

## Pengambilan Data Terbang *Quadcopter* sebagai Data Latih pada Sistem Kendali Jaringan Saraf Tiruan Propagasi Balik

### *Quadcopter Flight Data Acquisition as a Training Data for Backpropagation Neural Network Control Systems*

MUHAMMAD HAZIM<sup>1</sup>, KARLISA PRIANDANA<sup>1\*</sup>, WULANDARI<sup>1</sup>

#### Abstrak

Saat ini sistem kendali yang populer digunakan pada *quadcopter* adalah kendali *proportional, integral, derivate* (PID) karena algoritme tersebut sederhana. Namun pada implementasinya, PID membutuhkan penyetelan parameter yang memakan waktu dan rentan terhadap kesalahan. Oleh karena itu, sistem kendali jaringan saraf tiruan propagasi balik untuk *quadcopter* saat ini mulai banyak dikembangkan karena menawarkan stabilisasi yang lebih baik dari faktor-faktor yang tidak diketahui dan data sensor yang mengandung *noise*. Akan tetapi, sistem kendali jaringan saraf tiruan propagasi balik memerlukan data latih yang akurat dan dapat mewakili seluruh kemungkinan kondisi terbang *quadcopter*. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh data terbang *quadcopter* dari data *log* sensor dan aktuator yang ada di *quadcopter*, yaitu giroskop, akselerometer, magnetometer, barometer, GPS, dan *pulse width modulation output*. Pengambilan data dilakukan dengan menerbangkan *quadcopter* secara otomatis dengan koordinat awal dan akhir yang telah ditentukan untuk mengisi data *log* terbang. Data *log* terbang diambil menggunakan perangkat lunak Mission Planner. Data *log* akan di praproses untuk kemudian dilakukan sinkronisasi *time sampling*. Sinkronisasi dilakukan dengan mengikuti data sensor yang *time sampling*-nya paling besar. Hasil dari penelitian ini adalah data terbang dari sensor dan *pulse width modulation output quadcopter* yang telah disinkronisasi untuk menjadi data latih jaringan saraf tiruan propagasi balik.

Kata Kunci: data terbang *quadcopter*, jaringan saraf tiruan propagasi balik, *quadcopter*, sistem kendali

#### Abstract

Currently the control system that is popularly used in *quadcopter* is *proportional, integral, derivative* (PID) control because the algorithm is simple. But in its implementation, PID requires tuning parameters that are time-consuming and prone to errors. Therefore, the backpropagation neural network control system for *quadcopter* is being developed widely because it offers better stabilization of unknown factors and sensor data that contains noise. However, the backpropagation neural network control system requires training data that is accurate and can represent all possible conditions for *quadcopter* flight. This study aims to obtain *quadcopter* flying data from *log* sensor and actuator data in *quadcopter*, namely gyroscope, accelerometer, magnetometer, barometer, GPS, and *pulse width modulation output*. Data retrieval is done by flying the *quadcopter* automatically with the predetermined start and final coordinates to fill in the flying log data. Flying log data is taken using the Mission Planner software. The log data will be preprocessed for synchronization of time sampling. Synchronization is based on the sensor data with the largest time sampling. The results of this study are flying data from sensors and *pulse width modulation quadcopter output* that has been synchronized to become backpropagation neural network training data.

Keywords: backpropagation neural network, control systems, *quadcopter*, *quadcopter* flying data.

## PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi khususnya di bidang elektronika dan instrumentasi telah menciptakan suatu inovasi berupa *unmanned aerial vehicle* (UAV). Menurut Dharmawan dan

<sup>1</sup>Departemen Ilmu Komputer, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor, Jl. Meranti Wing 20 lv 5-6, Kampus IPB Dramaga, Dramaga, Bogor 16680;

\*Penulis korespondensi: surel karlisa@apps.ipb.ac.id

Firdaus (2012), UAV adalah sebuah perangkat yang dapat terbang dengan memanfaatkan hukum aerodinamika, baik dikendalikan dari jarak jauh dengan *remote control* atau secara otomatis dapat menavigasikan dirinya sendiri dengan autopilot. UAV dapat diaplikasikan untuk kebutuhan survey pertanian (Patel *et al.* 2013), patroli (Priambodo *et al.* 2012), fotografi margasatwa (Radiansyah *et al.* 2017), pencarian dan pertolongan (Naidoo *et al.* 2011), dan keperluan lainnya. Menurut Harista dan Nuryadi (2018) UAV dapat dibagi berdasarkan jumlah motor yang digunakan, salah satunya adalah *quadcopter* yang memiliki empat motor sebagai penggerak (Dharmawan dan Firdaus 2012). Menurut Setyawan *et al.* (2015) pengendalian *quadcopter* dilakukan dengan memvariasikan kecepatan pada masing-masing motor. Selain rotor yang dilengkapi baling-baling, *quadcopter* juga memiliki komponen lain untuk dapat beroperasi seperti unit kontrol utama yang mengatur proses komponen lain, baterai sebagai suplai daya, *global positioning system* (GPS) untuk menentukan *geolocation*, magnetometer untuk menentukan arah, barometer untuk menentukan ketinggian, giroskop untuk menentukan orientasi sikap, akselerometer untuk menentukan besaran akselerasi, radio telemetri untuk komunikasi data, serta penerima radio *remote control*.

Sistem yang mengatur pergerakan, keseimbangan, dan posisi *quadcopter* ketika terbang dapat disebut sebagai sistem kendali *quadcopter*. Saat ini, sistem kendali yang populer digunakan pada *quadcopter* adalah kendali *proportional, integral, derivate* (PID) karena algoritme tersebut sederhana (Burman 2016) dan memiliki respons yang cepat (Setyawan *et al.* 2015). Penelitian-penelitian lain yang telah dilakukan pada *quadcopter* sebelumnya antara lain penelitian dari Setyawan *et al.* (2015) tentang pengendalian sistem *quadcopter* menggunakan PID dan penelitian Heryanto *et al.* (2017) tentang kendali sikap (*attitude*) dan ketinggian (*altitude*) *quadcopter* menggunakan jaringan saraf tiruan berbasis skema *direct inverse control*.

Kendali PID, menurut Zulu dan John (2014), memiliki stabilisasi sikap yang relatif bagus, waktu respon yang baik, dan hampir mendekati kondisi galat nol. Namun pada implementasinya, perlu dilakukan penyetelan variasi konstanta proporsional PID karena berpengaruh pada respons sistem (Bansal *et al.* 2012). Menurut Burman (2016), penyetelan parameter pada kendali PID dilakukan dengan cara *trial and error* untuk menentukan nilai yang optimal. Proses ini memakan waktu dan rentan terhadap kesalahan. Karenanya, menurut Burman (2016) pendekatan berbasis jaringan saraf tiruan menggunakan teknik propagasi balik atau *backpropagation neural network* (BPNN) dapat menjadi alternatif kendali PID.

BPNN (Busecma 1998) merupakan keluarga luas dari jaringan saraf tiruan (JST), yang arsitekturnya terdiri atas berbagai lapisan yang saling berhubungan. BPNN mewakili jenis JST, yang algoritme pembelajarannya didasarkan pada teknik *deepest-descent*. Jika dijalankan dengan jumlah unit tersembunyi yang sesuai, teknik ini dapat meminimalkan kesalahan fungsi nonlinear dengan kompleksitas tinggi. Oleh karena itu, sistem kendali dengan BPNN dapat menawarkan stabilisasi yang lebih baik dari faktor-faktor yang tidak diketahui dan data sensor yang mengandung *noise* (Burman 2016).

BPNN telah diterapkan sebelumnya pada robot beroda (Priandana *et al.* 2018) yang kemudian ditingkatkan dengan memperbaiki kualitas data latih yang digunakan (Priandana *et al.* 2020). Berdasarkan kedua penelitian tersebut, pengembangan sistem kendali memerlukan data latih yang memiliki kualitas tinggi untuk mencapai performa yang diharapkan. Pada kasus *quadcopter*, selain data latih yang akurat dan baik, data latih juga harus mewakili seluruh kemungkinan kondisi terbang *quadcopter*. Kondisi terbang ini antara lain meliputi manuver/gerakan, orientasi sikap dalam menjaga keseimbangan, pengarahannya *heading*, dan kecepatan putaran rotor baling-baling yang dilakukan *quadcopter* ketika menjalankan misi menuju titik tujuan.

Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengakuisisi data terbang *quadcopter* dari data *log* sensor dan aktuator yang ada di *quadcopter* (giroskop, akselerometer, magnetometer, barometer, GPS, dan *pulse width modulation output* (PWM)). Penelitian dilakukan dengan batasan berikut, yaitu pengambilan data terbang menggunakan *quadcopter* yang dirakit oleh peneliti, data terbang yang digunakan merupakan data perjalanan *quadcopter* dari koordinat

awal ke koordinat tujuan yang telah ditentukan, lingkungan penerbangan dilakukan pada ruang terbuka dengan permukaan datar tanpa ada rintangan. dan dilakukan praproses data terbang untuk disiapkan menjadi data latih BPNN. Data yang dikumpulkan pada penelitian ini akan menjadi data latih pada metode BPNN yang akan dilaksanakan pada penelitian selanjutnya.

## METODE

Penelitian ini terdiri atas 6 tahapan. Tahapan-tahapan yang dilakukan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.

### Perakitan *Quadcopter*

Pada tahap ini, komponen-komponen *quadcopter* dirakit hingga terintegrasi satu dengan lainnya menjadi sebuah *quadcopter* yang utuh. Komponen perangkat keras yang digunakan adalah *flight controller* Radiolink Pixhawk, modul GPS UBLOX NEO-7M, RC *receiver* Turnigy 9X 8C v2, baterai Turnigy 2200mAh 25-30C, 4 ESC Simonk 30A, 4 *brushless motor* A2212/13T 1000KV, 2 433Mhz *telemetry* radio 500mA, RC PPM *encoder*, *power module*, *safety switch*, *buzzer*, F450 *quadcopter frame*, 4 *propeler*, dan 4 *propeler shield*. Selain itu, perangkat keras pendukung berupa *remote control* Turnigy TGY 9x juga digunakan untuk mengendalikan *quadcopter*. Diagram koneksi antar komponen sistem *quadcopter* diilustrasikan dalam diagram blok sistem pada Gambar 2.

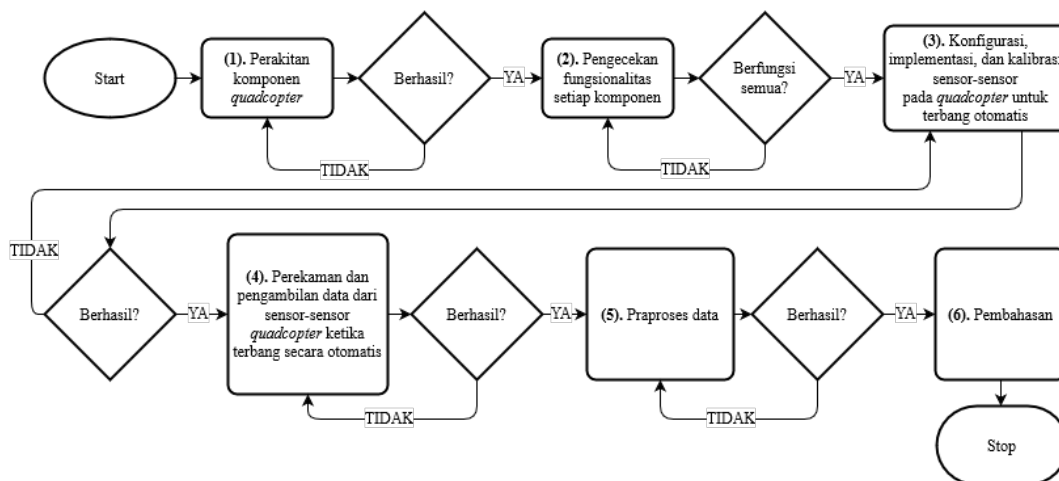
### Pengecekan Fungsionalitas Komponen

Pengecekan fungsionalitas komponen dilakukan untuk memastikan seluruh komponen berfungsi secara normal. Pengecekan dilakukan pada delapan hal utama yang meliputi:

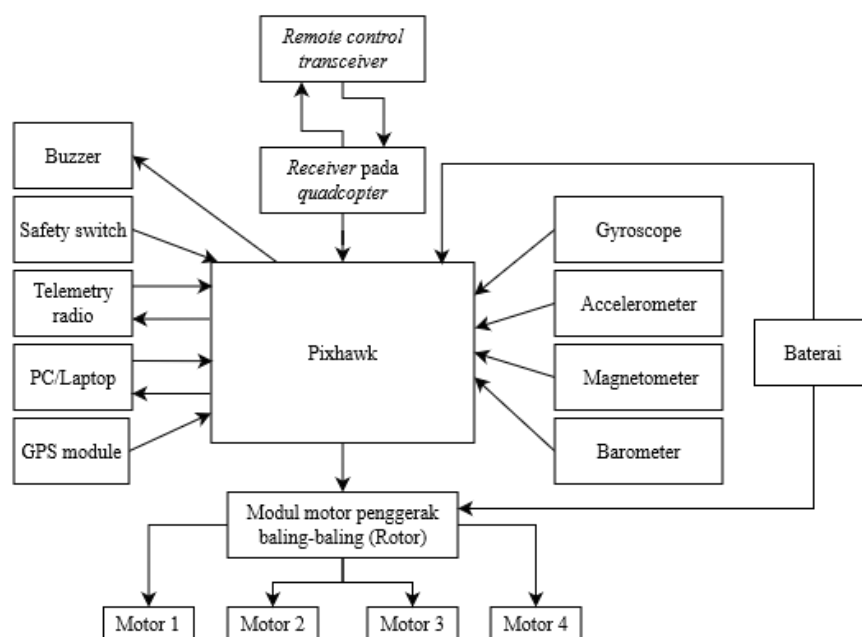
- Pengecekan *flight controller* yang menyala ketika diberi daya dari baterai maupun laptop/PC.
- Pengecekan komunikasi antara *flight controller* dan komputer menggunakan kabel *universal serial bus* (USB) tipe mikro dan radio telemetri.
- Pengecekan fungsi *flight controller* untuk mendeteksi sensor dan komponen lain yang terhubung.
- Pengecekan giroskop dan akselerometer untuk mendeteksi perubahan orientasi sudut, gerakan, dan percepatan.
- Pengecekan barometer untuk mendeteksi perubahan ketinggian.
- Pengecekan *remote control* untuk menerima masukan sinyal dari *remote control*.
- Pengecekan modul GPS untuk menangkap sinyal satelit GPS dan penguncian lokasi *quadcopter*.
- Pengecekan fungsi putaran motor dengan daya dari *electronic speed control* (ESC) melalui sinyal yang diberikan dari *flight controller*.

### Konfigurasi, Implementasi, dan Kalibrasi Sensor pada *Quadcopter* untuk Penerbangan Otomatis

Pada tahap ini, perangkat lunak Mission Planner digunakan untuk konfigurasi *flight controller* dan kalibrasi sensor. Selanjutnya, konfigurasi untuk terbang otomatis diatur berdasarkan koordinat awal dan tujuan. Pada penelitian ini akan dilakukan misi penerbangan dari dekat tribun di lapangan gimnasium Institut Pertanian Bogor hingga lurus sejauh  $\pm 100$  meter ke tepi lapangan. Rute penerbangan lurus ini dipilih karena paling sederhana dan tidak membutuhkan banyak manuver yang cepat menghabiskan baterai. Setelah konfigurasi dan kalibrasi selesai, misi penerbangan otomatis sudah dapat dilakukan.



Gambar 1 Tahapan penelitian.

Gambar 2 Diagram blok sistem *quadcopter*.

### Perekaman dan Akuisisi Data

Ketika *quadcopter* memulai misi secara otomatis, *quadcopter* akan melakukan pencatatan data dari sensor dan PWM secara berkala. Catatan ini disebut *data flash log* yang tersimpan dalam media penyimpanan kartu MicroSD. Setelah berhasil menyelesaikan misi penerbangan, *data flash log* dapat diunduh menggunakan perangkat lunak Mission Planner melalui kabel yang menghubungkan *flight controller* dengan komputer.

### Praproses Data

Data *log* akan dipraproses dengan memotong data sesuai kebutuhan, membuang atribut yang tidak diperlukan, dan mensinkronisasi data ke data yang memiliki *time sampling* paling besar menggunakan program C++ yang dibuat untuk penelitian ini.

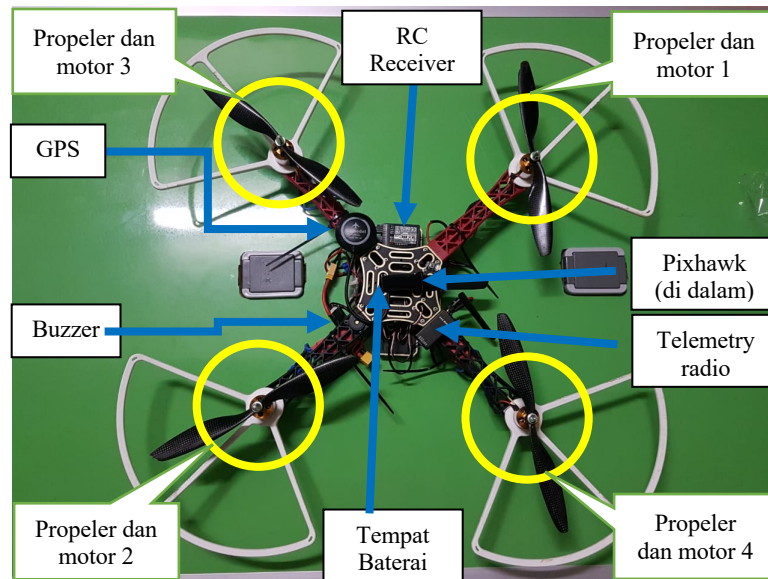
### Pembahasan

Data yang telah diolah ditampilkan dalam bentuk grafik dan tabel, kemudian dianalisis dari segi hubungan antara trend data dengan pengamatan di lapangan saat pengambilan data. Hal ini dilakukan untuk mempermudah justifikasi apabila data telah digunakan untuk memodelkan sistem dalam sistem kendali, terutama apabila ada ketidaksesuaian.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Perakitan

Hasil dari perakitan *quadcopter* dapat dilihat pada Gambar 3. Pada rangka f450, terdapat dua lapisan. Lapisan digunakan untuk memasang *flight controller* Pixhawk, sedangkan lapisan atas digunakan untuk memasang baterai. Modul GPS, *buzzer*, radio telemetry, dan *safety switch* dipasangkan di pangkal dari keempat lengan *quadcopter*. Penerima *remote control* dipasangkan di depan *quadcopter* pada lapisan bawah. Keempat propeler dan motor dipasangkan pada ujung-ujung lengan *quadcopter* dan modul ESC dipasangkan di bawah keempat lengan *quadcopter*.



Gambar 3 Hasil dan detail komponen *quadcopter* setelah perakitan.

### Pengambilan dan Praproses Data Terbang

*Quadcopter* diterbangkan otomatis sesuai misi yang diberikan untuk melakukan *logging* data penerbangan. Setelah menjalankan misi, *dataflash log* dari *quadcopter* diunduh dan diekstraksi. Hasil ekstraksi *dataflash log* berupa data terbang mentah yang memiliki empat ratus empat atribut. Dari seluruh atribut tersebut, empat puluh atribut yang menjadi data masukan dari sensor dan keluaran dari *quadcopter* dipilih berdasarkan dokumentasi Ardupilot ([ardupilot.org](http://ardupilot.org)). Atribut-atribut tersebut dikelompokkan menjadi sembilan kelompok yang dapat dilihat pada Tabel 1. Masing-masing atribut memiliki perbedaan rentang waktu perekaman data dengan data selanjutnya yang disebabkan kecepatan pembacaan data pada masing-masing sensor tidak sama. Rentang waktu pada kecepatan pembacaan data ini disebut sebagai *time sampling*.

Pengambilan dan praproses dilakukan menggunakan program C++ yang dibuat. Program C++ tersebut juga membuang *record* yang tidak memiliki salah satu dari ke 9 kelompok atribut dan memilih kelompok atribut yang terekam lebih dari satu kali pada *record* yang sama dengan selisih waktu rekam paling kecil terhadap kelompok atribut yang memiliki *time sampling* paling besar. Proses memilih kelompok atribut yang terekam lebih dari satu kali pada *record* yang sama ini dapat disebut sebagai sinkronisasi *time sampling*. Hal ini dilakukan karena *time sampling* dari beberapa kelompok atribut tidak sama sehingga proses sinkronisasi diperlukan agar jumlah dan rentang waktu setiap kelompok atribut menjadi sama.

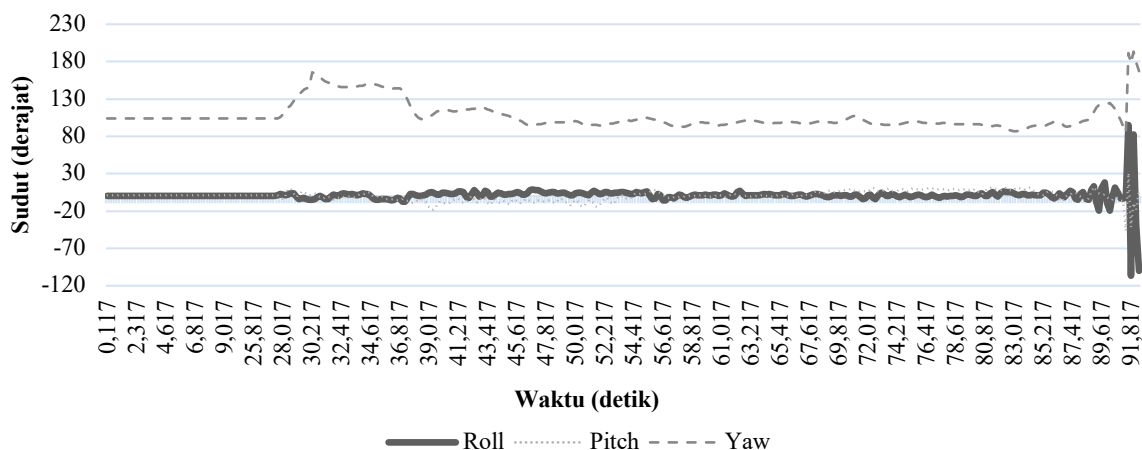
*Time sampling* dari 9 kelompok atribut data terbang dapat dikelompokkan menjadi tiga, yaitu dengan *time sampling* paling besar adalah GPS dan GPA dengan 0.2 detik, *time sampling* yang paling kecil adalah IMU dan IMU 2 dengan 0.04 detik, dan sisanya memiliki *time sampling* 0.1 detik. Pada data terbang *raw*, kelompok atribut yang frekuensi

Tabel 1 Atribut-atribut *input* dan *output* sistem *quadcopter*

Kelompok Atribut	Nama Atribut	Deskripsi
<i>Attitude</i>	<i>Roll</i>	Sudut <i>roll quadcopter</i> yang sebenarnya dalam derajat ( <i>roll</i> kiri negatif, kanan positif)
	<i>Pitch</i>	Sudut <i>pitch quadcopter</i> yang sebenarnya dalam derajat ( <i>pitch</i> maju negatif, <i>pitch</i> kembali positif)
	<i>Yaw</i>	Arah <i>quadcopter</i> yang sebenarnya dalam derajat dengan 0 = utara
<i>Control, Throttle and altitude information</i> (CTUN)	<i>Barometer Altitude</i>	<i>Barometer Altitude</i> : Ketinggian di atas tanah berdasarkan <i>barometer</i> dalam meter
	<i>Climb Rate</i>	<i>Climb Rate</i> : Accelerometer + perkiraan <i>barometer</i> dalam cm/s
<i>Global positioning system</i> (GPS)	<i>Latitude</i>	Latitude berdasarkan GPS
	<i>Longitude</i>	<i>Longitude</i> berdasarkan GPS
	Kecepatan Horizontal HDop	Kecepatan gerak horizontal dalam m/s Ukuran presisi GPS (1.5 baik, >2.0 tidak begitu baik)
<i>Global position accuracy</i> (GPA)	HAcc	Akurasi horizontal seperti yang dilaporkan oleh modul GPS dalam meter
	SAcc	Akurasi kecepatan seperti yang dilaporkan oleh modul GPS dalam meter
<i>Inertial measurement unit</i> (IMU)	GyrX, GyrY, GyrZ	Nilai <i>raw</i> tingkat rotasi gyro dalam deg/s untuk sumbu <i>x</i> , <i>y</i> dan <i>z</i>
	AccX, AccY, AccZ	Nilai <i>raw</i> akselerasi dalam m/s <sup>2</sup> untuk sumbu <i>x</i> , <i>y</i> dan <i>z</i>
<i>Magnetometer</i> (Kompas)	MagX, MagY, MagZ	Nilai <i>raw</i> medan magnet untuk sumbu <i>x</i> , <i>y</i> dan <i>z</i>
	OfsX, OfsY, OfsZ	Nilai <i>raw</i> offset magnetik (hanya akan berubah jika parameter COMPASS_LEARN adalah 1)
RC output (RCOUT)	C1, C2, C3, C4	C1, C2, dll: PWM <i>command</i> dikirim dari <i>flight controller</i> ke ESC/motor

ketidaklengkapannya tinggi pada sebuah *record* adalah GPS dan GPA karena memiliki *time sampling* paling besar dan kelompok atribut yang terekam lebih dari satu kali pada *record* yang sama adalah IMU dan IMU 2 karena memiliki *time sampling* paling kecil.

Setelah praproses, setiap kelompok atribut sudah memiliki jumlah yang sama dan setiap *record* sudah memiliki tepat satu dari setiap kelompok atribut. Hasil data pada kelompok atribut *attitude* diilustrasikan pada Gambar 4. Pada gambar grafik tersebut, dapat dilihat grafik dari nilai masing-masing sudut *roll*, *pitch*, dan *yaw*. Fluktuasi grafik pada masing-masing sudut dimulai pada detik ke 27 yang menandakan sikap *quadcopter* mulai berubah. Perubahan yang paling signifikan terlihat ada pada kurva *yaw* yang menunjukkan perubahan arah *heading quadcopter* seiring waktu dalam derajat sudut.

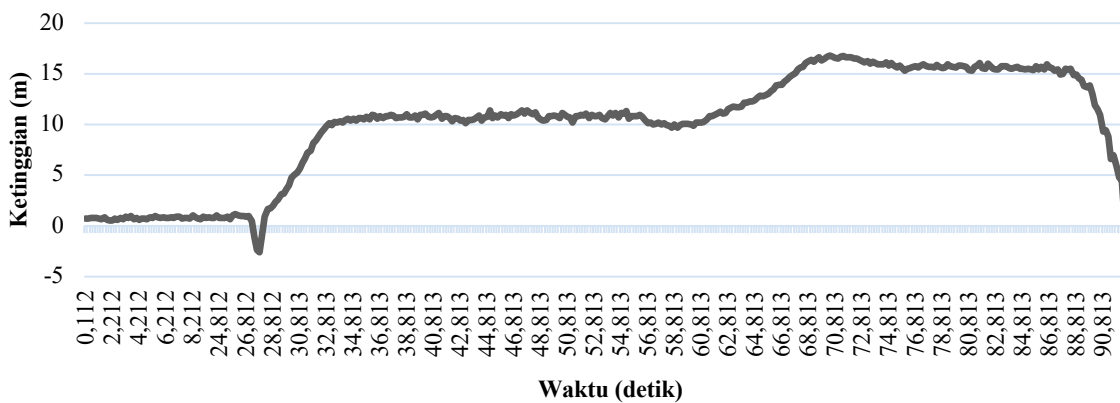


Gambar 4 Grafik nilai sikap (*attitude*) pada data terbang yang telah diproses.

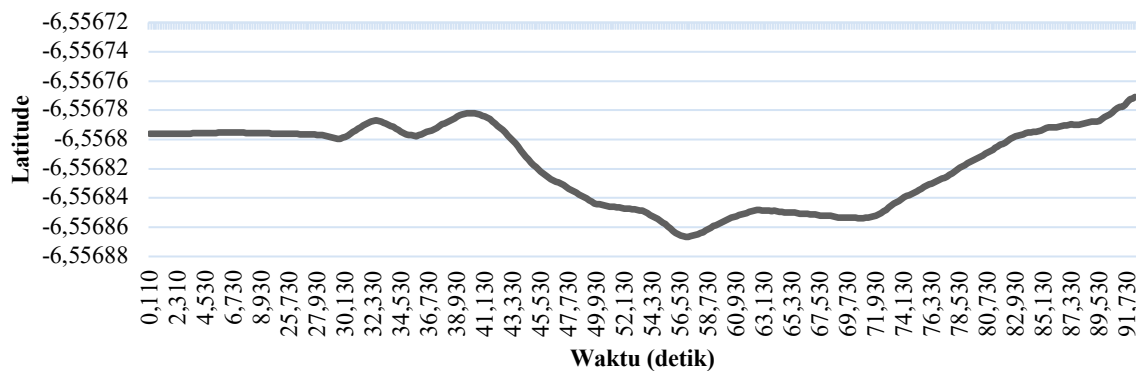
Hasil data pada kelompok atribut barometer diilustrasikan pada Gambar 5. Pada gambar grafik tersebut, dapat dilihat grafik dari nilai ketinggian dari *quadcopter*. Nilai pada grafik mulai menaik pada detik ke-27 yang menandakan *quadcopter* mulai terbang. *Quadcopter* mulai

pergi ke koordinat tujuan ketika nilai *altitude* mencapai ketinggian telah mencapai 10 meter sesuai setelan. Namun di tengah-tengah, kurva menaik ke ketinggian 15 meter. Kenaikan ketinggian ini terjadi ketika *quadcopter* telah sampai di koodinat tujuan dan akan kembali menuju koordinat awal. Kenaikan tersebut terjadi bukan dari setelan yang telah dilakukan. Pada kondisi ini, *quadcopter* dianggap mengalami masalah ketika mempertahankan ketinggian sehingga *quadcopter* menambah ketinggian agar tidak terjatuh. Pada akhirnya, grafik kurva menurun menandakan *quadcopter* menurunkan ketinggian untuk mendarat.

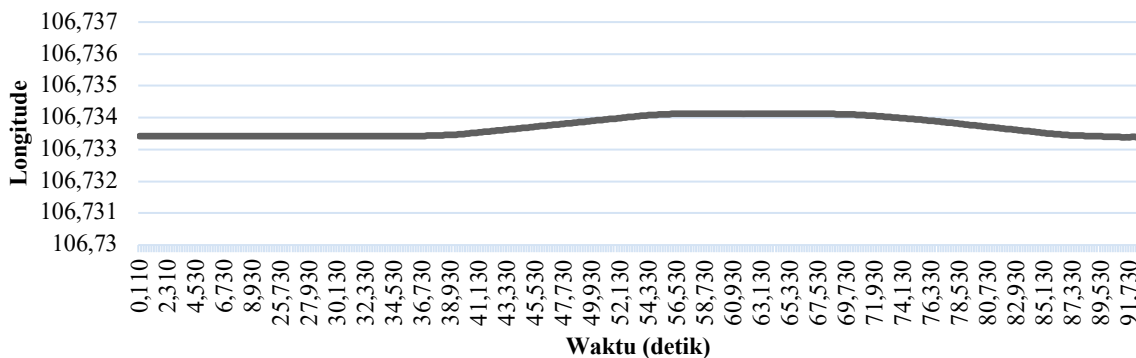
Hasil data pada kelompok atribut GPS diilustrasikan menjadi tiga grafik berdasarkan atribut *latitude*, *longitude*, dan kecepatan horizontal. Grafik data *latitude* dan *longitude* ditunjukkan pada Gambar 6 dan 7. Pada kedua grafik tersebut, dapat dilihat perubahan nilai *latitude* lebih besar dari pada perubahan nilai *longitude*. Hal ini terjadi karena pada misi yang dilakukan *quadcopter*, koordinat yang dituju dari posisi awal hanya membentuk pergerakan pada garis *latitude* sehingga nilai *longitude* tidak berubah signifikan. Perubahan kurva pada *latitude* yang signifikan menggambarkan bahwa *quadcopter* bergerak lurus.



Gambar 5 Grafik nilai barometer pada data terbang yang telah dipraproses.



Gambar 6 Grafik nilai *latitude* pada data terbang yang telah dipraproses.



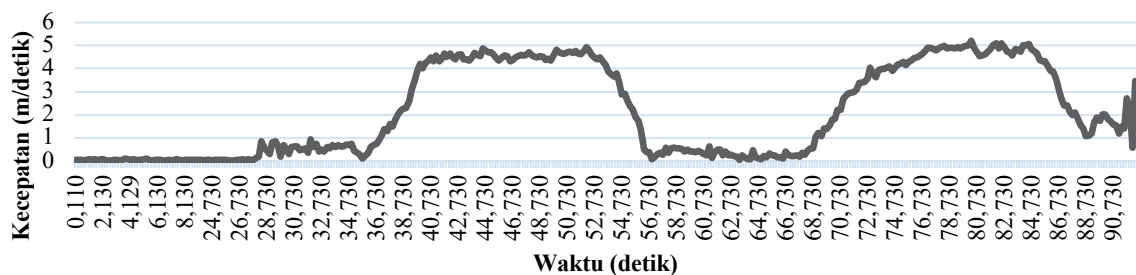
Gambar 7 Grafik nilai *longitude* pada data terbang yang telah dipraproses.

Grafik data kecepatan horizontal (Gambar 8) menunjukkan dua lembah dan dua puncak. Lembah pertama menunjukkan keadaan ketika *quadcopter* belum bergerak. Puncak pertama menunjukkan *quadcopter* sedang bergerak menuju koordinat yang dituju dengan rata-rata kecepatan 4 sampai 5 m/detik. Lembah kedua adalah kondisi ketika *quadcopter* sudah sampai di tujuan. Puncak kedua menunjukkan *quadcopter* bergerak kembali menuju posisi awal.

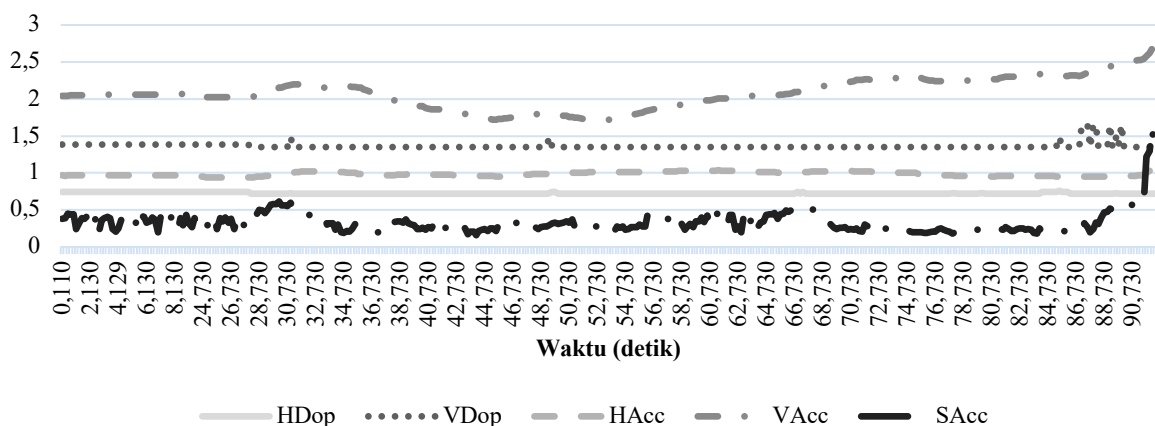
Gambar 9 memperlihatkan atribut GPA. HDop adalah akronim dari atribut *horizontal dilution of precision* yang merepresentasikan tingkat presisi posisi data horizontal dari GPS. VDop adalah akronim dari atribut *vertical dilution of precision* yang merepresentasikan tingkat presisi posisi data vetikal dari GPS. HAcc adalah akronim dari *horizontal accuracy* yang merepresentasikan tingkat akurasi data bidang horizontal dari GPS. VAcc adalah akronim dari *vertical accuracy* yang merepresentasikan tingkat akurasi data pada bidang vertikal dari GPS. SAcc adalah akronim dari *speed accuracy* yang merepresentasikan tingkat akurasi data kecepatan dari GPS.

Hasil data pada kelompok atribut IMU dan IMU 2 masing-masing diilustrasikan menjadi empat grafik, yaitu grafik giroskop sebanyak dua unit (Gambar 9 dan 10) dan akselerometer sebanyak dua unit (Gambar 11 dan 12). Grafik giroskop merepresentasikan data tingkat rotasi ketiga sudut *x*, *y*, dan *z* pada *quadcopter* selama misi penerbangan dalam satuan derajat/detik. Grafik akselerometer menunjukkan percepatan masing-masing sudut *x*, *y*, dan *z* pada *quadcopter* selama misi penerbangan dalam satuan meter/detik<sup>2</sup>.

Pada grafik akselerometer dapat dilihat bahwa kurva sudut X membentuk pola lembah landai kemudian puncak landai. Lembah yang landai terjadi karena sumbu X *quadcopter* bergerak maju. Kondisi ini menyebabkan sumbu X akan mendapat percepatan karena pergerakan maju. Nilai negatif pada kondisi ini menandakan *quadcopter* mendapat percepatan dari arah sumbu X positif atau arah *heading quadcopter*. Kemudian, kurva puncak landai menandakan *quadcopter* sedang melakukan gerakan mundur ke posisi awal. Kondisi ini akan membuat sumbu X negatif atau bagian belakang *quadcopter* akan mendapat percepatan sehingga nilainya positif. Sumbu Z *quadcopter* yang terus berada pada rentang negatif 10 menandakan percepatan gravitasi bumi yang diterima secara terus menerus selama misi berlangsung.

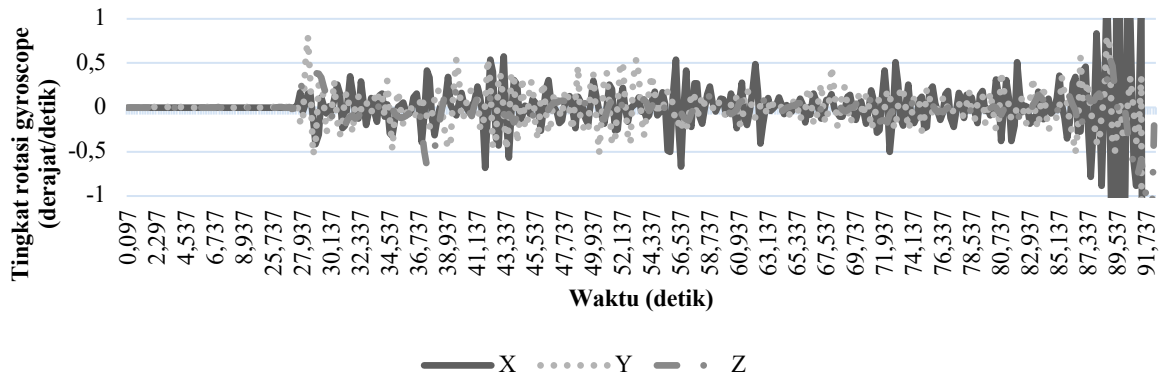


Gambar 8 Grafik nilai kecepatan horizontal pada data terbang yang telah dipraproses.

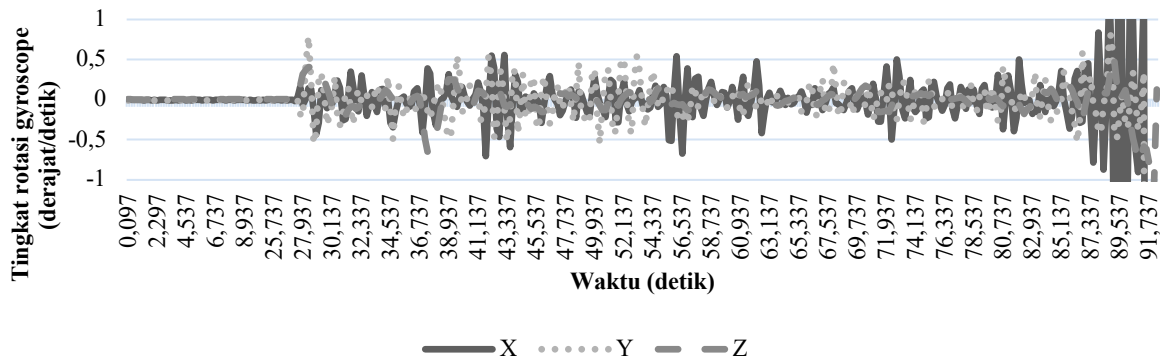


Gambar 9 Grafik nilai GPA pada data terbang yang telah dipraproses.

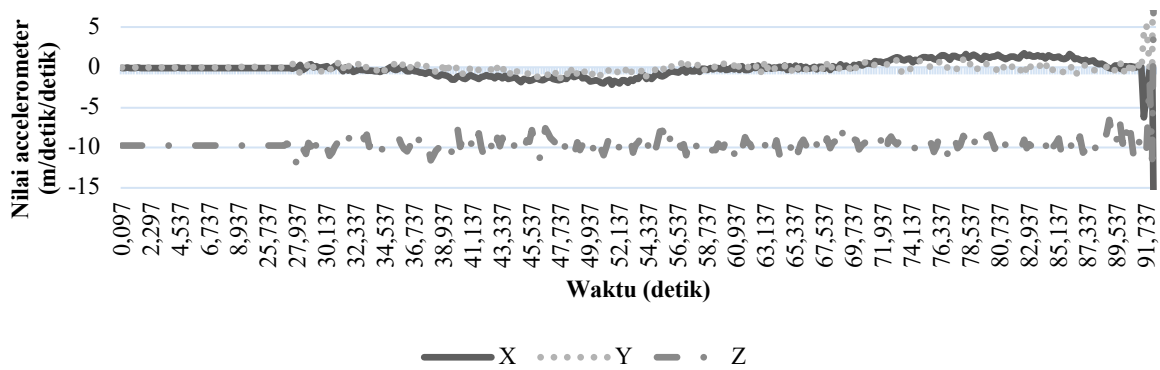




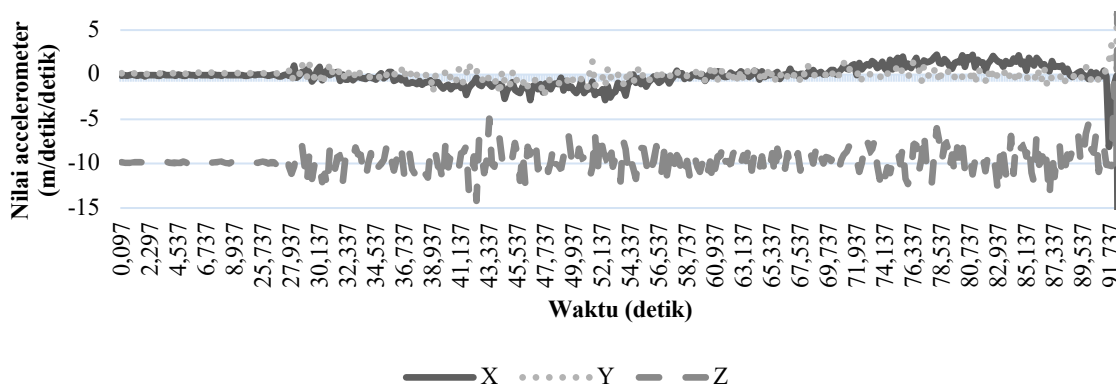
Gambar 10 Grafik nilai sensor giroskop pertama pada data terbang yang telah dipraproses.



Gambar 11 Grafik nilai sensor giroskop kedua pada data terbang yang telah dipraproses.



Gambar 12 Grafik nilai sensor akselerometer pertama pada data terbang yang telah dipraproses.



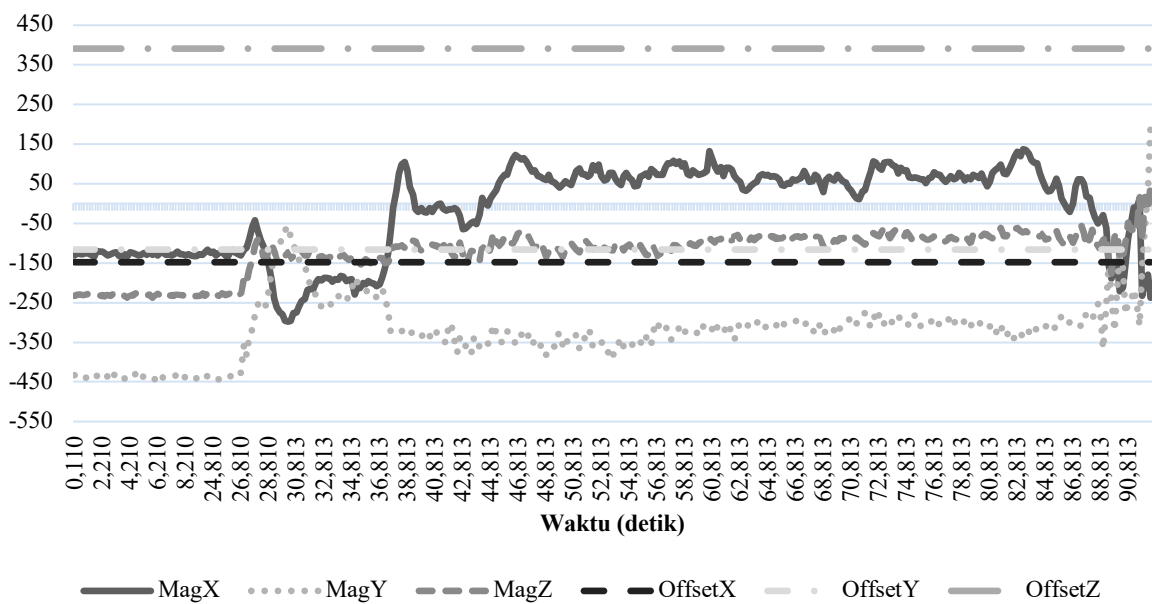
Gambar 13 Grafik nilai sensor akselerometer kedua pada data terbang yang telah dipraproses.

Hasil akuisisi data pada kelompok atribut magnetometer pertama dan magnetometer kedua masing-masing diilustrasikan oleh grafik pada Gambar 14 dan 15. Pada gambar grafik

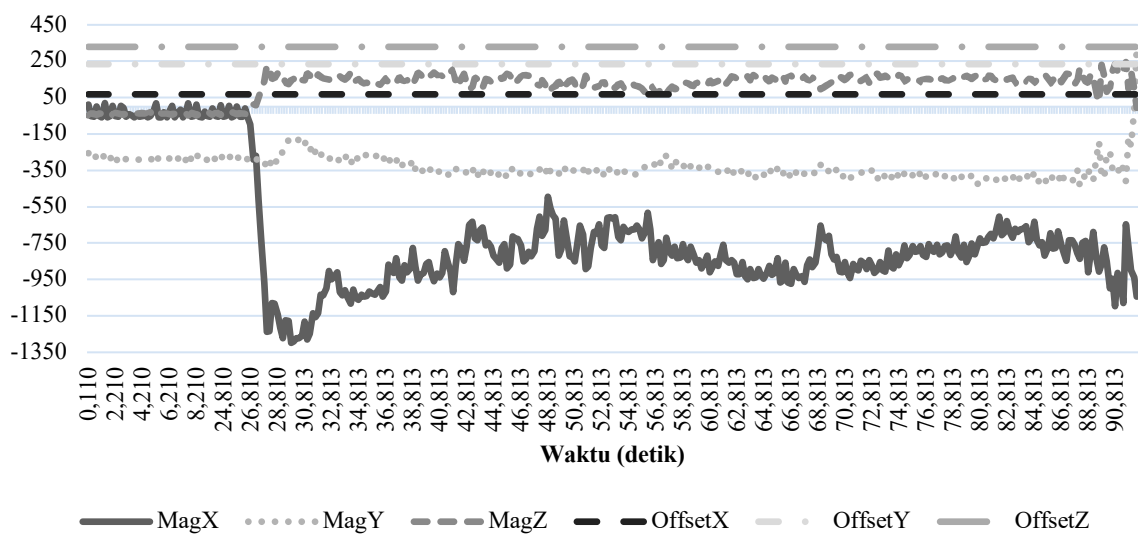
tersebut, dapat dilihat grafik dari nilai setiap atribut MagX, MagY, MagZ, OffsetX, OffsetY, dan OffsetZ. Atribut *Mag* merupakan atribut medan gaya pada sumbu *x*, *y*, dan *z*, sedangkan atribut *Offset* merupakan nilai dari atribut *offset* pada setiap sumbu *x*, *y*, dan *z*.

Hasil data pada kelompok atribut PWM *output* diilustrasikan oleh grafik pada Gambar 16. Pada gambar grafik tersebut, dapat dilihat grafik dari nilai setiap atribut, yaitu *channel 1*, *channel 2*, *channel 3*, dan *channel 4*. Keempat atribut *channel* tersebut adalah PWM keluar yang akan masuk ke masing-masing motor pada *quadcopter*.

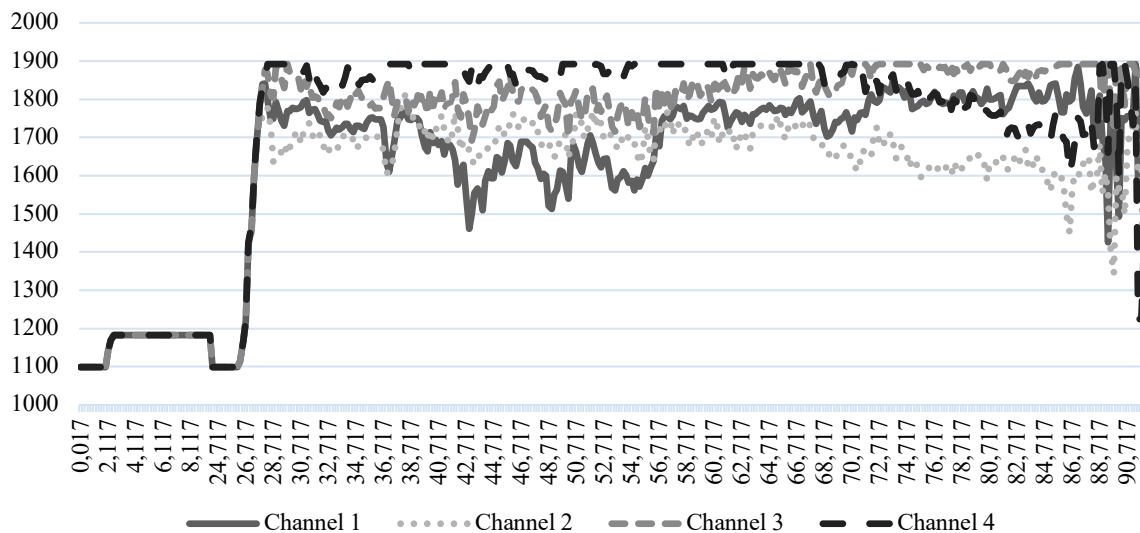
Hasil dari semua atribut data terbang tersebut setelah proses praproses berjumlah 389 *record*. Semua atribut telah melewati proses praproses dan disinkronisasi dengan *time sampling* kelompok atribut GPS yaitu 0.2 detik. Pada hasil data ini, terdapat sedikit ketidaksesuaian terhadap kondisi seharusnya. Hal ini disebabkan pada saat pengambilan data terbang, proses *descend* saat misi terbang dilakukan terganggu karena mengalami kecelakaan. Akan tetapi, hasil akhir data ini tetap dianggap sudah bisa mewakili hampir seluruh kemungkinan kondisi terbang dari *quadcopter* untuk menjadi data latih BPNN.



Gambar 14 Grafik nilai sensor magnetometer pertama pada data terbang yang telah dipraproses.



Gambar 15 Grafik nilai sensor magnetometer kedua pada data terbang yang telah dipraproses.



Gambar 16 Grafik nilai PWM pertama pada data terbang yang telah dipaproses.

## SIMPULAN

Pengambilan dan praproses data terbang *quadcopter* telah berhasil dilakukan. Hasil data terbang disinkronisasi menggunakan kelompok atribut dengan *time sampling* terbesar, yaitu sebesar 0.2 detik. Data akhir yang dihasilkan berjumlah 389 *record*. Hasil akhir data ini dianggap sudah bisa mewakili hampir seluruh kemungkinan kondisi terbang dengan rute lurus pada *quadcopter* karena atribut-atribut data hasil akhir dapat merepresentasikan kondisi *quadcopter* setiap waktu ketika menjalankan rute tersebut. Hasil akhir ini sudah dapat menjadi data latih BPNN untuk rute terbang lurus.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis ucapkan kepada Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi yang telah membiayai penelitian ini melalui hibah Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi Tahun 2018 yang berjudul Pengembangan *Collaborative Robot* Menggunakan Kecerdasan Komputasional untuk Pencarian dan Penyelamatan Bencana Longsor. Terima kasih juga penulis ucapkan pada Departemen Ilmu Komputer yang telah membiayai secara parsial perangkat yang digunakan pada penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bansal HO, Sharma R, Shreeraman PR. 2012. *PID Controller Tuning Techniques: A Review*. *JCET*. 2:168-176.
- Burman P. 2016. *Quadcopter Stabilization with Neural Network* [tesis]. Austin(US). University of Texas at Austin.
- Buscema M. 1998. *Back Propagation Neural Networks*. *Substance Use & Misuse*. 33(2): 233-70.
- Dharmawan A, Firdaus IN. 2012. Purwarupa Sistem Otomasi Terbang Landas dan Mendarat Quadcopter. *IJEIS*. 2(1):87-96.
- Harista AF, Nuryadi S. 2018. Sistem Navigasi *Quadcopter* dan Pemantauan Udara. *JURNAL TeknoSAINS Seri Teknik Elektro*. 1(1).

- Heryanto MA, Suprijono H, Suprpto BY, dan Kusumoputro B. 2017. *Attitude and altitude control of a quadcopter using neural network based direct invers control scheme. Advanced Science Letters.*
- Priandana K, Abiyoga I, Daini AN, Hardhienata MK. 2020. Improvement of data accuracy on backpropagation neural network-based automatic control system for wheeled robot. Di dalam: *2020 International Conference on Smart Technology and Applications (ICoSTA)*; 20 Feb 2020, Surabaya, Indonesia. Hlm 1-5. IEEE.
- Priandana K, Abiyoga I, Wahjuni S, Hardhienata M, Buono A. 2018. Development of computational intelligence-based control system using backpropagation neural network for wheeled robot. Di dalam: *2018 International Conference on Electrical Engineering and Computer Science (ICECOS)*; 2 Oktober 2018, Pangkal Pinang, Indonesia. hlm 101-106. IEEE.
- Naidoo Y, Stopforth R, Bright G. 2011. *Development of an UAV for search & rescue applications.* Di dalam: *IEEE Africon '11*; 2011 Sep 13-15; Livingstone, Zambia. Livingstone (ZM): IEEE. hlm. 1-6.
- Patel PN, Patel MA, Faldu RM, Dave YR. 2013. *Quadcopter for Agricultural Surveillance. Advance in Electronic and Electric Engineering.* 3(4):427-432.
- Priambodo AS, Astrowulan K, Susila J. 2012. Perancangan dan Implementasi Sistem Kendali PID untuk Pengendalian Gerakan *Hover* pada UAV *Quadcopter*. *POMITS.* 1(1):1-5.
- Radiansyah S, Kusri MD, Prasetyo LB. 2017. *Quadcopter Applications for Wildlife Monitoring. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.* 54.
- Setyawan GE, Setiawan E, Kurniawan W. 2015. Sistem Kendali Ketinggian *Quadcopter* Menggunakan PID. *JTIK.* 2(2):125-131.
- Zulu A, John S. 2014. *A Review of Control Algorithms for Autonomous Quadrotors. OJAppS.* 4:547-556.