

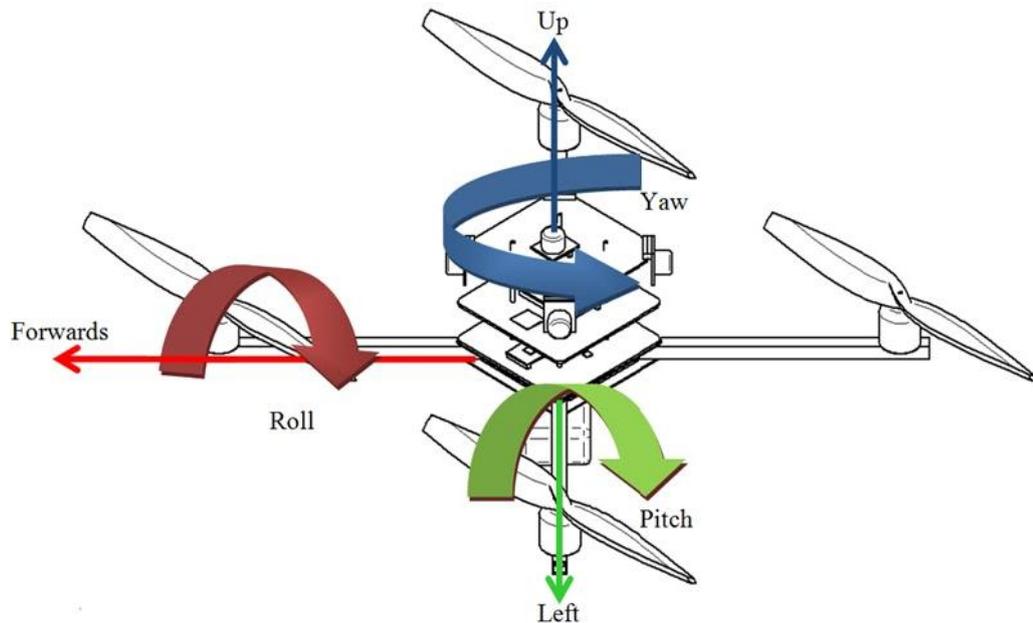
## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 *Quadcopter*

*Quadcopter* adalah salah satu jenis *rotorcraft* yang memiliki 4 buah rotor sebagai penggerak *propeller* yang menghasilkan gaya angkat. *Quadcopter* dapat melakukan *take off* dan *landing* secara *vertikal*. *Vertical Take Off Landing (VTOL) Aircraft* merupakan jenis pesawat yang dapat melakukan *take off* dan *landing* tegak lurus terhadap bumi sehingga dapat dilakukan pada tempat yang sempit. Helikopter, *tricopter*, *quadcopter*, dan multirotor sejenis termasuk kategori ini. (Sumber : <http://en.wikipedia.org/wiki/Quadcopter>)

Dengan mengubah besaran kecepatan putaran keempat buah motor maka *quadcopter* dapat bergerak atas, bawah, maju, mundur, kiri, kanan, dan rotasi. Pergerakan di atas tersebut lebih dikenal dengan istilah *pitch* (bergerak maju atau mundur), *roll* (bergerak kiri atau kanan), dan *yaw* (rotasi kiri atau rotasi kanan). Lebih jelas dapat dilihat pada gambar 2.1.

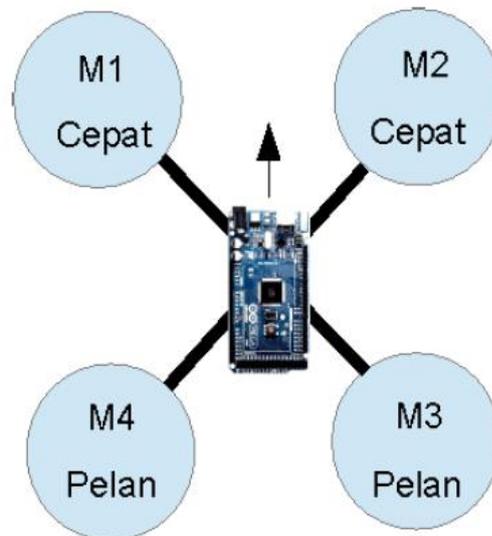


**Gambar 2.1** *Pitch Roll Yaw* Pada *Quadcopter*.  
(Sumber : [hpcas.blogspot.com](http://hpcas.blogspot.com))

**Tabel II.1** Dinamika Gerak *Quadcopter*

Gerak	M1	M2	M3	M4
<i>Pitch Up</i>	Cepat	Cepat	Pelan	Pelan
<i>Pitch Down</i>	Pelan	Pelan	Cepat	Cepat
<i>Roll Left</i>	Pelan	Cepat	Cepat	Pelan
<i>Roll Right</i>	Cepat	Pelan	Pelan	Cepat
<i>Yaw CW</i>	Pelan	Cepat	Pelan	Cepat
<i>Yaw CCW</i>	Cepat	Pelan	Cepat	Pelan

(Sumber : Hendi Wicaksono, *Self Stabilizing 1 Axis QuadCopter Using T2-Fuzzy Controller*, (Surabaya, 2009), hlm. 3)

**Gambar 2.2** Keadaan 4 Motor Saat *Pitch*.

(Sumber : Hendi Wicaksono, *Self Stabilizing 1 Axis QuadCopter Using T2-Fuzzy Controller*, (Surabaya, 2009), hlm. 3)

Dari gambar 2.2 dapat dilihat dengan kedua motor bagian depan lebih cepat dibanding kedua motor bagian belakang menyebabkan *quadcopter* bergerak *pitch up* atau bergerak mundur karena bagian depan terangkat ke atas. Jadi total ada 6 buah gerakan dasar dari dinamika gerak *quadcopter*.

Dalam membuat atau merakit *quadcopter* diperlukan beberapa komponen yang diperlukan, yaitu diantaranya adalah *frame* , *remote control* (27 Mhz), motor *brushless*, *propeller* atau baling-baling dengan dimensi 10 x 45 cm, *battery* Li-Po dengan arus sebesar 5 *ampere*, dan *mikrokontroler ATmega arm cortex* 32 bit.

### 2.1.1 Frame F450Q

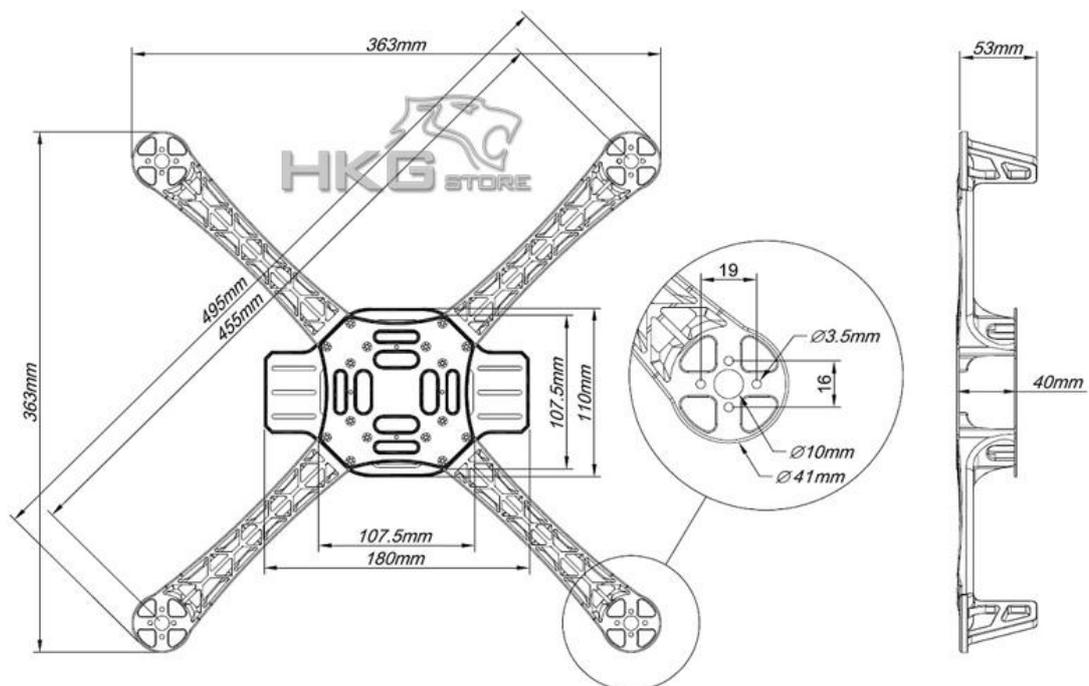
*Frame quad* F450 merupakan *frame* yang berukuran diameter 450 mm. *Frame* ini terbuat dari bahan atom agar tidak terlalu berat dan lebih kuat. Selain itu *frame* ini cukup lentur, sehingga dapat mengurangi getaran/goncangan pada saat pesawat mendarat atau terjadi *crash*.

*Frame* ini memiliki 4 lengan untuk menempatkan motor pada masing-masing ujung lengan. Selain itu *frame* ini memiliki *landing gear* kecil pada bagian bawah masing-masing ujung lengan agar perangkat lain tidak kontak langsung ke landasan. Hal tersebut berguna untuk melindungi *flight controller* agar tidak terkena benturan ke tanah jika terjadi *crash*.

**Tabel II.2** Spesifikasi *frame* F450

Parameter	Nilai
<i>Frame weight</i>	282 g
Diagonal Wheelbase	450 mm
<i>Takeoff Weigh</i>	800 g ~ 1200 g

(Sumber : [http://wiki.dji.com/en/index.php/Flame\\_Wheel\\_F450\\_Specifications](http://wiki.dji.com/en/index.php/Flame_Wheel_F450_Specifications) )



**Gambar 2.3** Rangka *Quadcopter*.

(Sumber : <http://www.ebay.com> )

### 2.1.2 Remote Control

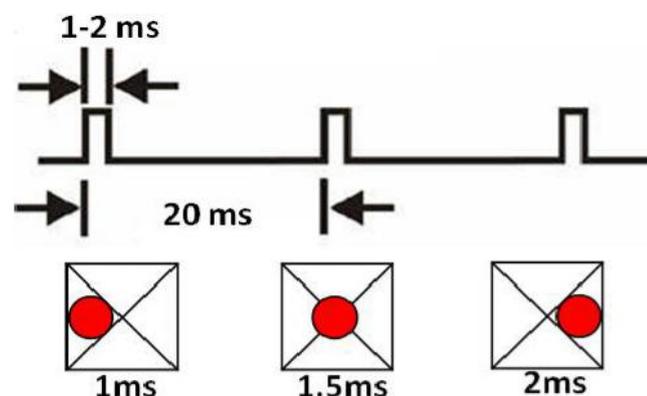
Tx dan rx: *transmitter* dan *receiver* adalah pengirim data dan penerima data, data yang dikirim adalah data PPM (*Pulse Position Modulation*) atau PCM (*Pulse Code Modulation*). Dengan frekuensi 27, 35, 72 dan 2,4 GHz.

Beberapa jenis *transmitter* berdasar dari frekuensi yang dipakai, jumlah *channel* (titik yang biasa dikontrol) minimum untuk pesawat model adalah 3 *channel*, dan fasilitas penyimpanan data digital. Contoh gambar *remote control* ditunjukkan dengan gambar 2.4 *Remote Control JR propo X2720*.



**Gambar 2.4** Remote Control JR propo X2720.  
(Sumber : [www.sloughrc.com](http://www.sloughrc.com))

*Receiver* merupakan perangkat yang digunakan untuk menerima sinyal dari *radio transmitter* yang dikendalikan oleh pilot. Secara umum bentuk sinyal dari *radio receiver* ditunjukkan pada gambar 2.5.



**Gambar 2.5** Bentuk sinyal radio *receiver* dan posisi *stick*.

(Sumber : Andry Yulistiyanto, Pembuatan *Quadcopter* Sebagai Pemantau Area yang Dikendalikan Jarak Jauh dan Diakses Melalui *Web* (Semarang : 2013), Hlm. 41)

*Radio transmitter* mengirimkan sinyal-sinyal sesuai dengan posisi dari tiap kanal. Bentuk sinyal yang dikirim tidak ada aturan baku yang mengatur sehingga perusahaan pembuat dapat membuat sinyal kirim sesuai dengan keinginan.

Keluaran *radio receiver* dapat langsung digunakan untuk mengendalikan servo dan ESC karena sinyal merupakan sinyal standar dalam dunia RC. Pada penelitian ini keluaran *receiver* dihubungkan dengan perangkat modul mikrokontroler agar dapat digunakan untuk mengatur gerakan-gerakan *quadcopter* pada saat terbang secara manual. JR propo X2720 9 channel ini memiliki 9 kanal, 4 buah digunakan untuk mengatur gerakan *roll*, *pitch*, *yaw*, dan *throttle*, dan 5 kanal sisa digunakan untuk *switch* dari mode manual ke otomatis. (Andry Yulistiyanto, 2013 : 41)

### 2.1.3 *Flight Controller*

*Flight controller* adalah suatu pengendali terbang dalam *quadcopter* yang berfungsi untuk melakukan pengolahan data yang didapat dari berbagai jenis sensor pada *quadcopter* lalu melakukan perhitungan yang selanjutnya akan mengeksekusi dengan menghasilkan *output* berupa pengendalian pada masing-masing motor *quadcopter*. *Flight controller* yang digunakan pada *quadcopter* ini berjenis *ARM Cortex 32 Bit*. (Sumber : <http://www.instructables.com/id/RC-Quadrotor-Helicopter/step15/Control-Principle/> )

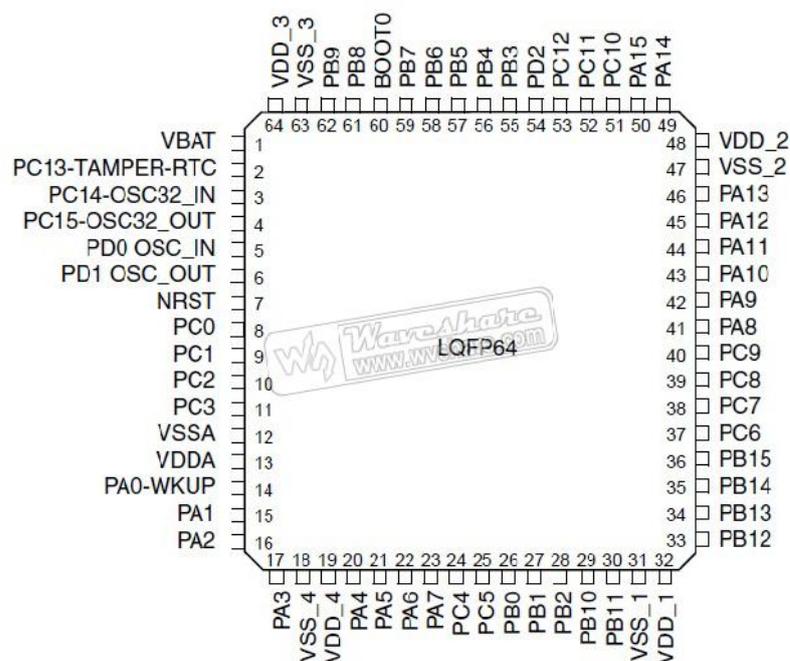
#### 2.1.3.1 *ARM Cortex 32-bit*

Arsitektur *ARM* merupakan arsitektur prosesor 32-bit RISC yang dikembangkan oleh *ARM Limited*. Dikenal sebagai *Advanced RISC Machine* dimana sebelumnya dikenal sebagai *Acorn RISC Machine*. Pada awalnya merupakan prosesor *desktop* yang sekarang didominasi oleh keluarga x86. Namun desain yang sederhana membuat prosesor *ARM* cocok untuk aplikasi berdaya rendah. Hal ini membuat prosesor *ARM* mendominasi pasar *mobile electronic* dan *embedded system* dimana membutuhkan daya dan harga yang rendah.

Pada tahun 2007, sekitar 98% dari satu miliar *mobile phone* yang terjual menggunakan setidaknya satu buah prosesor *ARM*. Pada tahun 2009, prosesor

ARM mendominasi sekitar 90% dari keseluruhan pasar prosesor 32-bit RISC. Prosesor ARM digunakan di berbagai bidang seperti elektronik umum, termasuk PDA, *mobile phone*, *media player*, *music player*, *game console* genggam, kalkulator dan peripheral komputer seperti *hard disk drive* dan *router*.

Lisensi arsitektur ARM dimiliki oleh *Alcatel*, *Atmel*, *Broadcom*, *Cirrus Logic*, *Digital Equipment Corporation*, *Freescale*, *Intel* melalui *DEC*, *LG*, *Marvell Technology Group*, *NEC*, *NVIDIA*, *NXP Semiconductors*, *OKI*, *Qualcomm*, *Samsung*, *Sharp*, *ST Microelectronics*, *Symbios Logic*, *Texas Instruments*, *Yamaha* dan *ZiiLABS*. (Sumber :[http://id.wikipedia.org/wiki/Arsitektur\\_ARM](http://id.wikipedia.org/wiki/Arsitektur_ARM))



**Gambar 2.6** Pin ARM Cortex 32-bit.  
(Sumber : [www.wvshare.com](http://www.wvshare.com))

### 2.1.3.2 Spesifikasi *Flight Controller*

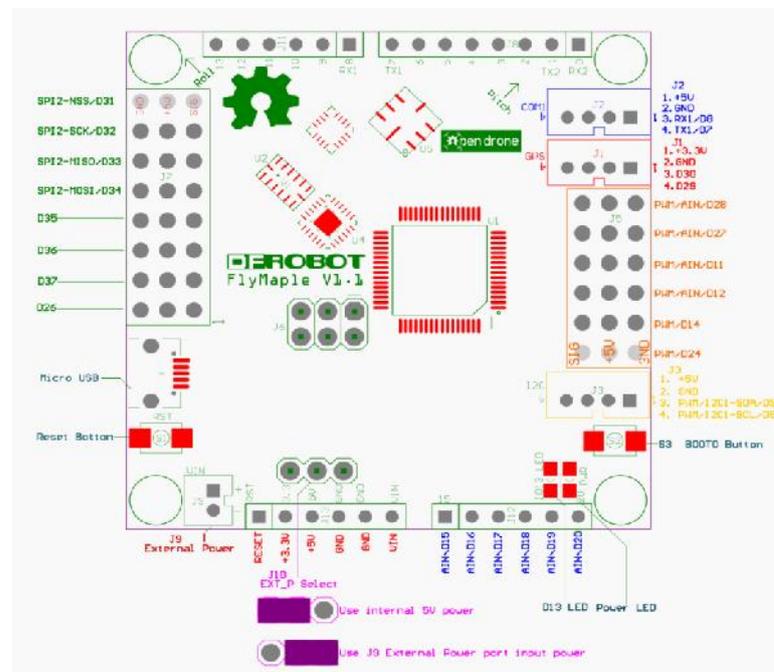
Modul *flight controller* ini menggunakan STM32F103RET6 (ARM Cortex-M3). Selain itu, modul ini juga terintegrasi dengan 10 DoF IMU yang terdiri dari sensor *3-axis accelerometer*, *3-axis gyroscope*, *3-axis compass* dan sensor barometrik.

Modul ini dapat diprogram dengan menggunakan *Maple IDE* yang memiliki *layout* dan desain pemrograman seperti Arduino. Modul ini cocok diaplikasikan untuk *balancing robot*, robot beroda, *helicopters*, dan *quadcopters*. (Sumber : [www.dfrobot.com/wiki/index.php?title=Flymaple\\_V1.1](http://www.dfrobot.com/wiki/index.php?title=Flymaple_V1.1))

**Tabel II.3** Spesifikasi *Flight Controller*

Parameter	Nilai/ Keterangan
Catu daya	7VDC - 12VDC
Jenis mikrokontroler/mikroprosesor	STM32F103RET6 (ARM Cortex-M3)
Port antarmuka	I2C ( <i>JST Connector</i> ), Serial Port ( <i>JST Connector</i> )
<i>Bootloader</i>	internal ( <i>Leaflabs Maple RET6 Edition</i> )
<i>Port pemrograman</i>	USB
Dimensi	50mm x 50mm x 12mm
Berat	15 g
Fitur	Dapat diprogram dengan menggunakan <i>Maple IDE</i> , <i>compatible</i> dengan <i>Arduino Shield</i>

(Sumber : [www.dfrobot.com/wiki/index.php?title=Flymaple\\_V1.1](http://www.dfrobot.com/wiki/index.php?title=Flymaple_V1.1)(SKU:DFR0188))



**Gambar 2.7** Gambar Modul *Flight Controller*.

(Sumber : [www.dfrobot.com/wiki/index.php?title=Flymaple\\_V1.1](http://www.dfrobot.com/wiki/index.php?title=Flymaple_V1.1)(SKU:DFR0188))

#### 2.1.4 Motor *Brushless*

Motor *brushless direct current* (BLDC) adalah motor yang tidak menggunakan sikat atau *brush* untuk pergantian medan magnet (komutasi) tetapi dilakukan secara komutasi elektronik.

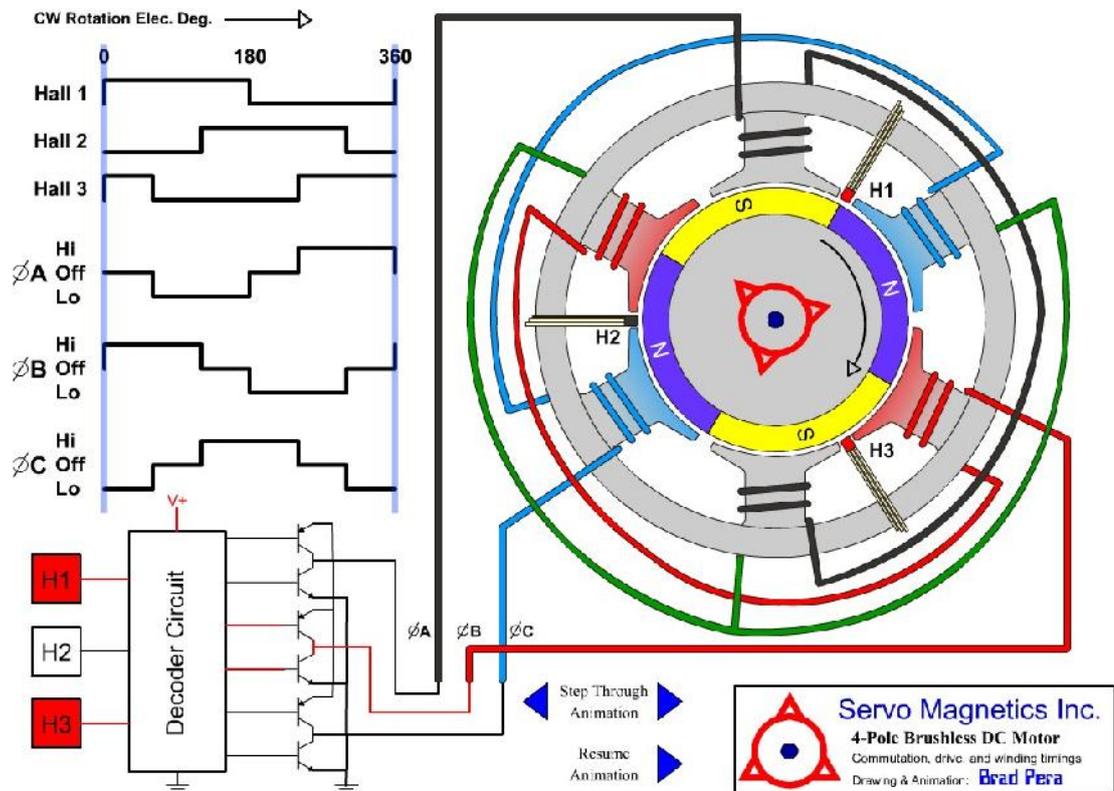
Perbedaan utama antara motor DC magnet permanen (DC-MP) dengan motor *brushless* DC adalah terletak pada pembangkitan medan magnet untuk menghasilkan gaya gerak. Jika pada motor DC-MP medan magnet yang dikontrol berada di rotor dan medan magnet tetap berada di stator. Sebaliknya, motor *brushless* menggunakan pembangkitan medan magnet stator untuk mengontrol geraknya sedang medan magnet tetap berada di rotor. (Endra Pitowarno, 2006: 84). Motor BLDC mempunyai banyak keuntungan dibandingkan dengan motor DC lainnya (Andry Yulistiyanto, 2013 : 41), yaitu:

1. Kecepatan yang lebih baik untuk melawan karakteristik tenaga putaran.
2. Tanggapan dinamis tinggi.
3. Efisiensi tinggi.
4. Tahan lama atau usia pakai lebih lama.
5. Nyaris tanpa suara bila dioperasikan.
6. *Speed range* yang lebih luas.

Perbandingan tenaga putaran lebih besar dibanding dengan ukuran motor, dengan ukuran motor yang relatif kecil dapat menghasilkan torsi yang cukup besar. Jadi ini sangat bermanfaat bila akan digunakan pada aplikasi yang sangat kritis terhadap beban dan tempat pemasangan. Menggunakan motor yang bertegangan (rpm/volt) rendah (dibawah 1000KV), ini akan mempengaruhi agresifitas *quadcopter* dan efisiensi. Perkirakan juga beban yang akan di angkat motor, ini akan menentukan pemilihan daya motor. Setiap motor punya daya dorong (*trust*), misalkan ;

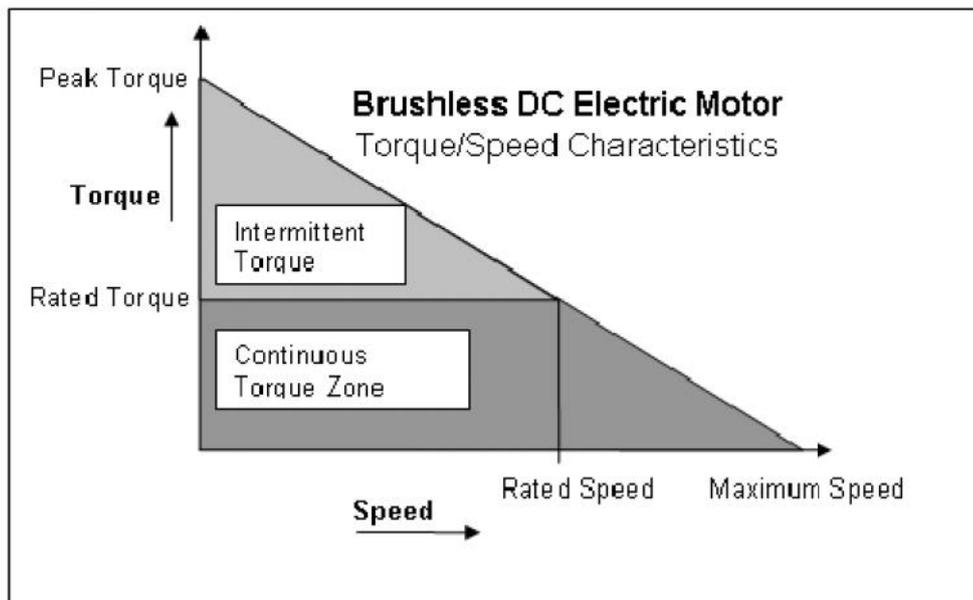
motor dengan *trust* 500gr x 4 = 2000gr

maka berat maksimal *quadcopter*  $\frac{3}{4}$  x 2000gr = 1500gr.



**Gambar 2.8** Diagram Skema Motor *Brushless*.

(Sumber : [www.avdweb.nl/solar-bike/hub-motor/permanent-magnet-dc-hub-motor-tuning.html](http://www.avdweb.nl/solar-bike/hub-motor/permanent-magnet-dc-hub-motor-tuning.html))



**Gambar 2.9** Karakteristik Motor *Brushless DC*.

(Sumber : [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Brushless\\_DC\\_Electric\\_Motor\\_Torque-Speed\\_Characteristics.png](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Brushless_DC_Electric_Motor_Torque-Speed_Characteristics.png))

**Tabel II.4** Karakteristik Motor DC *Brushless* 920KV

Parameter	Nilai
KV (rpm/v)	920
<i>Weight</i> (g)	57
<i>Max Current</i> (A)	16
<i>Resistance</i> (mh)	90
<i>Max Voltage</i> (V)	11
<i>Power</i> (W)	150

(Sumber: [http://www.hobbyking.com/hobbyking/store/\\_\\_18155\\_\\_turnigy\\_aerodrive\\_sk3\\_2830\\_920kv\\_brushless\\_outrunner\\_motor.html](http://www.hobbyking.com/hobbyking/store/__18155__turnigy_aerodrive_sk3_2830_920kv_brushless_outrunner_motor.html) )

### 2.1.5 Baling-baling (*Propeller*)

Baling-baling (*propeller*) adalah alat untuk menjalankan pesawat terbang. Baling-baling ini memindahkan tenaga dengan mengkonversi gerakan rotasi menjadi daya dorong untuk menggerakkan sebuah kendaraan seperti pesawat terbang, untuk melalui suatu massa seperti udara, dengan memutar dua atau lebih bilah kembar dari sebuah poros utama. Sebuah *propeler* berperan sebagai sayap berputar, dan memproduksi gaya yang mengaplikasikan prinsip Bernoulli dan hukum gerak Newton, menghasilkan sebuah perbedaan tekanan antara permukaan depan dan belakang. Baling-baling yang digunakan pada *quadcopter* berdimensi 10 x 45 inch. (Sumber : <http://id.wikipedia.org/wiki/Baling-baling>). Contoh gambar *propeller* ditunjukkan pada gambar 2.10.



**Gambar 2.10** Baling-baling 10 x 4,5 inch.

(Sumber : [http://box492.listingfactoryhosting.org/users/13054a004e1bd8fd16/eBayAuctions/10x45dji ebay/images/6704886433394b81a14058716\\_large.jpg](http://box492.listingfactoryhosting.org/users/13054a004e1bd8fd16/eBayAuctions/10x45dji ebay/images/6704886433394b81a14058716_large.jpg))

### 2.1.6 Baterai Lithium Polimer (Li-Po)

Baterai Li-Po tidak menggunakan cairan sebagai elektrolit melainkan menggunakan elektrolit polimer kering yang berbentuk seperti lapisan plastik film tipis. Lapisan film ini disusun berlapis-lapis diantara anoda dan katoda yang mengakibatkan pertukaran ion. Dengan metode ini baterai Li-Po dapat dibuat dalam berbagai bentuk dan ukuran. Diluar dari kelebihan arsitektur baterai Li-Po, terdapat juga kekurangan yaitu lemahnya aliran pertukaran ion yang terjadi melalui elektrolit polimer kering. Hal ini menyebabkan penurunan pada *charging* dan *discharging rate*. Masalah ini sebenarnya bisa diatasi dengan memanaskan baterai sehingga menyebabkan pertukaran ion menjadi lebih cepat, namun metode ini dianggap tidak dapat untuk diaplikasikan pada keadaan sehari-hari. Seandainya para ilmuwan dapat memecahkan masalah ini maka risiko keamanan pada baterai jenis lithium akan sangat berkurang. Ada tiga kelebihan utama yang ditawarkan oleh baterai berjenis Li-Po dibandingkan baterai jenis lain seperti NiCad atau NiMH yaitu :

1. Baterai Li-Po memiliki bobot yang ringan dan tersedia dalam berbagai macam bentuk dan ukuran.
2. Baterai Li-Po memiliki kapasitas penyimpanan energi listrik yang besar.
3. Baterai Li-Po memiliki tingkat *discharge rate* energi yang tinggi, dimana hal ini sangat berguna sekali dalam bidang RC selain keuntungan lain yang dimilikinya.

Baterai jenis ini juga memiliki beberapa kelemahan yaitu:

1. Harga baterai Li-Po masih tergolong mahal jika dibandingkan dengan baterai jenis NiCad dan NiMH.
2. Performa yang tinggi dari baterai Li-Po harus dibayar dengan umur yang lebih pendek. Usia baterai Li-Po sekitar 300-400 kali siklus pengisian ulang. Sesuai dengan perlakuan yang diberikan pada baterai.
3. Alasan keamanan, baterai Li-Po menggunakan bahan elektrolit yang mudah terbakar.

4. Baterai Li-Po membutuhkan penanganan khusus agar dapat bertahan lama. *Charging, Discharging*, maupun penyimpanan dapat mempengaruhi usia dari baterai jenis ini.

#### *Rating* baterai Li-Po

##### 1. Tegangan (*Voltage*)

Pada baterai jenis NiCad atau NiMH tiap sel memiliki 1,2 volt sedangkan pada baterai Li-Po memiliki *rating* 3,7 volt per sel. Keuntungannya adalah tegangan baterai yang tinggi dapat dicapai dengan menggunakan jumlah sel yang lebih sedikit.

Pada setiap paket baterai Li-Po selain tegangan ada label yang disimbolkan dengan “S”. Disini “S” berarti sel yang dimiliki sebuah paket baterai (*battery pack*). Sementara bilangan yang berada didepan simbol menandakan jumlah sel dan biasanya berkisar antar 2-6S (meskipun kadang ada yang mencapai 10S). Berikut adalah beberapa contoh notasi baterai Li-Po.

- a. 3.7 volt *battery* = 1 cell x 3.7 volts
- b. 7.4 volt *battery* = 2 cells x 3.7 volts (2S)
- c. 11.1 volt *battery* = 3 cells x 3.7 volts (3S)
- d. 14.8 volt *battery* = 4 cells x 3.7 volts (4S)
- e. 18.5 volt *battery* = 5 cells x 3.7 volts (5S)
- f. 22.2 volt *battery* = 6 cells x 3.7 volts (6S)

##### 2. Kapasitas (*Capacity*)

Kapasitas baterai menunjukkan seberapa banyak energi yang dapat disimpan oleh sebuah baterai dan diindikasikan dalam *miliampere hours* (mAh). Notasi ini adalah cara lain untuk mengatakan seberapa banyak beban yang dapat diberikan kepada sebuah baterai selama 1 jam, dimana setelah 1 jam baterai akan benar-benar habis.

Sebagai contoh sebuah baterai RC Li-Po yang memiliki *rating* 5000 mAh akan benar-benar habis apabila diberi beban sebesar 5000 *miliampere* selama 1 jam. Apabila baterai yang sama diberi beban 2500 *miliampere*, maka baterai akan

benar-benar habis setelah selama 2 jam. Pada pemakaian di *quadcopter* arus yg di butuhkan ESC untuk mengerakkan 4 buah motor adalah 25A jadi baterai tersebut akan benar-benar habis dalam waktu  $\pm 12$  menit.

### 3. *Discharge Rate*

*Discharge rate* biasa disimbolkan dengan “C” merupakan notasi yang menyatakan seberapa cepat sebuah baterai untuk dapat dikosongkan (*discharge*) secara aman. Sesuai dengan penjelasan diatas bahwa energi listrik pada baterai Li-Po berasal dari pertukaran ion dari anoda ke katoda. Semakin cepat pertukaran ion yang dapat terjadi maka berarti semakin nilai dari “C”.

Sebuah baterai dengan discharge rate 20-30c berarti baterai tersebut dapat di discharge 20-30 kali dari kapasitas beteraai sebenarnya. Mari gunakan contoh baterai 5000 mAh diatas sebagai contoh. Jika baterai tersebut memiliki *rating* 20-30C maka berarti baterai tersebut dapat menahan beban maksimum hingga 150.000 *miliampere* atau 150 *Ampere*. ( $30 \times 5000 \text{ miliampere} = 150 \text{ Ampere}$ ). Angka ini berarti sama dengan 2500 mA per menit, maka energi baterai 5000 mAh akan habis dalam 83,3 menit. Angka ini berasal dihitung dengan mengkalkulasi jumlah arus per menitnya. 5000 mAh dibagi 60 menit = 83,3 mA per menit. Lalu kemudian kalikan 83,3 dengan *C rating* (dalam hal ini 30) = 250 mA beban per menit.



**Gambar 2.11** Li-Po Battery 5 Ampere.  
(Sumber : [www.hobbyking.com](http://www.hobbyking.com))

## 2.2 Kontrol Kecepatan

### 2.2.1 Electronic Speed Control

ESC yang digunakan adalah berjenis *brushless*, terdiri atas susunan MOSFET (*Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*) untuk mengendalikan kecepatan motor *brushless*. ESC bekerja secara cepat untuk menghidupkan atau mematikan pulsa ke motor, sehingga respon kendali motor cepat. Selain itu ESC yang digunakan telah berbasis mikroprosesor, sehingga dapat diprogram sesuai dengan kebutuhan. Keempat ESC yang digunakan tergabung dalam satu fisik, atau dapat disebut sebagai Quattro ESC, sehingga tidak memerlukan konfigurasi *wiring* yang banyak. (Ghani Akbar Habibi, 2013 : hlm 34, 35). Berikut ini adalah tabel spesifikasi ESC MOSFET yang digunakan.

**Tabel II.5** Spesifikasi ESC

Parameter	Nilai
Arus konstan (A)	20
Arus lebih(>10 s) (A)	25
Keluaran BEC	5V@3A
Massa(gr)	112
Ukuran (PxLxT)	70x62x11 (Quattro)

(Sumber : Ghani Akbar Habibi, *Perancangan Dan Analisis Otomasi Sistem Kendali Quadcopter Melalui Koordinat Dengan Global Positioning System Tracker*, (Bandung, Institut Teknologi Telkom, 2013), hlm. 35)

ESC memberikan catuan pada motor sesuai dengan sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM) yang masuk pada *input* ESC. Selain itu ESC ini juga memiliki fasilitas *Battery Eliminator Circuit* (BEC) yang memiliki keluaran tegangan kecil untuk mencatu *flight controller* serta sensor yang lain. Berikut ini merupakan fitur yang dimiliki ESC MOSFET ini :

1. *Brake*, berfungsi untuk menghentikan motor secara spontan.
2. *Soft start*, berfungsi sebagai pengatur lama waktu menyalakan sistem.
3. *Battery type*, pemilihan baterai yang digunakan.
4. *Microprocessor*, berfungsi untuk mengatur fitur agar dapat diprogram.
5. *Cut Off*, berfungsi sebagai pemotong arus jika baterai akan habis.

ESC MOSFET ini memiliki 0,002 Ohm resistansi. Menurut hukum Ohm, maka dapat dihitung tegangan hilang pada ESC, yakni:

$$\begin{aligned} V_{\text{loss}} &= I_{\text{ESC}} \times R \\ &= 20 \times 0,002 \\ &= 0,04 \text{ Volt} \end{aligned}$$

kemudian berdasarkan hukum Ohm ke-dua, daya yang hilang dapat diketahui, yakni:

$$\begin{aligned} P &= V_{\text{loss}} \times I_{\text{ESC}} \\ &= 0,04 \times 20 \\ &= 0,8 \text{ Watt} \end{aligned}$$

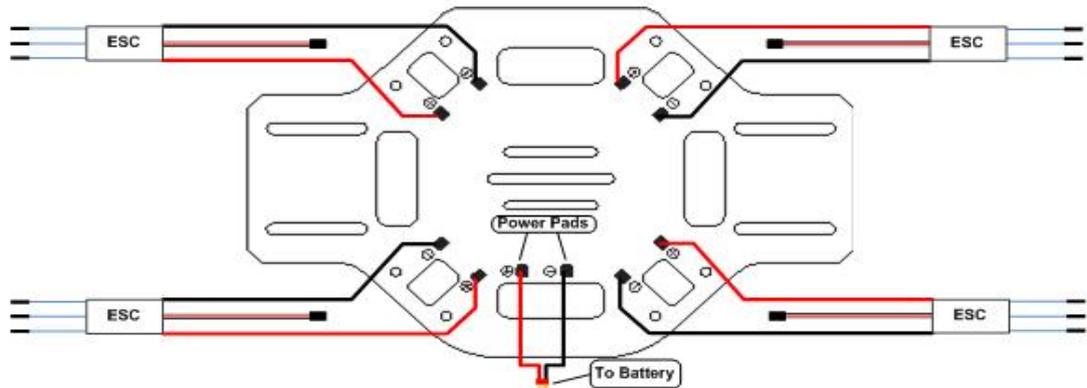
oleh karena itu, ESC MOSFET ini lebih efisien karena daya yang hilang hanya sekitar 0,8 Watt untuk setiap motor. Sedangkan daya konstan maksimum yang dapat dihasilkan setiap motor adalah:

$$\begin{aligned} P &= V_{\text{sistem}} \times I_{\text{ESC}} \\ &= 11,1 \times 20 \\ &= 222 \text{ Watt.} \end{aligned}$$



**Gambar 2.12** Contoh Bentuk Fisik ESC.  
(Sumber : [www.heliproz.com](http://www.heliproz.com))

## ESC Wiring



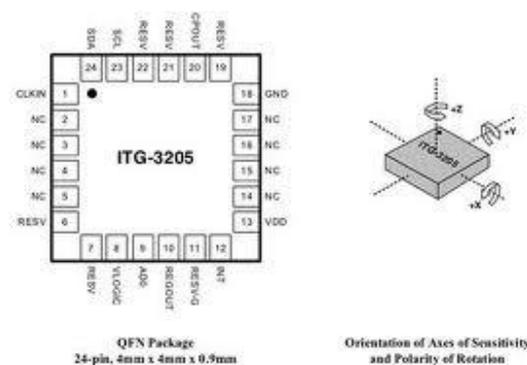
**Gambar 2.13** ESC Wiring.  
(Sumber : wiki.dji.com)

## 2.3 Kontrol Keseimbangan

### 2.3.1 Giroskop

Fungsi giroskop adalah untuk mendeteksi gerakan rotasi penuh terhadap garis permukaan bumi. (Endra Pitowarno, 2006: 65). Untuk robot terbang dan bawah air giroskop ini sangat vital. Pada dasarnya giroskop memiliki fungsi yang sama dengan HMR3000 dalam mendeteksi kemiringan.

Namun giroskop memiliki jangkauan yang lebih besar karena bisa mendeteksi kemiringan / kecondongan hingga terjadi rotasi. sebagai contoh adalah *Hitec GY 130 Piezo Gyro* buatan *Hitec, Inc.* Komponen ini berteknologi *hybrid* dan didesain kompatibel dengan berbagai sistem kontroler. *Outputnya* berupa PWM ( *Pulse Width Modulation* ).



**Gambar 2.14** Pin Gyroscope.

(Sumber : [www.geeetech.com/wiki/index.php/ITG3205\\_Triple\\_Axis\\_Gyroscope\\_Breakout](http://www.geeetech.com/wiki/index.php/ITG3205_Triple_Axis_Gyroscope_Breakout))

### 2.3.2 Accelerometer

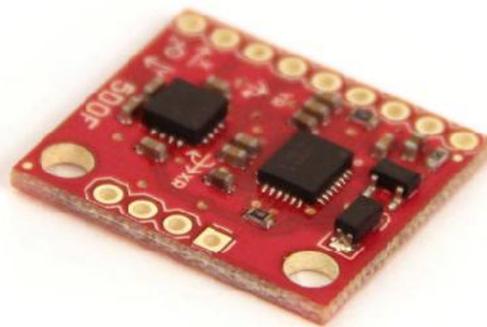
Percepatan atau akselerasi dari suatu bagian robot dapat diukur dengan menggunakan *accelerometer*. (Endra Pitowarno, 2006 : 65, 66). Untuk aplikasi kontrol pada level akselerasi, *accelerometer* ini amat diperlukan. Meskipun akselerasi dapat diperoleh melalui derivasi kecepatan (memanfaatkan data dari sensor kecepatan) namun pengukuran langsung pada besaran akselerasi dapat memberikan informasi yang lebih akurat karena data yang diperoleh adalah data riil secara instan. Jika akselerasi diperoleh dari perhitungan :

$$\ddot{\theta} = \int_0^t \dot{\theta}(t) dt \text{ atau } \ddot{\theta} = \frac{d\dot{\theta}}{dt} \dots\dots\dots 1$$

Dengan t adalah saat dimana akselerasi seharusnya diukur. tetapi perhitungan yang sesungguhnya,

$$\ddot{\theta} = (\dot{\theta}_t - \dot{\theta}_{t-1}) / \Delta t \dots\dots\dots 2$$

Nampak bahwa akselerasi adalah rata-rata hasil pengukuran kecepatan saat “sebelumnya“. Dalam kontrol *realtime* hal ini dapat mengurangi akurasi hasil perhitungan. Jika akselerasi memiliki respon yang sangat cepat (pengaruh vibrasi dan *impact*) maka cara perhitungan seperti diatas justru dapat merugikan sistem kontrol secara keseluruhan karena akselerasi “terhitung“ bisa selalu berbeda dengan akselerasi instan yang seharusnya diukur.



**Gambar 2.15** Accelerometer dan Gyroscope  
(Sumber : [www.instructables.com](http://www.instructables.com))

## 2.4 Kontrol Posisi

### 2.4.1 Kompas Elektronik



**Gambar 2.16** Kompas Elektronik

(Sumber : <http://www.rcgroups.com/forums/showthread.php?t=1676150>)

Dalam navigasi *mobile* robot, penentu arah hadap adalah mutlak diperlukan. Sebelum kompas elektronik menjadi populer dan bisa dibuat dalam bentuk kompak berteknologi *hybrid*, arah hadap robot biasanya diperoleh melalui perhitungan kinematik berdasarkan gerakan. Namun diketahui dalam gerakan robot dapat terjadi slip, biasanya dikarenakan terjadi gangguan dari angin (dalam kasus *quadcopter*) ataupun terjadi tabrakan (*collision*) dengan objek lain dan lain sebagainya. (Endra Pitowarno, 2006 : 64).

Secara umum, terdapat dua macam kompas elektronik yang cukup mudah diperoleh dipasaran, yaitu :

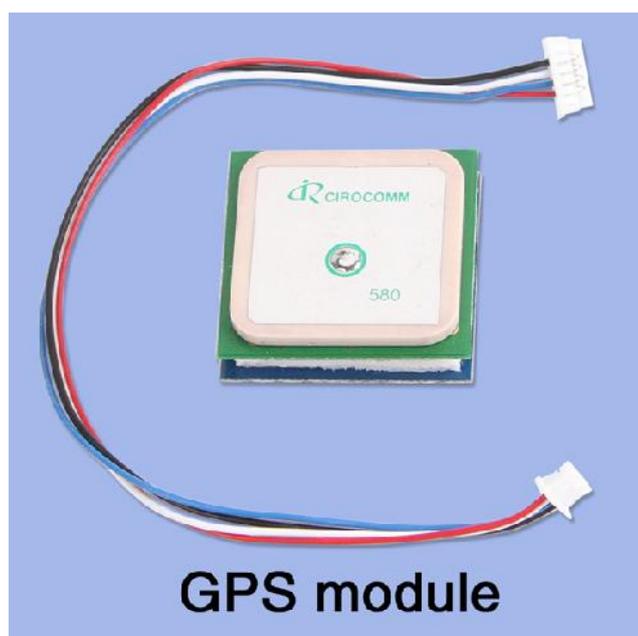
1. Kompas elektronik analog : contoh, Dinsmore Analog Sensor No. 1525 (Dinsmore, 1999). Tipe ini memiliki tingkat presisi yang rendah karena *output* hanya menunjukkan 8 arah mata angin. Untuk navigasi robot tidak memerlukan kepresisian yang tinggi, misalnya robot kompetisi, kompas analog cukup memadai.
2. Kompas elektronik digital : contoh, HMR3000 buatan Honeywell, 2005), Vector 2X (Precision Navigation, 1998).

HMR3000 yang berbentuk komponen elektronik *hybrid*, dapat digunakan sekaligus mendeteksi arah hadap, kecondongan kepala (robot) kearah depan/belakang (*pitch*), dan kemiringan kiri/kanan (*roll*). Pada dasarnya sensor ini didesain untuk keperluan navigasi kendaraan tanpa awak (*unmanned vehicle*), navigasi kapal dilaut, robot bawah air (*underwater robot*), dan lain sebagainya.

#### 2.4.2 *Global Positioning System (GPS)*

GPS adalah suatu jaringan satelit yang mengizinkan pemakai untuk menentukan garis lintang tepat mereka, garis bujur, dan (jika bisa diterapkan) ketinggian di atas permukaan atau di dalam laut. Satelit memancarkan isyarat dengan panjang gelombang pendek/singkat, membandingkannya dengan radar polisi. Sinyal diatur dengan waktu dan kode identifikasi. (Stan Gibilisco : 288).

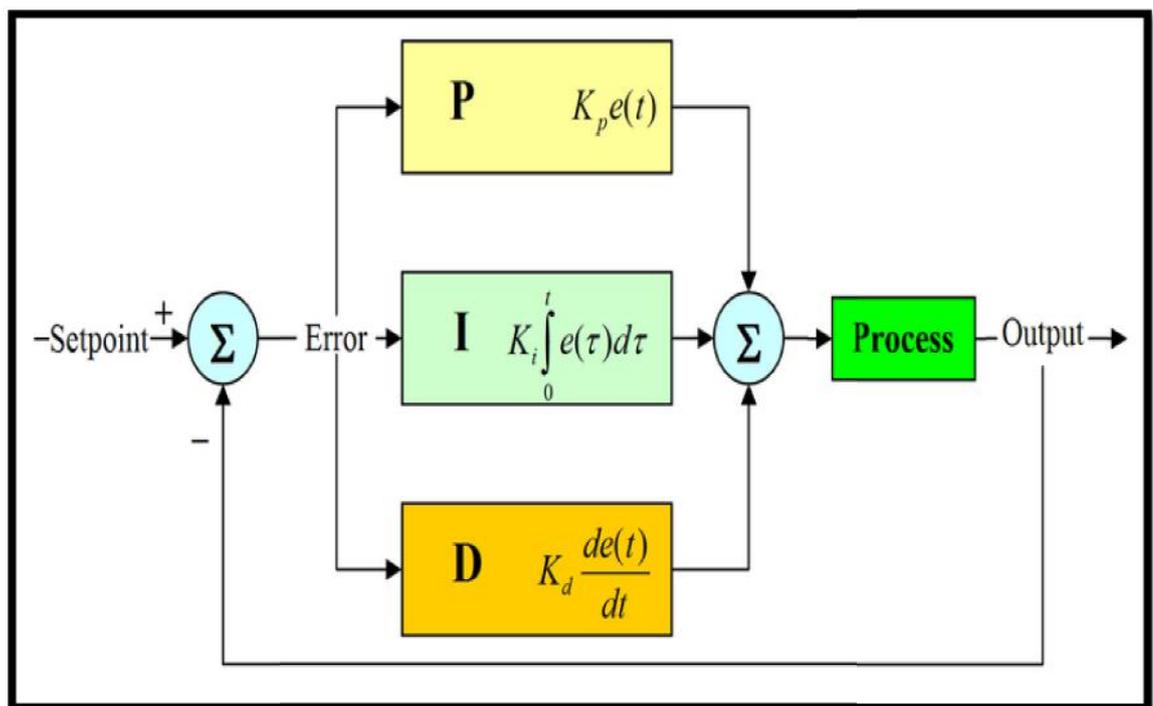
Penerima GPS terdiri dari komputer yang mengkalkulasikan jarak baris penglihatan dengan 4 satelit yang berbeda secara bersamaan. Dengan membandingkan kode waktu dari sinyal yang datang dari tiap satelit. Komputer ini dapat menyediakan penempatan data yang akurat dalam beberapa meter dari jarak pengguna sebenarnya, berdasarkan dari empat jarak.



**Gambar 2.17** Modul GPS  
(Sumber : [www.justrcmodels.com](http://www.justrcmodels.com))

## 2.5 Kontrol PID (*Proportional, Integral, Derivative*)

Aksi kontrol PID (*Proportional, Integral, Derivative*) banyak ditemukan di dunia industri dan satu-satunya strategi yang paling banyak diadopsi pada pengontrolan proses. Berdasarkan survei, 97% industri yang bergerak dalam bidang proses (seperti kimia, *pulp*, makanan, minyak, dan gas) menggunakan PID sebagai komponen utama dalam pengontrolannya. PID (dari singkatan bahasa Inggris: *Proportional-Integral-Derivative controller*) merupakan kontroler untuk menentukan presisi suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik adanya umpan balik pada sistem tersebut. (Sumber : <http://id.wikipedia.org/wiki/PID>). Komponen kontrol PID ini terdiri dari tiga jenis yaitu *Proportional, Integral* dan *Derivative*.



**Gambar 2.18** Diagram Blok Sistem Kontrol PID (*Proportional, Integral* dan *Derivative*)

(Sumber : <http://id.wikipedia.org/wiki/PID>)

### 2.5.1 Kontrol *Proportional*

$K_p$  berlaku sebagai *gain* (penguat) saja tanpa memberikan efek dinamik kepada kinerja kontroler. Jika,

$$G(s) = k_p \dots\dots\dots 3$$

dengan k adalah konstanta. Jika,

$$u = G(s) \cdot e \text{ maka } u = K_p \cdot e \dots\dots\dots 4$$

dengan  $K_p$  adalah Konstanta *Proportional*.

Penggunaan kontrol P memiliki berbagai keterbatasan karena sifat kontrol yang tidak dinamik ini. Walaupun demikian dalam aplikasi-aplikasi dasar yang sederhana kontrol P ini cukup mampu untuk memperbaiki respon transien khususnya *rise time* dan *settling time*. (Sumber : <http://id.wikipedia.org/wiki/PID>).

### 2.5.2 Kontrol *Integral*

Jika  $G(s)$  adalah kontrol I maka u dapat dinyatakan sebagai:

$$u(t) = [\int e(t)dT] K_i \dots\dots\dots 5$$

dengan  $K_i$  adalah konstanta *Integral*, dan dari persamaan gambar 2.18,  $G(s)$  dapat dinyatakan sebagai :

$$u = K_d [\Delta e / \Delta t] \dots\dots\dots 6$$

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 sehingga dapat menyebabkan ketidakstabilan sistem. Pemilihan  $K_i$  yang sangat tinggi justru dapat menyebabkan *output* berosilasi karena menambah orde sistem. (Sumber : <http://id.wikipedia.org/wiki/PID>).

### 2.5.3 Kontrol *Derivative*

Sinyal kontrol  $u$  yang dihasilkan oleh kontrol D dapat dinyatakan sebagai

$$G(s) = s.K_d \dots\dots\dots 7$$

Dari persamaan pada gambar 2.18, nampak bahwa sifat dari kontrol D ini dalam konteks "kecepatan" atau rate dari *error*. Dengan sifat ini ia dapat digunakan untuk memperbaiki respon transien dengan memprediksi *error* yang akan terjadi. Kontrol *derivative* hanya berubah saat ada perubahan *error* sehingga saat *error* statis kontrol ini tidak akan bereaksi, hal ini pula yang menyebabkan kontroler *derivative* tidak dapat digunakan sendiri. (Sumber : <http://id.wikipedia.org/wiki/PID>).

## 2.6 Sensor Kamera

Penggunaan kamera (digital) dalam dunia robotik dikenal sebagai *robotics vision*. Seperti halnya mata pada manusia, kamera dapat didesain sebagai mata pada robot. Dengan mata, robot dapat lebih leluasa "melihat" lingkungannya sebagaimana manusia.

Teknologi optik pada dasarnya masih tetap menggunakan teknik yang telah berkembang sejak lebih dari 100 tahun yang lalu, yaitu penggunaan konfigurasi lensa cembung dan cekung. Kemampuan kamera digital biasanya diukur dari resolusi tangkapan gambarnya dalam pixel/inch atau pixel/cm. Semakin besar resolusinya maka semakin akurat hasil tangkapan gambarnya. (Endra Pitowarno, 2006 :73, 74).



**Gambar 2.19** Mobius CAM

(Sumber : <http://www.rcgroups.com/forums/showthread.php?t=1904559>)