Satriyo NIM. 12507134024	Mahasiswa 1	Pelaksana pengembangan <i>Quadcopter</i>
5	Daniel Julianto NIM. 13502241024	Mahasiswa 2	Pelaksana pengembangan Web Streaming
6	Akbar Aliyavi NIM. 13502241012	Mahasiswa 3	Pelaksana Pengembangan Stabilizer Camera