

BAB II

KERANGKA TEORITIK, KERANGKA BERPIKIR, DAN HIPOTESIS PENELITIAN

2.1. KERANGKA TEORITIK

2.1.1. *Quadcopter Robot*

Quadcopter Robot merupakan sebuah pesawat tanpa awak atau UAV (*Unnamed Aerial Vehicle*) yang memiliki empat buah baling-baling (*propeller*) dan empat buah motor *brushless* sebagai aktuator. Penggunaan UAV saat ini sangat dibutuhkan baik itu dibidang militer maupun sipil yaitu untuk pencarian korban bencana pada kondisi ekstrim, penginderaan jarak jauh seperti sistem *monitoring* serta bermanfaat sebagai alat pemetaan dan pengawasan pada suatu wilayah⁵.

Gambar 2.1 di bawah ini diperlihatkan bentuk fisik dari *quadcopter*.



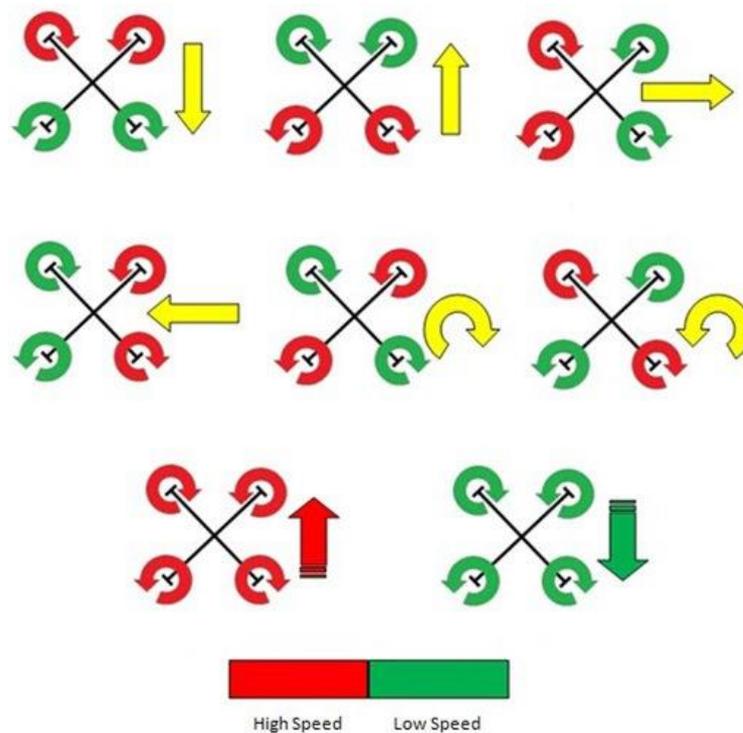
Gambar 2.1. *Quadcopter Robot*⁶

Quadcopter memiliki 6 *degree of freedom* (DoF) yang menentukan *attitude* dari *quadcopter*. *Quadcopter* memiliki 4 buah motor *brushless* yang dipasang dengan

⁵ I GD Darko Pancev, I B Alit Swamardika dan I Nyoman Budiastara, "Implementasi Penggunaan *Sensor Accelerometer ADXL335* Pada *Quadcopter Robot* Berbasis Atmega32, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Udayana Bali, hlm. 137.

⁶ Wikipedia, "*Quadcopter*", Wikipedia, diakses dari <http://en.wikipedia.org/wiki/Quadcopter>, pada tanggal 2 Januari 2015 pukul 19:31.

propeller sebagai penggerak yang digunakan untuk menghasilkan gaya angkat. Tipe dari *quadcopter* sendiri terdiri dari 2 jenis, yaitu tipe x dan tipe +. Untuk dapat naik dan stabil, diperlukan kecepatan yang sama dan cukup besar pada keempat rotornya. Terlihat pada Gambar 2.2, pengaruh kecepatan rotor terhadap gerakan *quadcopter*⁷. Adalah sebagai berikut:



Gambar 2.2. Pergerakan dari *quadcopter*⁸

Dari gambar di atas terlihat *quadcopter* dengan konfigurasi x, tanda merah menunjukkan motor bergerak dengan putaran cepat, tanda hijau menunjukkan

⁷ I GD Darko Pancev, I B Alit Swamardika dan I Nyoman Budiastira, "Implementasi Penggunaan *Sensor Accelerometer ADXL335* Pada *Quadcopter Robot* Berbasis Atmega32, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Udayana Bali, hlm. 137.

⁸ Firman, "Mengenal Dasar-dasar Quadcopter", ANAK MESIN, diakses dari <http://firmanikhsan.com/mengenal-quadcopter/>, pada tanggal 3 Januari 2015 pukul 0:31.

motor bergerak dengan kecepatan sedang. Dengan melihat Gambar 2.2 kita dapat mengetahui bagaimana sistem pergerakan pada *quadcopter*.

2.1.2. Penstabilan *Quadcopter Robot*

Mengenai struktur menyulitkan mereka, *quadcopter* yang saat ini dipertimbangkan oleh banyak robotika penelitian dan komplikasinya menyebabkan kemampuan khusus yang dapat digunakan dalam berbagai pilihan penggunaan. Dinamika *quadcopter* ini dianggap sebagai titik awal untuk semua studi di daerah ini tetapi beberapa kasus yang ditetapkan untuk meningkatkan kompleksitas aerodinamis. Metode pengendalian yang berbeda belajar dan kita bisa menyebut beberapa seperti *PID controller*, *LQR controller*, Kembali Melangkah dan pengendali *nonlinear* lainnya⁹.

Permasalahan yang sering dihadapi dalam mengoperasikan robot *quadcopter* ini adalah masalah kestabilan serta pengendalian dari robot, sehingga dibutuhkan suatu perancangan mekanisme sistem kontrol dan design yang baik untuk menjaga kestabilan dari robot pada saat terbang¹⁰.

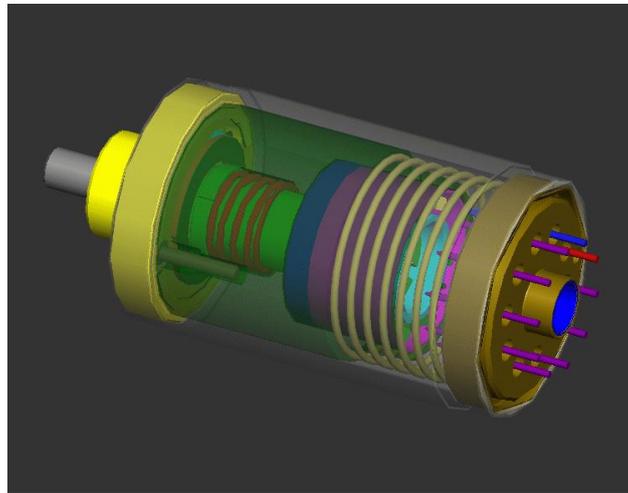
2.1.2.1. Akselerometer

Akselerometer (*Accelerometer*) adalah perangkat yang berfungsi untuk mengukur akselerasi tepat. Akselerasi tepat yang diukur dengan akselerometer

⁹ Mehdi Fatan, Bahram Lavi Sefidgari dan Ali Vatankhah Barenji, "An Adaptive Neuro PID for Controlling the Altitude of Quadcopter Robot", *Islamic Azad university of Qazvin Iran*, hlm. 2.

¹⁰ Ida Bagus Alit Swamardika, "HAND MOTION CONTROL UNTUK MENGGERAKKAN QUADCOPTER ROBOT DENGAN MENGGUNAKAN SENSOR ACCELEROMETER ADXL335 DAN WIRELESS XBee-PRO Series 1 60 Mw BERBASIS MIKROKONTROLLER ATmega32", Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Udayana, hlm. 48.

belum tentu memiliki ketepatan koordinat (laju perubahan velositas). Sebaliknya, akselerometer melihat akselerasi terkait dengan fenomena berat yang dialami oleh massa uji pada kerangka acuan perangkat akselerometer. Sebagai contoh, akselerometer di permukaan bumi akan mengukur akselerasi $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ lurus ke atas karena beratnya. Sebaliknya, akselerometer jatuh bebas atau di luar angkasa akan mengukur nol. Istilah lainnya untuk jenis akselerasi yang bisa diukur oleh akselerometer adalah akselerasi gaya- g ¹¹. Gambar 2.3 di bawah ini memperlihatkan sensor akselerometer yang didesain di Sandia National Laboratories.



Gambar 2.3. Akselerometer yang didesain di Sandia National Laboratories¹²

Prinsip kerja yang digunakan adalah prinsip percepatan (*acceleration*). Sebuah per dengan beban dilepaskan, beban bergerak dengan suatu percepatan sampai kondisi tertentu akan berhenti. Bila ada sesuatu yang menggoncangkannya maka beban akan berayun kembali. Pengukuran kapasitansi inilah yang umumnya

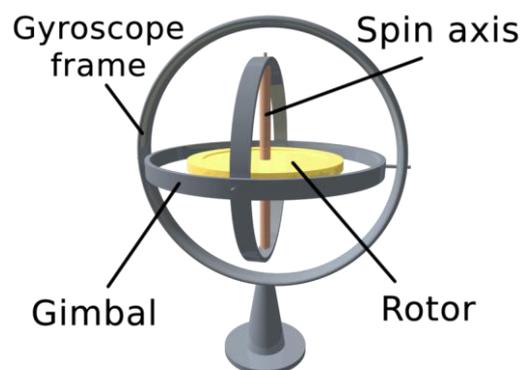
¹¹ Wikipedia, "Akselerometer", Wikipedia, diakses dari <http://id.wikipedia.org/wiki/Akselerometer>, pada tanggal 10 Desember 2014 pukul 19:44.

¹² Wikipedia, "Akselerometer", Wikipedia, diakses dari <http://id.wikipedia.org/wiki/Akselerometer>, pada tanggal 3 Januari 2015 pukul 0:36.

menjadi hasil pengukuran *chip*. Agar *sensor* bias mendeteksi 3 dimensi, maka dibutuhkan 3 pasang plat yang dipasang tegak lurus antar masing-masing¹³.

2.1.2.2. Giroskop

Giroskop (*gyroscope*) adalah perangkat untuk mengukur atau mempertahankan orientasi, yang berlandaskan pada prinsip-prinsip momentum sudut. Secara mekanis, giroskop berbentuk seperti sebuah roda berputas atau cakram dimana poros bebas untuk mengambil setiap orientasi. Meskipun orientasi ini tidak tetap, perubahannya dalam menanggapi torsi eksternal jauh lebih sedikit dan berlangsung dalam arah yang berbeda jika dibandingkan dengan tanpa momentum sudut, yang berkaitan dengan tingginya tingkat putaran dan inersia momen. Orientasi perangkat tetap sama, terlepas dari gerakan platform pemasangan, karena pemasangan perangkat pada sebuah gimbal akan meminimalkan torsi eksternal¹⁴. Gambar 2.4 di bawah ini memperlihatkan sebuah giroskop.



Gambar 2.4. Sebuah Giroskop¹⁵

¹³ Desty Oktriaviani, "Accelerometer & Gyroscope", Desty oktriaviani, diakses dari http://oktriaviani.blogspot.com/2012/06/accelerometer-gyroscope_16.html pada tanggal 26 Desember 2014 pukul 01:46..

¹⁴ Wikipedia, "Giroskop", Wikipedia, diakses dari <http://id.wikipedia.org/wiki/Giroskop>, pada tanggal 10 Desember 2014 pukul 19:55.

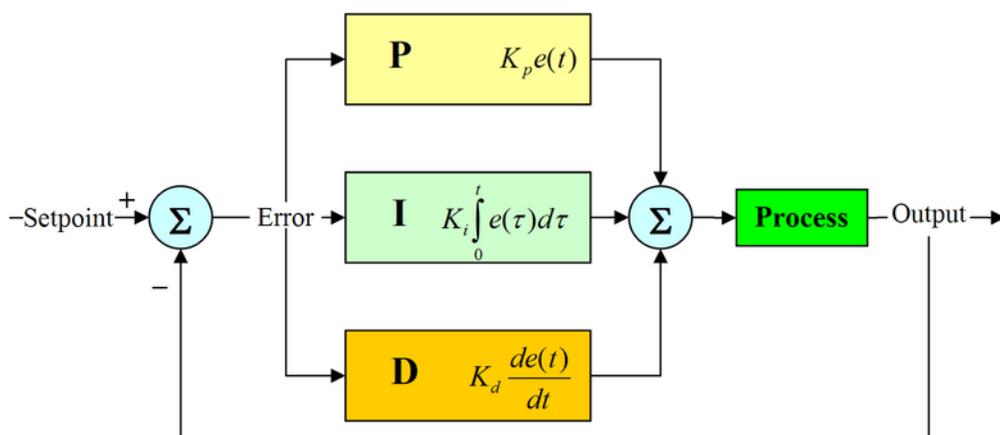
¹⁵ Wikipedia, "Giroskop", Wikipedia, diakses dari <http://id.wikipedia.org/wiki/Giroskop>, pada tanggal 3 Januari 2015 pukul 0:38.

Gyro sensor bias mendeteksi gerakan sesuai gravitasi, atau dengan kata lain mendeteksi gerakan pengguna. Sebelum digunakan, *sensor gyroscope* terlebih dahulu dilakukan proses kalibrasi dengan menggunakan bandul. Proses kalibrasi tersebut berfungsi untuk memperoleh nilai factor kalibrasi. *Gyroscope* memiliki keluaran berupa kecepatan sudut dari arah 3 sumbu yaitu : sumbu x yang nantinya akan menjadi sudut *phi* (kanan dan kiri) dari sumbu y nantinya menjadi sudut *theta* (atas dan bawah), dan sumbu z nantinya menjadi sudut *psi* (depan belakang)¹⁶.

2.1.2.3. PID (*Proportional Integral Derivative*)

PID (dari singkatan bahasa Inggris : *Proportional-Integral-Derivative controller*) merupakan kontroler untuk menentukan presisi suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik adanya umpan balik pada sistem tersebut¹⁷.

Gambar 2.5 dibawah ini menunjukkan blok diagram dari sistem kontrol PID.



Gambar 2.5. Blok Diagram dari Kontroler PID¹⁸

¹⁶ Desty Oktriaviani, "Accelerometer & Gyroscope", Desty oktriaviani, diakses dari http://oktriaviani.blogspot.com/2012/06/accelerometer-gyroscope_16.html pada tanggal 26 Desember 2014 pukul 01:46.

¹⁷ Wikipedia, "PID", Wikipedia, diakses dari <http://id.wikipedia.org/wiki/PID>, pada tanggal 10 Desember 2014 pukul 23.40.

¹⁸ Wikipedia, "PID", Wikipedia, diakses dari <http://id.wikipedia.org/wiki/PID>, pada tanggal 3 Januari 2015 pukul 0:47.

Komponen control PID ini terdiri dari tiga jenis, yaitu Proporsional, Integratif, dan Derivatif. Ketiganya dapat dipakai bersamaan maupun sendiri-sendiri tergantung dari respon yang kita inginkan terhadap suatu *plant*¹⁹.

1. Kontrol Proporsional

Kontrol P jika $G(s) = k_p$, dengan k adalah konstanta. Jika $u = G(s) * e$ maka $u = K_p * e$ dengan K_p adalah Konstanta Proporsional. K_p berlaku sebagai Gain (penguat) saja tanpa memberikan efek dinamik kepada kinerja kontroler. Penggunaan control P mewakili berbagai keterbatasan karena sifat control yang dinamik ini. Walaupun demikian dalam aplikasi-aplikasi dasar yang sederhana control P ini cukup mampu untuk memperbaiki respon transien khususnya *rise time* dan *settling time*²⁰.

2. Kontrol Integratif

Jika $G(s)$ adalah control I maka u dapat dinyatakan sebagai $u(t) = [\int e(t) dt] K_i$ dengan K_i adalah konstanta Integral, dan dari persamaan di atas, $G(s)$ dapat dinyatakan sebagai $u = K_d \cdot \frac{de}{dt}$ jika $e(T)$ mendekati konstan (bukan nol) maka $u(t)$ akan menjadi sangat besar sehingga diharapkan dapat memperbaiki *error*. Jika $e(T)$ mendekati nol maka efek kontrol I ini semakin kecil. Kontrol I dapat memperbaiki sekaligus menghilangkan respon *steady-state*, namun pemilihan K_i yang tidak tepat dapat menyebabkan respon transien yang tinggi

¹⁹ Wikipedia, "PID", Wikipedia, diakses dari <http://id.wikipedia.org/wiki/PID>, pada tanggal 10 Desember 2014 pukul 23:40.

²⁰ Wikipedia, "PID", Wikipedia, diakses dari <http://id.wikipedia.org/wiki/PID>, pada tanggal 10 Desember 2014 pukul 23:40.

sehingga dapat menyebabkan ketidakstabilan sistem. Pemilihan K_i yang sangat tinggi justru dapat menyebabkan output berosilasi karena menambah orde sistem²¹.

3. Kontrol Derivatif

Sinyal kontrol u yang dihasilkan oleh kontrol D dapat dinyatakan sebagai $G(s) = s \cdot K_d$ dari persamaan di atas, nampak bahwa sifat dari kontrol D ini dalam konteks “kecepatan” atau rate dari error. Dengan sifat ini dapat digunakan untuk memperbaiki respon transien dengan memprediksi error sehingga saat error statis kontrol ini tidak akan bereaksi, hal ini pula yang menyebabkan kontroler Derivatif tidak dapat dipakai sendiri²².

2.1.3. Perangkat Keras *Quadcopter Robot*

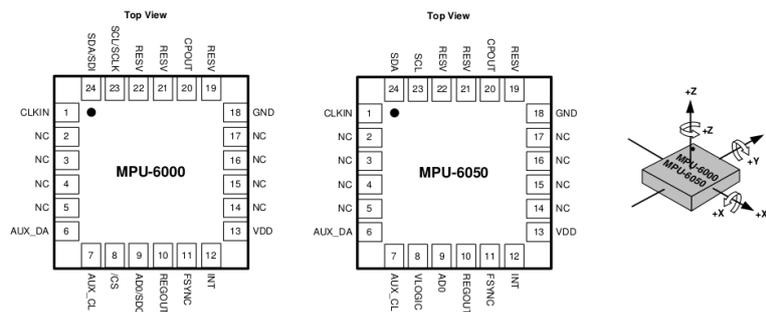
2.1.3.1. MPU6050 (*Accelerometer Gyroscope Sensor*)

MPU-60X0 adalah perpaduan pertama 6-axis perangkat *MotionTracking* dunia yang menggabungkan 3-axis giroskop, 3-axis akselerometer, dan *Digital Motion Processor* (DMP) semua dalam paket 4x4x0.9mm kecil. Dengan dedikasi sensor I2C bus, ia langsung menerima masukan dari 3-axis kompas sumbu eksternal untuk menyediakan 9-axis *MotionFusion* keluaran lengkap. MPU-60X0 perangkat *MotionTracking*, dengan integrasi 6-porosnya, *on-board MotionFusion*, dan *runtime* kalibrasi *firmware*, memungkinkan produsen untuk menghilangkan integrasi

²¹ Wikipedia, “PID”, Wikipedia, diakses dari <http://id.wikipedia.org/wiki/PID>, pada tanggal 10 Desember 2014 pukul 23.40.

²² Wikipedia, “PID”, Wikipedia, diakses dari <http://id.wikipedia.org/wiki/PID>, pada tanggal 10 Desember 2014 pukul 23.40.

tingkat seleksi, kualifikasi, dan sistem mahal dan kompleks perangkat diskrit, menjamin kinerja gerak yang optimal bagi konsumen. MPU-60X0 juga dirancang untuk antarmuka dengan beberapa sensor non-inersia digital, seperti sensor tekanan. MPU-60X0 adalah jejak kompatibel dengan keluarga MPU-30X0²³. Gambar 2.6 di bawah ini memperlihatkan pin-pin dari MPU-6000 dan MPU-6050.



Gambar 2.6. MPU-6000 dan MPU-6050²⁴

2.1.3.2. ESC (*Electronic Speed Control*)

Kontrol kecepatan elektronik (ESC) adalah sebuah sirkuit elektronik dengan tujuan untuk memvariasikan kecepatan motor listrik. Arah dan mungkin juga bertindak sebagai rem dinamis. ESC yang sering digunakan pada radio kontrol bertenaga listrik dengan varietas yang paling sering digunakan untuk motor brushless pada dasarnya memberikan energi sumber tegangan rendah ke tiga fase listrik untuk motor²⁵.

²³ InvenSense, "MPU-6000 and MPU-6050 Product Specification Revision 3.4", InvenSense In c., 2013, hlm. 7.

²⁴ InvenSense, "MPU-6000 and MPU-6050 Product Specification Revision 3.4", InvenSense In c., 2013, hlm. 21.

²⁵ Wikipedia, "*Electronic speed control*", Wikipedia, diakses dari http://en.wikipedia.org/wiki/Electronic_speed_control, pada tanggal 10 Desember 2014 pukul 22:14.

Sebuah ESC bisa menjadi unit yang berdiri sendiri yang dihubungkan ke saluran kontrol *throttle receiver* atau dimasukkan ke penerima itu sendiri, seperti yang terjadi di sebagian besar mainan kelas kendaraan *radio control*. Beberapa produsen R/C yang menginstal proprietary elektronik hobi-grade kendaraan entry-level mereka, kapal atau menggunakan pesawat onboard, elektronik yang menggabungkan dua papan sirkuit tunggal²⁶. Gambar 2.7 di bawah ini memperlihatkan bentuk fisik dari ESC.



Gambar 2.7. *Electronic speed control*²⁷

2.1.3.3. *Brushless Motor DC*

Brushless DC motor listrik (BLDC motor, motor BL) juga dikenal sebagai motor elektronik commutated (EMC, motor EC) adalah motor sinkron yang didukung oleh sumber listrik DC melalui inverter terintegrasi / switching power supply yang menghasilkan sinyal listrik AC untuk menggerakkan motor. Dalam konteks ini, AC arus bolah-balik tidak berarti gelombang sinusoidal, melainkan

²⁶ Wikipedia, "*Electronic speed control*", Wikipedia, diakses dari http://en.wikipedia.org/wiki/Electronic_speed_control, pada tanggal 10 Desember 2014 pukul 22:14.

²⁷ EMAX Order System, "Budget ESC 18Apm", diakses dari http://www.emaxmodel.com/views.asp?hw_id=1008, pada tanggal 3 Januari 2015 pukul 1:01.

arus bi-directional dengan tidak ada pembatasan pada bentuk gelombang. Sensor tambahan dan elektronik mengontrol amplitudo keluaran inverter dan gelombang (dan karena itu persen DC penggunaan bus / efisiensi) dan frekuensi (yaitu kecepatan rotor)²⁸. Gambar 2.8 di bawah ini memperlihatkan bentuk fisik dari motor dc *brushless*.



Gambar 2.8. Motor DC *Brushless*²⁹

2.1.3.4. Baling-Baling (*Propeller*)

Propeler (atau baling-baling) adalah kitiran untuk menjalankan kapal atau pesawat terbang. Kitiran ini memindahkan tenaga dengan mengkonversi gerakan rotasi menjadi daya dorong untuk menggerakkan sebuah kendaraan seperti pesawat terbang, kapal atau kapal selam untuk melalui suatu massa seperti air atau udara, dengan memutar dua atau lebih bilah kembar dari sebuah poros utama. Bilah-bilah dari sebuah propeler berperan sebagai sayap berputar, dan memproduksi gaya yang mengaplikasikan prinsip *bernoulli* dan hukum gerak *newton*, menghasilkan sebuah

²⁸ Wikipedia, “*Brushless DC electric motor*”, Wikipedia, diakses dari [http://en.wikipedia.org/wiki/Brushless DC electric motor](http://en.wikipedia.org/wiki/Brushless_DC_electric_motor), pada tanggal 10 Desember 2014 pukul 21:46.

²⁹ Indonesia Ali Express, “XXD A2212 1000KV Brushless Motor + 30A ESC untuk Multicopter F450 X525 Quadcopter”, diakses dari http://id.aliexpress.com/store/product/XXD-A2212-1000KV-Brushless-Motor-30A-ESC-for-Multicopter-F450-X525-Quadcopter/701252_1882793556.html?isOrig=true#extend, pada tanggal 3 Januari 2015 pukul 1:08.

perbedaan tekanan antara permukaan depan dan belakang bilah tersebut³⁰. Gambar 2.9 di bawah ini memperlihatkan bentuk fisik dari *propeller*.



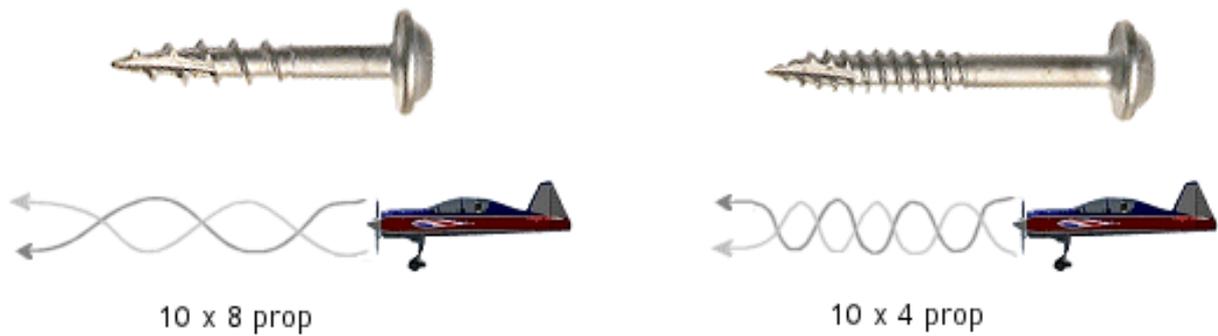
Gambar 2.9. Propeller³¹

Sebuah quadcopter menggunakan dua searah jarum jam (CW) dan dua berlawanan arah jarum jam (CCW) baling-baling. Baling-baling diklasifikasikan berdasarkan panjang dan pitch. Misalnya $9 \times 4,7$ baling-baling adalah 9 inci panjang dan memiliki pitch 4,7. Secara umum, peningkatan lapangan *propeller* dan panjang akan menarik lebih banyak arus. Juga lapangan dapat didefinisikan sebagai jarak tempuh satu putaran prop tunggal. Singkatnya, *pitch* yang lebih tinggi berarti rotasi lebih lambat, tetapi akan meningkatkan kecepatan kendaraan anda yang juga menggunakan daya lebih³². Gambar 2.10 di bawah ini memperlihatkan perbedaan *pitch* dari dua buah *propeller*.

³⁰ Wikipedia, “Baling-baling”, Wikipedia, diakses dari <http://id.wikipedia.org/wiki/Baling-baling>, pada tanggal 10 Desember 2014 pukul 22:33.

³¹ Oscar, “How to choose Motor and Propeller for Quadcopter and Multicopter”, OscarLiang.net, diakses dari <http://blog.oscarliang.net/how-to-choose-motor-and-propeller-for-quadcopter/>, pada tanggal 3 Januari 2015 pukul 1:19.

³² Oscar, “How to choose Motor and Propeller for Quadcopter and Multicopter”, OscarLiang.net, diakses dari <http://blog.oscarliang.net/how-to-choose-motor-and-propeller-for-quadcopter/> pada tanggal 26 Desember 2014 pukul 2:45.



Gambar 2.10. Perbedaan *pitch propeller*³³

2.1.3.5. Baterai LiPo (*Lithium Polymer*)

Sebuah baterai *lithium polymer*, atau lebih tepatnya baterai polimer lithium-ion (disingkat menjadi LiPo, LIP, Li-poli dan lain-lain) adalah baterai isi ulang teknologi *lithium-ion* dalam format kantong. Tidak seperti sel silinder dan prismatic, LiPo datang dalam paket yang lembut atau berkantong yang membuat mereka lebih ringan tetapi juga kurangnya kekakuan³⁴. Gambar di bawah ini memperlihatkan bentuk fisik dari baterai *Lithium Polymer*.



Gambar 2.11. Baterai LiPo³⁵

³³ Oscar, “*How to choose Motor and Propeller for Quadcopter and Multicopter*”, OscarLiang.net, diakses dari <http://blog.oscarliang.net/how-to-choose-motor-and-propeller-for-quadcopter/>, pada tanggal 3 Januari 2015 pukul 1:21.

³⁴ Wikipedia, “*Lithium polymer battery*”, Wikipedia, diakses dari http://en.wikipedia.org/wiki/Lithium_polymer_battery, pada tanggal 10 Desember 2014 pukul 22:54.

³⁵ Buaya Instrument, “Turnigy 2200mAh 3S 25C”, Buaya Instrument The Art of Innovation, diakses dari <http://www.buaya->

Denominasi “*lithium polimer*” telah menyebabkan kebingungan di kalangan pengguna baterai. Ini dapat ditafsirkan dalam dua cara. Awalnya, “*lithium polimer*” berdiri untuk teknologi berkembang dengan menggunakan elektrolit polimer bukan cairan elektrolit pada umumnya. Hasilnya adalah “*plastic*” sel, yang secara teoritis bisa tipis, fleksibel, dan diproduksi dalam berbagai bentuk tanpa risiko kebocoran elektrolit. Teknologi ini belum sepenuhnya dikembangkan dan dikomersialisasikan, dan penelitian sedang berlangsung³⁶.

Istilah-istilah pada baterai LiPo :

1. C = *Capacity* (contoh : 20C)
2. mAh = *milliAmpereHour* (Kapasitas Baterai)
3. S = *Cell* (Jumlah Baterai yang diseri)
4. V = *Volt* / Tegangan Output

Misalkan pada baterai Lipo tertulis 20C dan 2200 mAh. Maksudnya adalah Baterai Lipo tersebut mampu melepas arus sebesar $20 \times 2200 = 44000 \text{ mA} = 44 \text{ A}$. Arus sebesar ini dapat dikeluarkan oleh baterai Li-Po dalam waktu sesaat. Dalam semenit maka rata-rata baterai Lipo dapat mengeluarkan arus sebesar $44 \text{ A} / 60 \text{ menit} = 0.733 \text{ A/menit}$. Dengan membaginya dengan kapasitas baterai 2200 mAh maka diperoleh waktu sampai baterai habis adalah $2200 \text{ mAh} / 733 \text{ (mAh/menit)} = 3 \text{ menit}$. Ini akan terjadi jika baterai men-*supply* beban dengan arus 0.733 A ³⁷.

instrument.com/index.php?route=product/product&path=79_82&product_id=192, pada tanggal 3 Januari 2015 pukul 1:24.

³⁶ Wikipedia, “*Lithium polymer battery*”, Wikipedia, diakses dari http://en.wikipedia.org/wiki/Lithium_polymer_battery, pada tanggal 10 Desember 2014 pukul 22:54.

³⁷ Tim Arek Robotika dan Teknologi Universitas Dr. Soetomo Surabaya, “Ardi C mAh dan S pada Baterai liPo (*Lithium Polimer*)”, ABOUT, diakses dari <http://about->

2.1.3.6. Radio Telemetry 433 MHz

Telemetri adalah proses komunikasi yang sangat otomatis oleh pengukuran yang dibuat dan data lainnya yang dikumpulkan pada titik-titik terpencil atau tidak dapat diakses dan dikirim ke penerima peralatan untuk monitoring. Kata ini berasal dari kata Yunani : Tele = jarak jauh, dan Metron = ukuran. Sistem yang memerlukan petunjuk eksternal dan data untuk mengoperasikan memerlukan mitra telemetri, telekomando³⁸.

Sebuah telemeter adalah alat yang digunakan untuk jarak jauh mengukur jumlah apapun. Ini terdiri dari *sensor* jalur transmisi, dan panjang rekaman atau perangkat kontrol. Telemeter adalah perangkat fisik yang digunakan dalam telemetri. Perangkat elektronik yang banyak digunakan dalam telemetri dan dapat nirkabel atau *hard-kabel*, analog atau digital. Teknologi lainnya juga seperti mekanik, hidrolis, dan optik³⁹. Gambar 2.12 di bawah ini memperlihatkan bentuk fisik dari *radio telemetry*.



Gambar 2.12. Radio Telemetry⁴⁰

unitomo.blogspot.com/2013/02/arti-c-mah-dan-s-pada-baterai-lipo.html, pada tanggal 26 Desember 2014 pukul 03:09.

³⁸ Wikipedia, "Telemetry", Wikipedia, diakses dari <http://en.wikipedia.org/wiki/Telemetry>, pada tanggal 10 Desember 2014 pukul 23:21.

³⁹ Wikipedia, "Telemetry", Wikipedia, diakses dari <http://en.wikipedia.org/wiki/Telemetry>, pada tanggal 10 Desember 2014 pukul 23:21.

⁴⁰ Goodey Nick, "Better than an Xbee and cheaper Hobby King 433Mhz or 900mHz Radio Telemetry Kit 100mW", diakses dari <http://diydrone.com/profiles/blogs/better-than-an-xbee-and-cheaper-hobby-king-433mhz-or-900mhz-radio>, pada tanggal 3 Januari 2015 pukul 1:34.

2.1.3.7. *Remote Control 2.4 GHz*

Remote control merupakan bagian yang berinteraksi langsung dengan pengguna untuk memberikan sinyal perintah-perintah untuk menggerakkan robot dalam arah gerakan arah naik, turun, maju, mundur, kiri, dan kanan⁴¹.

Frekuensi yang digunakan sebagai media transmisi adalah gelombang radio pada frekuensi 2.4 GHz. Pada kondisi *outdoor* penggunaan frekuensi jika dibandingkan dengan menggunakan sinyal *infrared* sinar matahari sering memberikan gangguan terhadap sinyal *infrared* yang sangat mempengaruhi untuk proses kendali, maka gelombang radio merupakan pilihan tepat⁴². Gambar 2.13 di bawah ini memperlihatkan bentuk fisik dari *radio controller*.



Gambar 2.13. *Radio Control 2.4 GHz*⁴³

⁴¹ Sirajuddin, "Rancang Bangun Robot Terbang Quadcopter Berbasis Mikrokontroler ATmega16", Prodi Teknik Elektro Jurusan Teknik Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura Potianak Kalimantan Barat, hlm. 2.

⁴² Sirajuddin, "Rancang Bangun Robot Terbang Quadcopter Berbasis Mikrokontroler ATmega16", Prodi Teknik Elektro Jurusan Teknik Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura Potianak Kalimantan Barat, hlm. 2.

⁴³ Hobby King, "Turnigy 6X FHSS 2.4ghz Transmitter and Receiver (Mode 2)", Hobby King, diakses dari

http://www.hobbyking.com/hobbyking/store/_24969_Turnigy_6X_FHSS_2_4ghz_Transmitter_and_Receiver_Mode_2_.html, pada tanggal 3 Januari 2015 pukul 1:39.

2.1.3.8. *Free Space Loss (FSL)*

FSL adalah redaman yang ada sepanjang ruang antara antenna pemancar dan penerima. Pada ruang ini tidak diijinkan adanya penghalang, karena transmisinya berkarakter LOS. Besarnya FSL dapat dihitung dengan persamaan berikut⁴⁴.

$$FSL = 92,45 + 20 \log(f_{GHz}) + 20 \log(D_{Km})$$

dengan, $FSL = \text{Free Space Loss (dB)}$

f = Frekuensi (GHz)

D = Jarak (Km)

2.1.3.9. *MultiWii SE v2.5 (Flight Controller)*

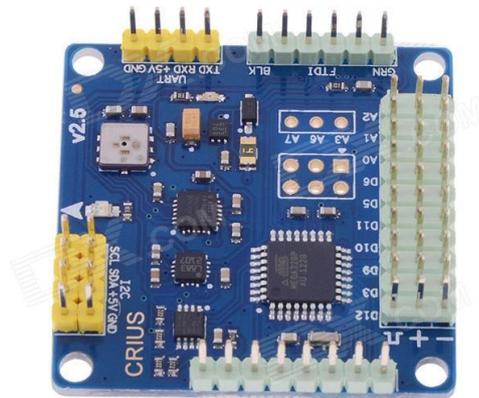
MultiWii SE v.2.5 adalah sebuah proyek *open source* yang dibuat oleh *Alexandre Dubus (Alexinparis)*. Awalnya menggabungkan *hardware Wii Motion Plus* dan *platform Arduino*⁴⁵.

MultiWii SE v2.5 menggunakan Arduino Pro Mini 16MHz sebagai kontrolernya dan memiliki MPU6050 untuk *Accelerometer Gyroscope sensor*, BMP085 untuk *digital barometer pressure sensor*, HMC5883L untuk digital magnetometer sensor.

⁴⁴ Alfin Hikmaturokhman, Eka Wahyudi, dan Triana Haslinda Perdana Wati, "PERANCANGAN DAN ANALISIS JARINGAN TRANSMISI *MICROWAVE* MENGGUNAKAN *PATHLOSS 4.0* STUDI KASUS DI PT. ALITA PRAYA MITRA JAKARTA SELATAN", Program Studi Diploma III Teknik Telekomunikasi, Purwokerto Akademi Teknik Telekomunikasi Sandhy Putra Purwokerto, hlm. 3.

⁴⁵ DROTEK, MultiWii V2.0 Flight Controller - User Manual, diakses dari <http://www.drotek.fr/ftp/Guide%20FC-EN.pdf>, pada tanggal 10 Desember 2014 pukul 10:26, hlm. 3.

MultiWii SE v2.5 ini dapat diprogram menggunakan Arduino IDE. Hal ini dikarenakan *board* ini telah di *instal bootloader* arduino pro mini. Penggunaan pin-pin *input* dan *output* nya dapat mengikuti petunjuk yang dimiliki oleh *board* arduino pro mini. Gambar 2.14 di bawah ini memperlihatkan bentuk fisik dari MultiWii SE v2.5.



Gambar 2.14. MultiWii SE v2.5⁴⁶

2.1.4. Perangkat Lunak *Quadcopter Robot*

2.1.4.1. IDE (*Integrated Development Environment*)

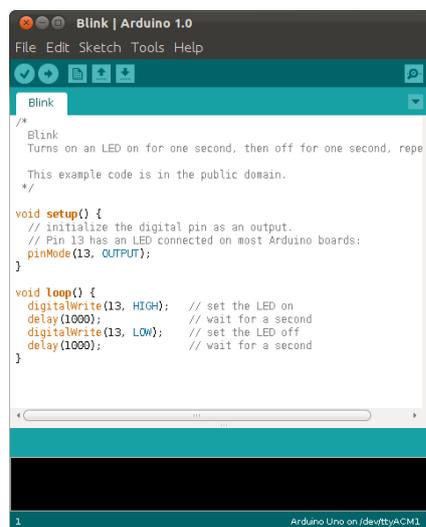
IDE (*Integrated Development Environment*) adalah program komputer yang memiliki beberapa fasilitas yang diperlukan dalam pembangunan perangkat lunak. Tujuan dari IDE adalah untuk menyediakan semua utilitas yang diperlukan dalam membangun perangkat lunak⁴⁷.

⁴⁶ Bmdp, "MultiWii SE V2.5 vs OpenPilot CC3D", diakses dari <http://www.rcgroups.com/forums/showthread.php?t=2229800>, pada tanggal 3 Januari 2015 pukul 1:43.

⁴⁷ Wikipedia, "Lingkungan Pengembangan Terpadu", Wikipedia, diakses dari http://id.wikipedia.org/wiki/Lingkungan_pengembangan_terpadu, pada tanggal 10 Desember 2014 pukul 10:43.

2.1.4.1.a. Arduino IDE

Arduino IDE adalah aplikasi *cross-platform* yang ditulis menggunakan bahasa pemrograman JAVA, dan berasal dari IDE untuk pengolahan bahasa pemrograman. Hal ini dirancang untuk memperkenalkan pemrograman pendatang baru agar terbiasa dengan pengembangan perangkat lunak⁴⁸. Gambar 2.15 di bawah ini menunjukkan tampilan dari *Software Arduino IDE*.



Gambar 2.15. Arduino IDE⁴⁹

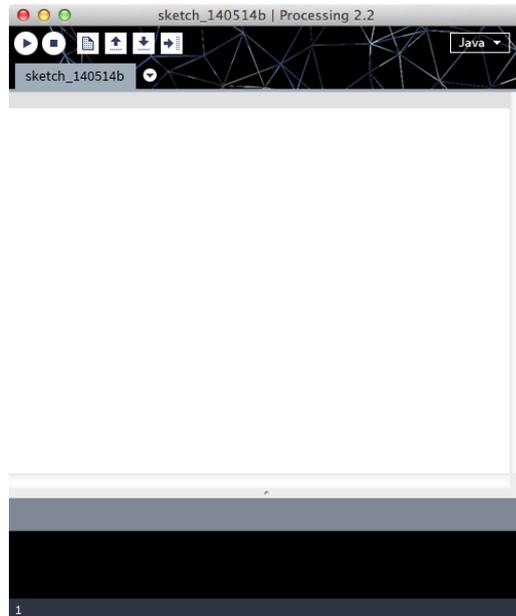
2.1.4.1.b. Processing IDE

Processing adalah bahasa pemrograman *open source* dan lingkungan pengembangan terpadu (IDE) yang dibangun untuk seni elektronik, seni media baru, dan komunitas desain visual dengan tujuan mengajarkan dasar-dasar pemrograman komputer dalam konteks visual, dan untuk melayani sebagai dasar untuk sketsa elektronik. Proyek ini dimulai pada

⁴⁸ Wikipedia, "Arduino", Wikipedia, diakses dari <http://en.wikipedia.org/wiki/Arduino>, pada tanggal 10 Desember 2014 pukul 10:55.

⁴⁹ Wikipedia, "Arduino", Wikipedia, diakses dari <http://en.wikipedia.org/wiki/Arduino>, pada tanggal 3 Januari 2015 pukul 1:46.

tahun 2001 oleh Casey Reas dan Benjamin Fry, baik sebelumnya dari Estetika dan Komputasi Grup di MIT Media Lab⁵⁰. Gambar 2.16 di bawah ini menunjukkan tampilan dari *Software Processing IDE*.



Gambar 2.16. Processing IDE⁵¹

2.2. KERANGKA BERPIKIR

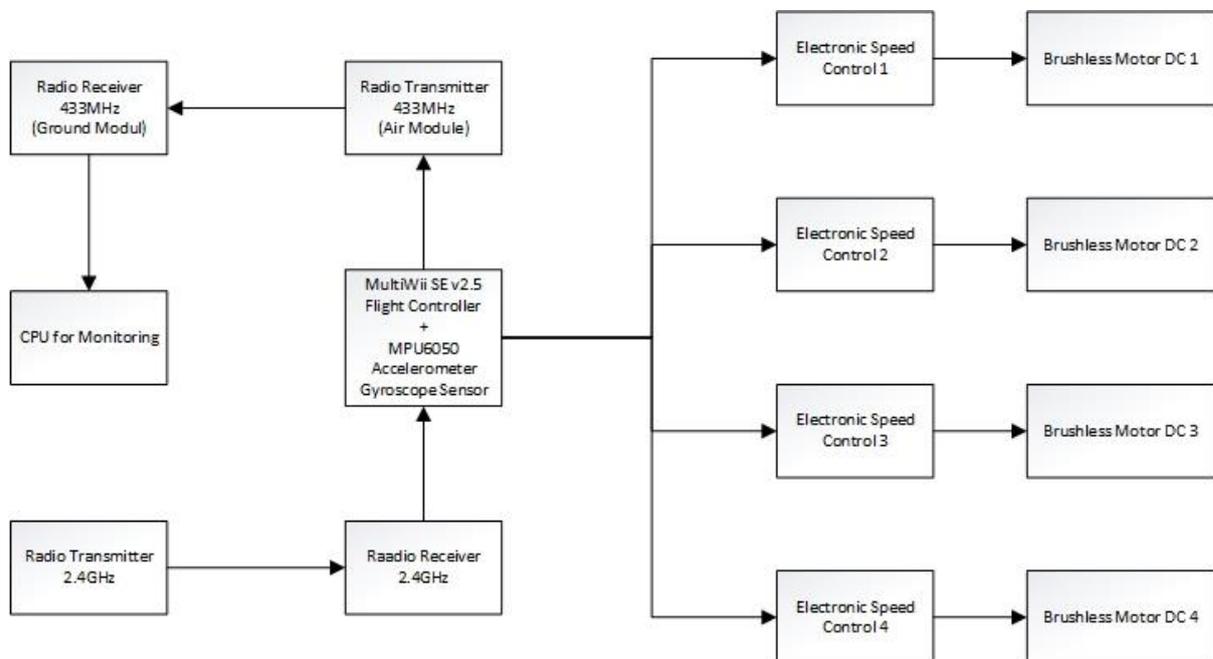
2.2.1. Diagram Blok dan Prinsip Kerja *Quadcopter Robot*

Pada perancangan sistem pemantauan kestabilan *quadcopter robot* berbasis MultiWii SE v2.5 ini terdapat 3 sistem utama, yaitu : *Input*, Proses, dan *Output*. Gambar 2.15 menunjukkan blok diagram *quadcopter robot* berbasis MultiWii SE v2.5 dengan antarmuka sebagai pemantauan kestabilan. Peralatan *input* yang digunakan sebagai masukan ke *pin* MultiWii SE v2.5 antara lain yaitu : MPU6050

⁵⁰ Wikipedia, “Processing (*programming language*)”, Wikipedia, diakses dari [http://en.wikipedia.org/wiki/Processing_\(programming_language\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Processing_(programming_language)), pada tanggal 10 Desember 2014 pukul 11:06.

⁵¹ Wikipedia, “Processing (*programming language*)”, Wikipedia, diakses dari [http://en.wikipedia.org/wiki/Processing_\(programming_language\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Processing_(programming_language)), pada tanggal 3 Januari 2015 pukul 1:50.

(include in MultiWii board), dan *Radio Control* 2.4 GHz. Keluaran dari peralatan *input* akan diproses oleh peralatan proses yaitu MultiWii SE v2.5. Hasil proses kemudian diteruskan ke peralatan *output* yaitu 4 buah *Brushless Motor DC* melalui *Electronic Speed Control* beserta pengiriman data ke antarmuka menggunakan *Radio Telemetry* 433 MHz. Gambar 2.17 di bawah ini menunjukkan blok diagram perancangan sistem pemantauan kestabilan *quadcopter robot* berbasis MultiWii SE v2.5.



Gambar 2.17. Blok Diagram Perancangan Sistem Pemantauan Kestabilan *Quadcopter Robot* Berbasis MultiWii SE v2.5

Keterangan dari blok diagram :

1. *Radio Transmitter* 2.4 GHz, digunakan untuk mengirim data kecepatan tiap motor yang dikirim ke *Radio Receiver* 2.4 GHz.
2. *Radio Receiver* 2.4 GHz, digunakan untuk menerima perintah kecepatan dari *Radio Transmitter* 2.4 GHz yang selanjutnya akan dikirim ke MultiWii SE v2.5 untuk diproses lebih lanjut.

3. MPU6050 *Accelerometer Gyroscope Sensor*, digunakan untuk memeriksa kemiringan dari robot *quadcopter* dan datanya akan dikirim ke MultiWii SE v2.5 untuk diproses lebih lanjut.
4. MultiWii SE v2.5, digunakan untuk memproses data *input* dari *Radio Receiver* 2.4 GHz dan MPU6050 *Accelerometer Gyroscope Sensor* yang selanjutnya akan dikirim ke komponen *output*.
5. *Electronic Speed Control* (1-4), digunakan untuk memproses data yang diterima dari MultiWii SE v2.5 yang selanjutnya akan digunakan untuk mengatur kecepatan *Brushless Motor DC*.
6. *Brushless Motor DC* (1-4), digunakan memproses data yang diterima dari *Electronic Speed Control* yang selanjutnya akan digunakan untuk mengangkat *quadcopter robot*.
7. *Radio Transmitter 433 MHz (Air Modul)*, digunakan untuk mengirim data yang diterima dari MultiWii SE v2.5 yang selanjutnya akan dikirim ke *Radio Receiver 433 MHz (Ground Modul)*.
8. *Radio Receiver 433 MHz (Ground Modul)*, digunakan untuk menerima data dari *Radio Transmitter 433 MHz (Air Modul)* yang selanjutnya akan dikirim ke *CPU* untuk diproses lebih lanjut.
9. *CPU*, digunakan untuk menerima data dari *Radio Receiver 433 MHz (Ground Modul)* yang selanjutnya akan diproses oleh antarmuka untuk penampilan data secara visual.

Penelitian ini merupakan penerapan aplikasi dari mikrokontroler yang difungsikan sebagai pengendali *quadcopter robot*. *Quadcopter robot* akan

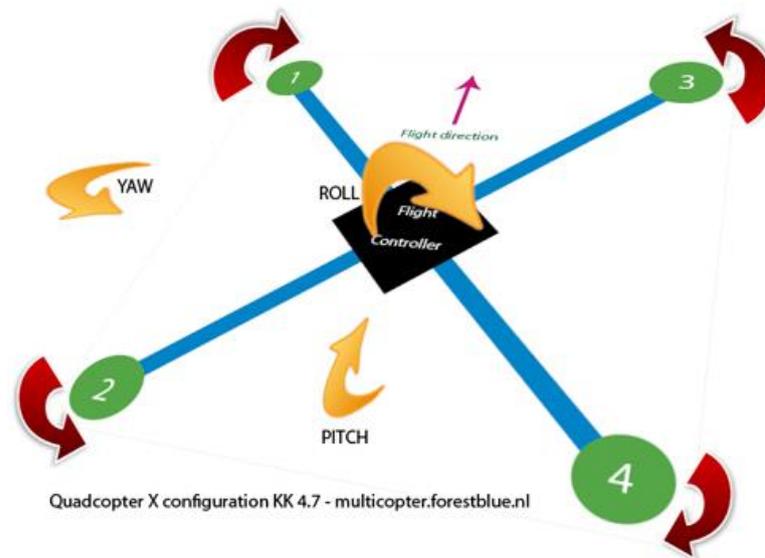
menunggu *input* dari *Radio Transmitter 2.4GHz* untuk mendapatkan data pengendalian robot selanjutnya akan diperhitungkan menggunakan parameter dari kemiringan *quadcopter robot* yang data kemiringannya didapatkan dari MPU6050 *Accelerometer Gyroscope Sensor*. Cara yang digunakan *quadcopter robot* untuk memproses kedua parameter tersebut adalah dengan metode PID (*Proportional Interat Derivative*). Penggunaan PID di sini diharapkan untuk dapat menstabilkan robot *quadcopter* menggunakan *set point* dari *Radio Transmitter 2.4GHz* dan Acuan *Error* dari MPU6050 *Accelerometer Gyroscope Sensor*. Hasil dari PID akan digunakan sebagai data kecepatan tiap motor yang akan dikirim ke *Electronic Speed Control* masing-masing tiap motor.

Radio Transmitter 2.4GHz mempunyai 6 buah *channel*, yaitu :

1. *Channel 1 (Aileron)*, data ini digunakan untuk mengatur nilai sumbu X dari *quadcopter robot* yang peneliti gunakan untuk membelokkan *quadcopter robot* kekiri dan kekanan.
2. *Channel 2 (Elevator)*, data ini digunakan untuk mengatur nilai sumbu Y dari *quadcopter robot* yang peneliti gunakan untuk memajukan atau memundurkan *quadcopter robot*.
3. *Channel 3 (Throttle)*, data ini digunakan untuk mengatur ketinggian dari *quadcopter robot*.
4. *Channel 4 (Rudder)*, data ini digunakan untuk mengatur nilai sumbu Z dari *quadcopter robot* yang peneliti gunakan untuk berputar di tempat, kekiri atau kekanan.

5. *Channel 5 (Arm / Disarm)*, data ini digunakan untuk mengamankan motor dari *quadcopter robot*. *Mode Arm* yang berarti motor dari *quadcopter robot* siap untuk berputar, sedangkan *Mode Disarm* yang berarti motor tidak akan berputar.
6. *Channel 6 (Sensor Calibration)*, data ini digunakan untuk mengkalibrasi sensor MPU6050 agar sensor dapat membaca nilai dengan lebih akurat.

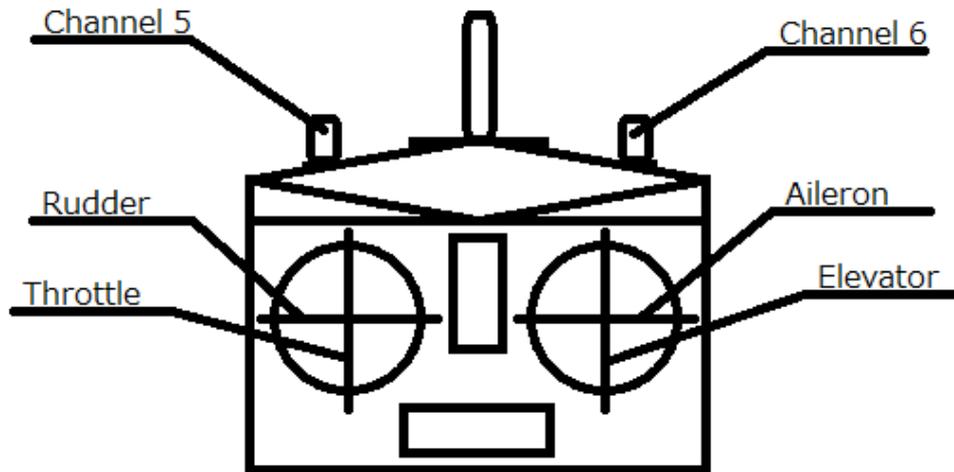
Motor kiri depan akan berputar ke kanan, motor kiri belakang akan berputar ke kiri, motor kanan depan akan berputar ke kiri, motor kanan belakang akan berputar ke kanan. Gambar 2.18 memperlihatkan sudut putaran robot *quadcopter robot*.



Gambar 2.18. Sudut Putaran Robot *Quadcopter*⁵²

⁵² Forest blue, "quadcopter (x-mode build log)", diakses dari http://multicopter.forestblue.nl/quadcopter_build_log.html, pada tanggal 3 Januari 2015 pukul 2:06.

Gambar 2.19 di bawah ini memperlihatkan susunan *channel* dari *radio control* 2.4 GHz.

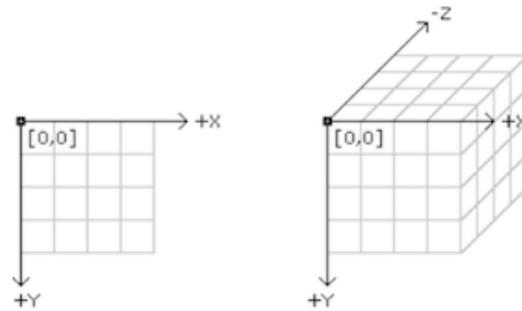


Gambar 2.19. *Radio Transmitter 2.4GHz*

2.2.2. Prinsip Kerja Pemodelan *Quadcopter Robot* di Antarmuka

Pembuatan antarmuka pada penelitian ini menggunakan Processing IDE. Processing IDE memiliki fitur OpenGL (*Open Graphics Library*) yang digunakan untuk membuat objek 2D maupun 3D dalam perancangan sistem pemantauan kestabilan *quadcopter robot*.

Untuk menggambar sesuatu pada suatu titik dalam tiga dimensi koordinat yang ditentukan dalam urutan yang diharapkan : x, y, z. Sistem D *Cartesian* sering digambarkan sebagai “*Left-handed*” atau “*Right-handed*”. Jika menunjuk jari telunjuk di y arah positif (atas) dan ibu jari dalam arah x positif (ke kanan), sisa jari-jari akan menunjuk ke arah z positif, ini adalah *Left-handed*’ jika menggunakan tangan kiri. Dalam Processing IDE, sistem “*Left-handed*” sebagai berikut :



Gambar 2.20. Sistem “Left-handed” pada 3D Processing IDE

Sebagai contoh menggambar persegi panjang yang bergerak menuju penampil menggunakan P3D. Dalam menggunakan *software* Processing IDE untuk menggambar persegi panjang menggunakan fungsi *rect()* yang memiliki empat argument : x, y, lebar, tinggi.

```
rect (x, y, w, h);
```

Untuk menentukan koordinat 3D di Processing IDE, kita menggunakan fungsi *translate()*. Fungsi ini digunakan untuk merubah titik nol dari wilayah yang akan kita gambarkan sebuah objek.

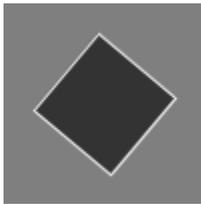
```
float x, y, z;

void setup () {
  size (200,200, P3D); // penggunaan P3D untuk wilayah 3 dimensi
  x = width / 2;      // width = 200
  y = heigh / 2;      // height = 200
  z = 0;
}

Void draw () {
  translate (x, y, z);
  rectMode (CENTER);
  rect (0,0,100,100);

  z ++; // Persegi panjang bergerak maju sebagai kenaikan z.
}
```

Dimensi ketiga juga membuka kemungkinan berputar sumbu sekitar yang berbeda. Ketika menggunakan fungsi *rotate()* di Processing IDE, apa yang kita benar-benar katakan adalah berputar di sekitar sumbu Z (yaitu spin pada bidang jendela itu sendiri). Dalam 3D, setara dengan *rotate()*.



```
size (200, 200, P3D);
background (100);
rectMode (CENTER);
fill (51);
stroke (255);
translate (100, 100, 0);
rotateZ (PI / 8);
rect (0, 0, 100, 100);
```

Dapat juga memutar di sekitar sumbu x dan sumbu y.

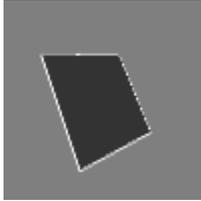


```
rotateX (PI / 8);
```



```
rotateY (PI / 8);
```

Serta beberapa sumbu pada suatu waktu.

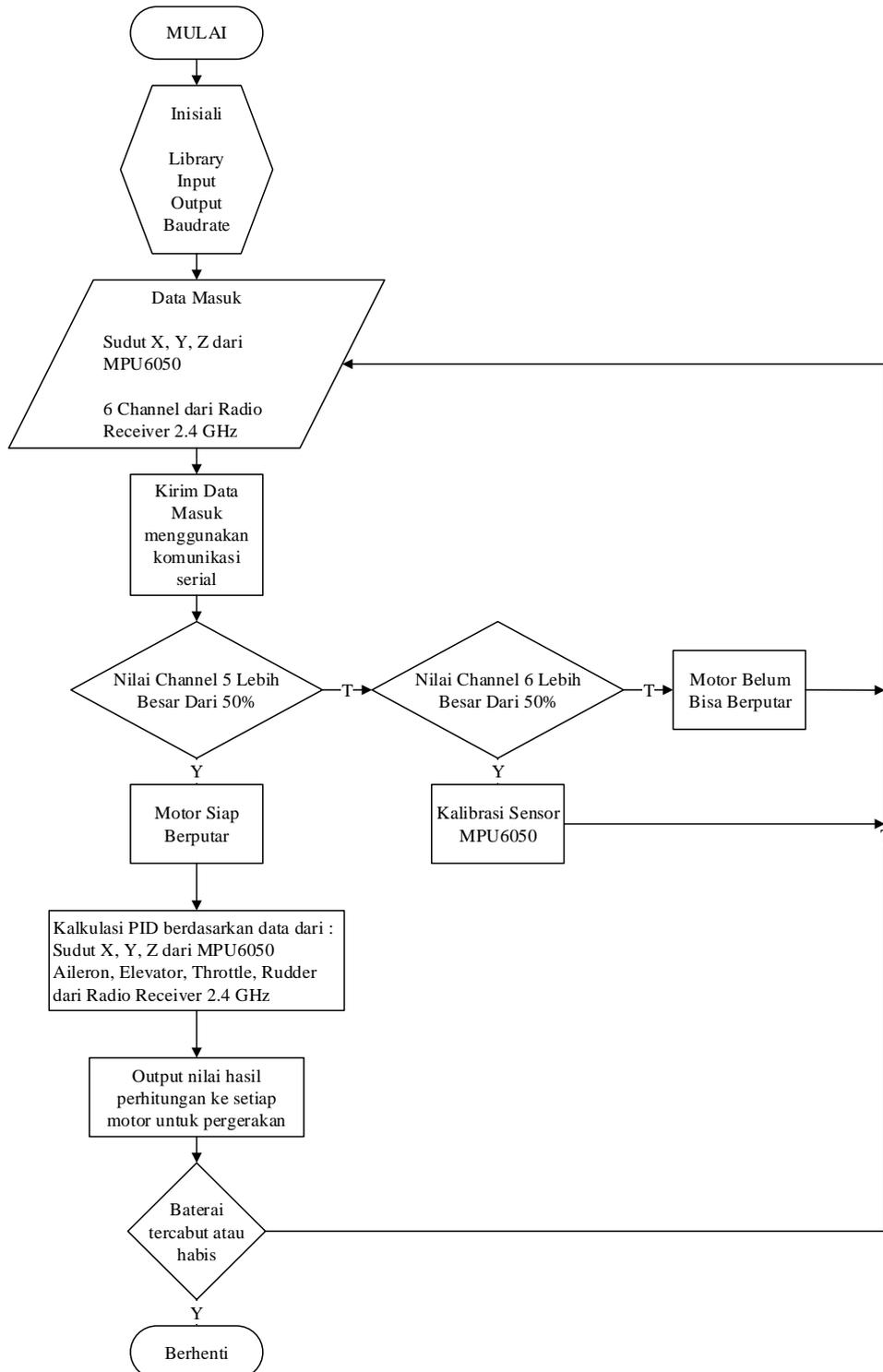


```
translate (100, 100, 0);  
rotateX (PI / 8);  
rotateY (PI / 8);  
rotateZ (PI / 8);  
rect (0, 0, 100, 100);
```

2.2.3. Flowchart

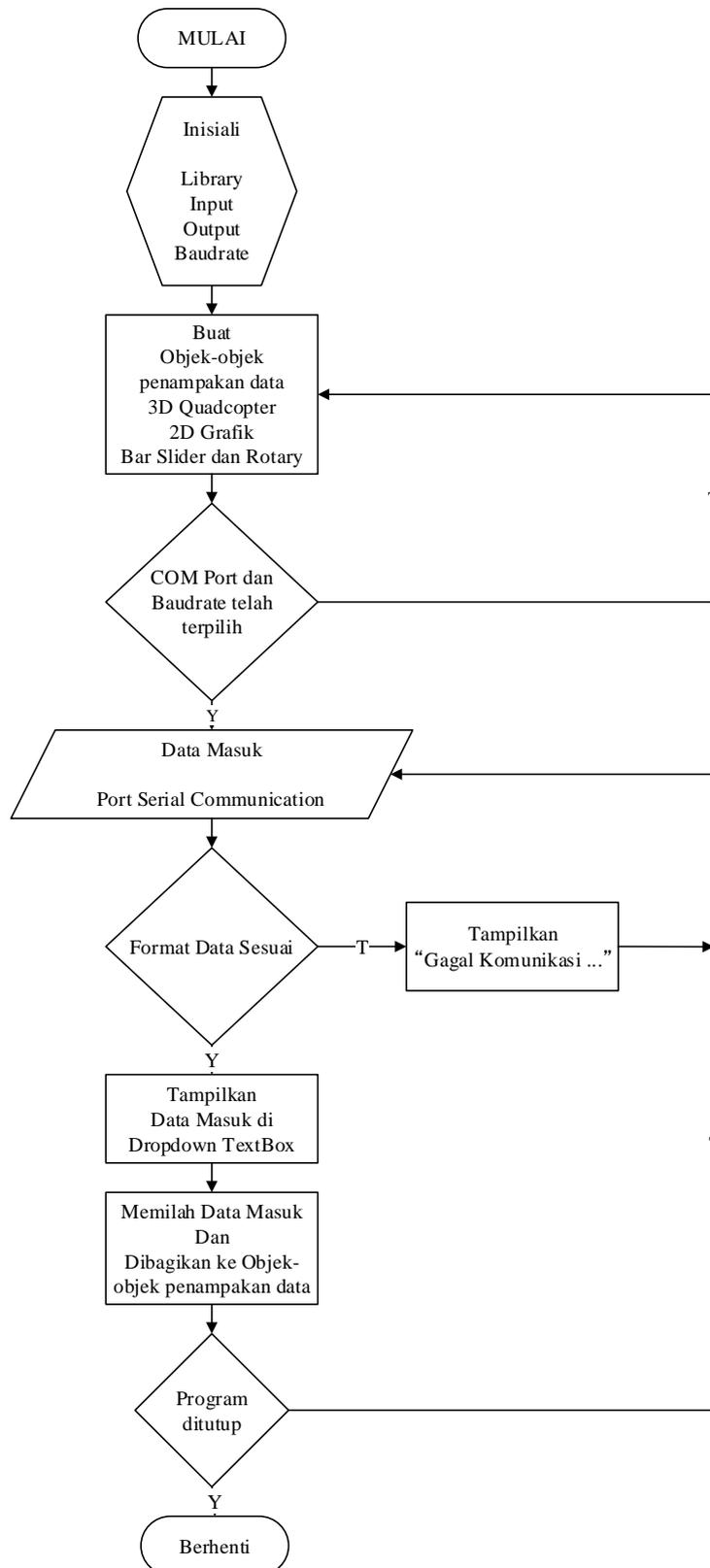
Flowchart Alat Perancangan Sistem Pemantauan Kestabilan *Quadcopter Robot*

Berbasis MultiWii SE v2.5.



Gambar 2.21. Flowchart Alat

Flowchart Antarmuka Pemantauan Kestabilan Quadcopter di Komputer.

**Gambar 2.22. Flowchart Antarmuka**

2.3. HIPOTESA PENELITIAN

Dalam penelitian ini terdapat hipotesis penelitian sebagai berikut : Robot *Quadcopter* bergerak berdasarkan perubahan kecepatan dari 4 buah *Brushless Motor DC*, perubahan kecepatan dari 4 buah *Brushless Motor DC* tersebut ditentukan berdasarkan 2 masukan, yaitu *MPU6050 Accelerometer Gyroscope Sensor* dan *Radio Control 2.4 GHz*. Data-data hasil proses dari *MultiWii SE v2.5* akan dikirimkan ke antarmuka untuk pemantauan menggunakan *Radio Transmitter 433 MHz*.