

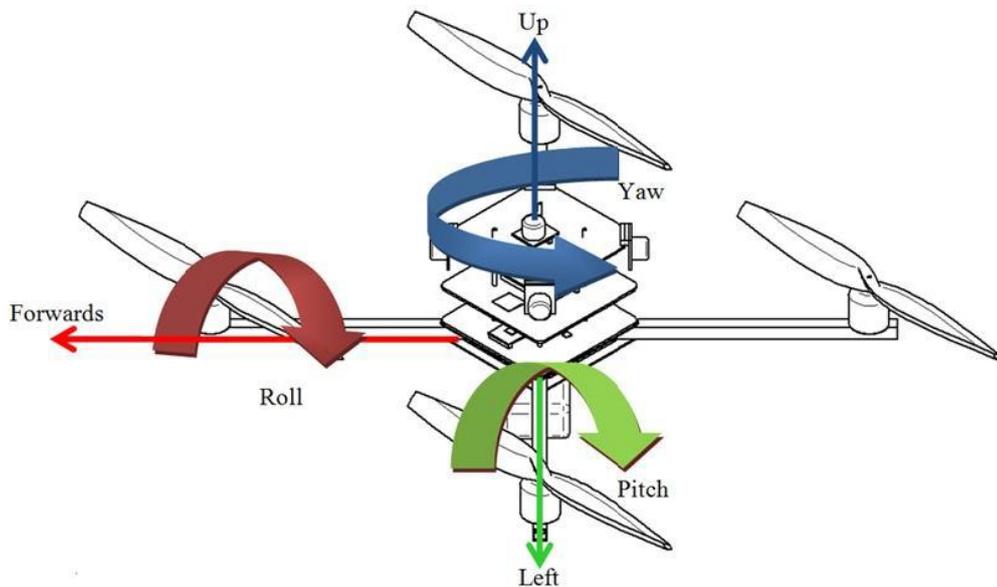
## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 *Quadcopter*

*Quadcopter* adalah salah robot penjelajah udara *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) yang termasuk kategori UAV mikro memiliki 4 buah baling-baling motor sebagai penggerak. *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.

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.

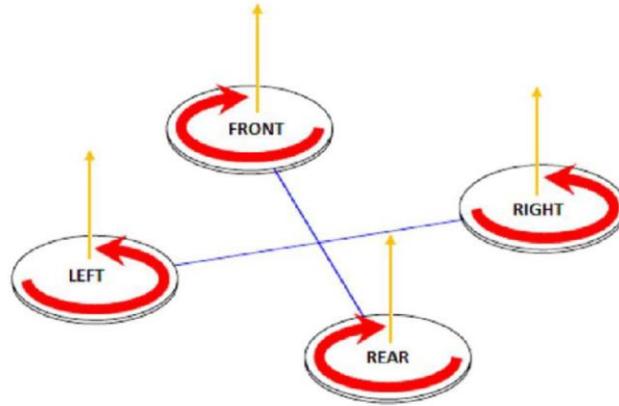


**Gambar 2.1** *Pitch Roll Yaw* Pada *Quadcopter*.

(xplorenlearn.wordpress.com)

### 2.1.1 Pergerakan mekanisme *Quadcopter* lepas landas dan mendarat

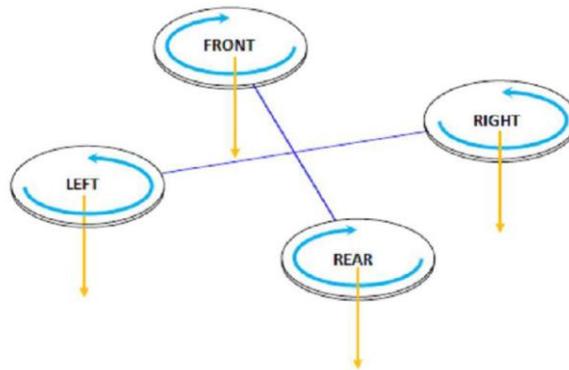
Lepas landas adalah gerakan *Quadcopter* yang mengangkat dari tanah untuk posisi melayang, yang digambarkan pada gambar 2.2.



**Gambar 2.2** Gerak lepas landas *quadcopter*

(xplorenlearn.wordpress.com)

Gerakan pendaratan adalah meningkatkan kecepatan penurunan empat motor secara bersamaan yang berarti mengubah gerakan *vertikal* dan digambarkan pada gambar 2.3



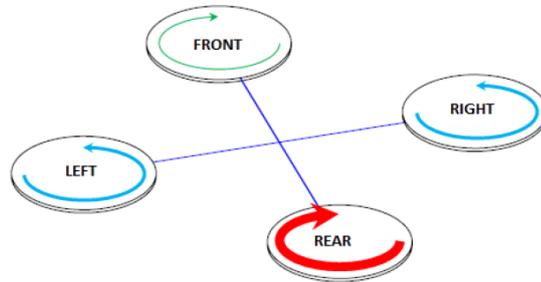
**Gambar 2.3** Gerak pendaratan *quadcopter*

(xplorenlearn.wordpress.com)

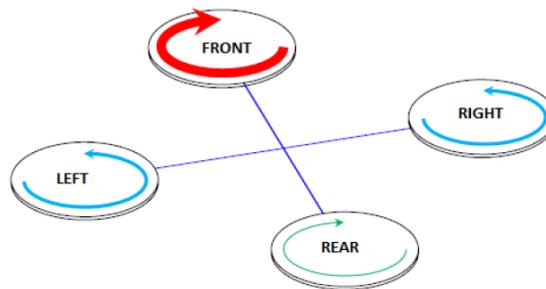
### 2.1.2 Pergerakan mekanisme *Quadcopter* maju dan mundur

Maju mundur adalah gerak kontrol dengan kenaikan,penurunan kecepatan belakang,depan. Kecepatan motor secara bersamaan akan mempengaruhi sudut *quadcopter* tersebut. Gerakan maju dan mundur dari *quadcopter* yang ditunjukkan

pada gambar 2.4 menggambarkan gerak maju *quadcopter* dan 2.5 Menggambarkan gerak mundur *Quadcopter*.



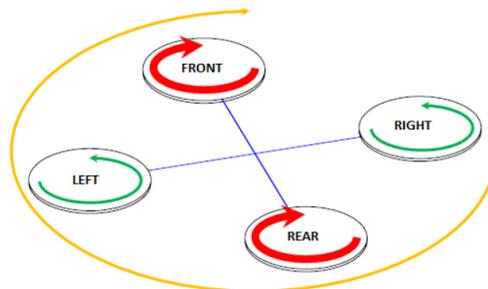
**Gambar 2.4** Gerak maju *quadcopter*  
(xplorenlearn.wordpress.com)



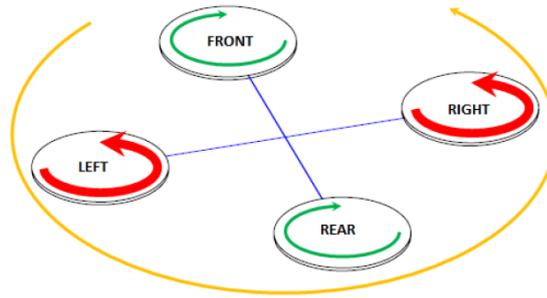
**Gambar 2.5** Gerak mundur *quadcopter*  
(Sumber: xplorenlearn.wordpress.com)

### 2.1.3 Pergerakan mekanisme *Quadcopter* ke kiri dan ke kanan

Untuk gerak kiri dan kanan, dapat mengontrol dengan mengubah sudut *yaw* dari *quadcopter* yang ditunjukkan pada gambar 2.6 Menggambarkan gerak ke kanan *Quadcopter*, dan 2.7 Menggambarkan gerak ke kiri *Quadcopter*.



**Gambar 2.6** Gerak Kekanan *quadcoter*  
(xplorenlearn.wordpress.com)



**Gambar 2.7** Gerak kekiri *quadcopter*

(xplorenlearn.wordpress.com)

#### 2.1.4 Pergerakan mekanisme *Quadcopter* melayang

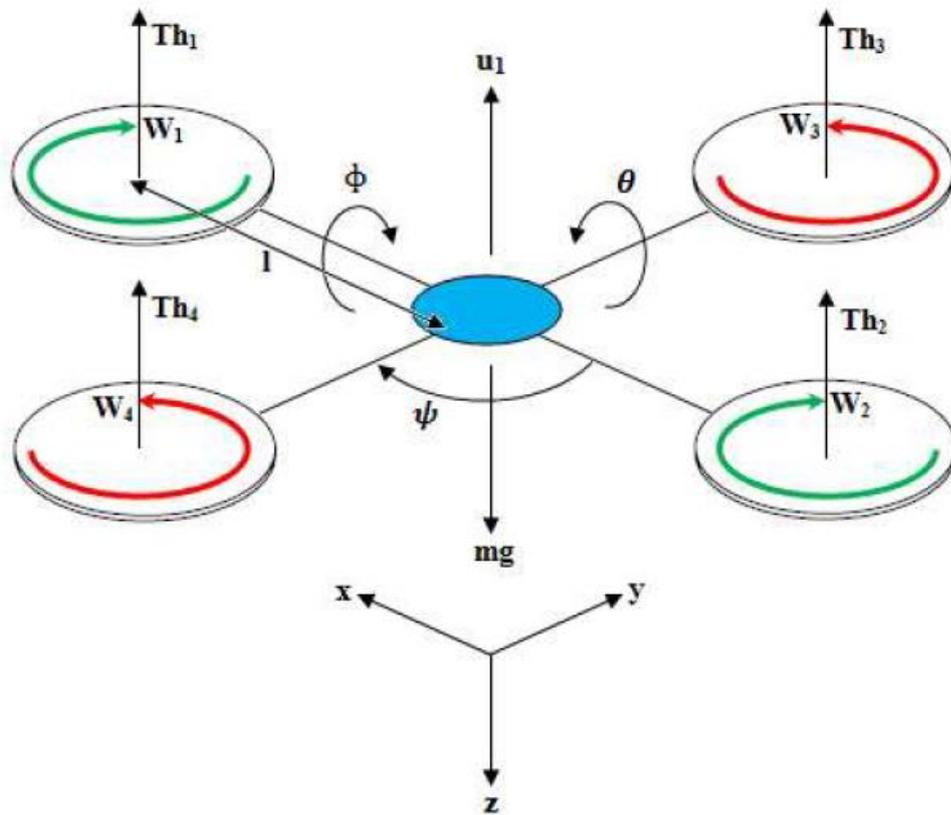
Posisi melayang atau tetap dari *quadcopter* dapat dilakukan oleh dua bagian motor yang berputar dalam searah jarum jam dan berlawanan arah jarum jam masing-masing dengan kecepatan yang sama. Dengan dua motor berputar searah jarum jam dalam posisi searah jarum jam dan kontra jumlah total torsi reaksi sama dengan nol dan *quadcopter* ini diperbolehkan dalam posisi melayang.

#### 2.1.5 Pemodelan matematika *Quadcopter*

Pemodelan secara fisik terbilang *kompleks* dan apabila tanpa ada asumsi yang digunakan untuk menyederhanakan persamaan, perhitungan menjadi tidak praktis. Beberapa asumsi yang digunakan dalam pemodelan ini adalah :

1. Struktur dari *quadcopter* dikatakan *rigid*.
2. Struktur dari *quadcopter* dikatakan *simetris*.
3. Struktur dari *propeller* dikatakan *rigid*.
4. Gaya *thrust* dan *drag* adalah proporsional dengan kuadrat dari kecepatan *propeller*.
5. Keadaan model adalah keadaan ketika *hovering quadcopter* memiliki 6 *degree of freedom* (DoF)

Gerakan skematik *quadcopter* diwakili dalam Gambar 2.8 dan berdasarkan ini skematis, pemodelan matematika *quadcopter* diperoleh dengan cara sebagai berikut :



**Gambar 2.8** Skema *quadcopter*

(xplorenlearn.wordpress.com)

Keterangan :

- $U_1$  : Jumlah tekanan dari setiap motor
- $Th_1$  : Dorongan yang dihasilkan oleh motor depan
- $Th_2$  : Dorongan yang dihasilkan oleh motor belakang
- $Th_3$  : Dorongan yang dihasilkan oleh motor kanan
- $Th_4$  : Dorongan yang dihasilkan oleh motor kiri
- $m$  : Massa *quadcopter*
- $g$  : Percepatan gravitasi
- $l$  : Panjang setengah dari *quadcopter*
- $x, y, z$  : Tiga posisi
- $\theta, \phi, \psi$  : Tiga sudut *eurel* mewakili *pitch, roll, and yaw*

**2.1.6 Dinamika Quadcopter**

Dinamika *quadcopter* adalah keadaan dimana *quadcopter* berusaha mempertahankan gerakan saat di udara berdasarkan *leveling* awal. Pada dinamika *quadcopter*, terdapat persamaan kinematik dan dinamik. Kinematik berhubungan dengan posisi gerak, sedangkan dinamik berhubungan dengan posisi. Untuk persamaan kinematik sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\varphi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\varphi\cos\theta & \sin\varphi\cos\theta + \cos\varphi\sin\theta\sin\phi & \sin\varphi\sin\theta + \cos\varphi\sin\theta\cos\phi \\ \sin\varphi\cos\theta & \cos\varphi\cos\theta + \sin\varphi\sin\theta\sin\phi & -\cos\varphi\sin\theta + \sin\varphi\sin\theta\cos\phi \\ -\sin\theta & \cos\theta\sin\phi & \cos\theta\cos\phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix} \quad (1)$$

Variable  $\phi$ ,  $\theta$ , dan  $\varphi$  adalah posisi pada *frame* bumi, sedangkan  $u, v, w$  adalah percepatan pada *frame* badan *quadcopter*. Selanjutnya di bawah ini adalah transfer matriks dari persamaan (2.1), dimana  $p, q, r$  adalah kecepatan pada masing-masing posisi.

$$\begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\varphi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \sin\phi\tan\theta & \cos\phi\tan\theta \\ 0 & \cos\phi & -\sin\phi \\ 0 & \sec\phi\sin\theta & \sec\phi\cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix} \quad (2)$$

Untuk dinamika *quadcopter* persamaan sebagai berikut :

$$F = m \frac{dv}{dt} \quad (3)$$

$m$  adalah massa dari sistem yang digunakan,  $a$  adalah percepatan gerak, dan  $F$  adalah gaya yang terjadi pada sistem. Sehingga persamaan dapat ditulis:

$$\begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \end{bmatrix} = m \frac{dv}{dt} = m \left( \begin{bmatrix} \dot{u} \\ \dot{v} \\ \dot{w} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix} \right) \quad (4)$$

Sehingga percepatan *linier* dari *quadcopter* dapat dihitung:

$$\begin{bmatrix} \dot{u} \\ \dot{v} \\ \dot{w} \end{bmatrix} = \frac{1}{m} \begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} qw - rv \\ pw - ru \\ pv - qu \end{bmatrix} \quad (5)$$

$M$  adalah torsi yang terjadi, dan  $h$  merupakan momentum putar. Dengan menggunakan persamaan coriolis didapat:

$$M = \frac{dv}{dt_o} = \frac{ds}{dt_b} + W X H \dots\dots\dots(6)$$

$$\begin{bmatrix} M_x \\ M_y \\ M_z \end{bmatrix} = 1 \begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix} \times 1 \begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix} \dots\dots\dots(7)$$

Sehingga :

$$\begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix} = 1^{-1} \begin{bmatrix} M_x \\ M_y \\ M_z \end{bmatrix} - 1^{-1} \begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix} \times 1 \begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix} \dots\dots\dots(8)$$

**2.1.7 Aerodinamis Quadcopter**

Adapun gaya aerodinamis pada setiap motor adalah sebagai berikut :

$$U_1 = b (\Omega_1^2 + \Omega_2^2 + \Omega_3^2 + \Omega_4^2)$$

$$U_2 = \ell b (-\Omega_1^2 + \Omega_3^2)$$

$$U_3 = \ell b (-\Omega_2^2 + \Omega_4^2)$$

$$U_4 = d (-\Omega_1^2 + \Omega_2^2 - \Omega_3^2 + \Omega_4^2)$$

$$\Omega = (-\Omega_1 + \Omega_2 - \Omega_3 + \Omega_4)$$

*b* merupakan konstanta *thrust* (gaya angkat motor) , *ℓ* adalah jarak pusat *quadcopter* ke propeller, *Ω* adalah kecepatan sudut putar propeller, dan *d* adalah konstanta *drag* (gaya hambat) yang terjadi pada *quadcopter*. *U*<sub>1</sub> adalah kondisi dimana *quadcopter* ketika naik ke atas, *U*<sub>2</sub> adalah kondisi dimana terjadi gerakan maju atau mundur pada *quadcopter*, *U*<sub>3</sub> adalah kondisi dimana terjadi gerakan ke kiri dan ke kanan pada *quadcopter*, dan *U*<sub>4</sub> adalah kondisi dimana *quadcopter* melakukan gerakan memutar.

Sehingga jika digabungkan dengan persamaan kinematika dan dinamik *quadcopter*, maka persamaan dinamika percepatan *quadcopter* dapat ditulis menjadi:

$$X = (\sin\psi\sin\phi + \cos\psi\sin\theta\cos\phi) \frac{u_1}{m}$$

$$Y = (\cos\psi\sin\phi + \sin\psi\sin\theta\cos\phi) \frac{u_1}{m}$$

$$Z = -g + (\cos\theta\cos\phi) \frac{u_1}{m}$$

$$p = \frac{I_{yy}I_{zz}}{I_{xx}} qr - \frac{I_{yp}}{I_{xx}} q\Omega + \frac{U_2}{I_{xx}}$$

$$q = \frac{I_{zz}I_{xx}}{I_{yy}} pr - \frac{I_{yp}}{I_{xx}} p\Omega + \frac{U_2}{I_{yy}}$$

$$r = \frac{I_{xx}I_{yy}}{I_{zz}} pq - \frac{U_2}{I_{xx}}$$

X merupakan percepatan *quadcopter* pada sumbu X, Y merupakan percepatan *quadcopter* pada sumbu Y, dan Z merupakan percepatan *quadcopter* pada sumbu Z.  $\dot{p}$  adalah percepatan sudut di sumbu X,  $\dot{q}$  adalah percepatan di sumbu Y,  $\dot{r}$  dan adalah percepatan sudut di sumbu Z. (Vechian. 2012.)

## 2.2 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.

A. *Rating* baterai Li-Po

- 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)

- 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 menggerakkan 4 buah motor adalah 25A jadi baterai tersebut akan benar-benar habis dalam waktu  $\pm 12$  menit.

- *Discharge*

*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 baterai sebenarnya. Mari gunakan contoh baterai 5000mAh 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. 5000mAh 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. (Wistu Agias. 2012.)



**Gambar 2.9** Li-Po Battery 5 Ampere.  
(www.aliexpress.com)

### 2.3 *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 2.10 *Remote Control JR propo X2720*.

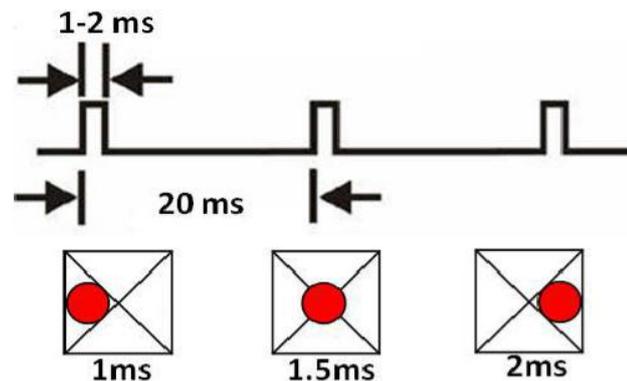


**Gambar 2.10** *Remote Control JR propo X2720*.

(<https://www.aliexpress.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 2.2 Bentuk sinyal *radio receiver* dan posisi *stick*. *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)



**Gambar 2.11** Bentuk sinyal radio *receiver* dan posisi *stick*.

(Andry Yulistiyanto. 2013: 41)

## 2.4 Sensor

Sensor adalah komponen yang dapat digunakan untuk mengkonversi suatu besaran tertentu menjadi satuan analog sehingga dapat dibaca oleh suatu rangkaian elektronik. Sensor merupakan komponen utama dari suatu transduser, sedangkan transduser merupakan sistem yang melengkapi agar sensor tersebut mempunyai keluaran sesuai yang kita inginkan dan dapat langsung dibaca pada keluarannya. (Syam, PHD, Rafiuddin, 2013)

### 2.4.1 Sensor Ultrasonik

Sensor ultrasonik adalah sebuah sensor yang berfungsi untuk mengubah besaran fisis (bunyi) menjadi besaran listrik dan sebaliknya. Cara kerja sensor ini didasarkan pada prinsip dari pantulan suatu gelombang suara sehingga dapat dipakai untuk menafsirkan eksistensi (jarak) suatu benda dengan frekuensi tertentu. Disebut sebagai sensor ultrasonik karena sensor ini menggunakan gelombang ultrasonik (bunyi ultrasonik).

Sensor ultrasonik pada umumnya digunakan untuk menentukan jarak sebuah objek. Sensor ultrasonik mempunyai kemampuan mendeteksi objek lebih

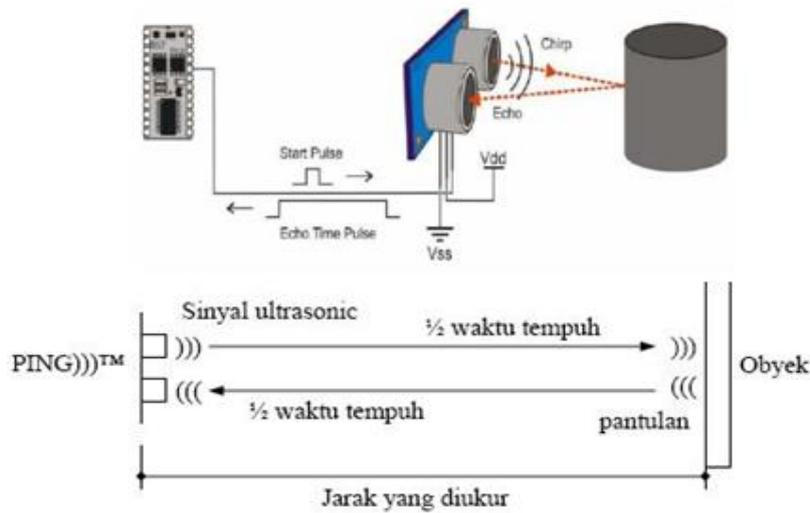
jauh terutama untuk benda-benda yang keras. Pada benda-benda yang keras yang mempunyai permukaan yang kasar gelombang ini akan dipantulkan lebih kuat dari pada benda yang permukaannya lunak. Tidak seperti pada sensor-sensor lain seperti inframerah atau sensor leser. Sensor ultrasonik ini memiliki jangkauan deteksi yang relatif luas. Sehingga dengan demikian untuk jarak deteksi yang didapat tanpa menggunakan pengolahan lanjutan.

Gelombang ultrasonik adalah gelombang bunyi yang mempunyai frekuensi sangat tinggi yaitu 20.000 Hz. Bunyi ultrasonik tidak dapat di dengar oleh telinga manusia. Bunyi ultrasonik dapat didengar oleh anjing, kucing, kelelawar, dan lumba-lumba. Bunyi ultrasonik bisa merambat melalui zat padat, cair dan gas. Reflektivitas bunyi ultrasonik di permukaan zat padat hampir sama dengan reflektivitas bunyi ultrasonik di permukaan zat cair. Akan tetapi, gelombang bunyi ultrasonik akan diserap oleh tekstil dan busa.

Pada perancangan alat ini digunakan sebuah sensor ultrasonik untuk membantu proses deteksi objek dan pengambilan langkah atau proses yang selanjutnya akan dilakukan. Adapun jenis sensor yang dipakai pada rancang bangun alat ini adalah sensor jarak ultrasonik HC-SR04. (Hari Santoso,2015)

#### **2.4.1.1 Prinsip Kerja Sensor Ultrasonik**

Pada dasarnya, Sensor ultrasonik terdiri dari sebuah chip pembangkit sinyal 40KHz, sebuah speaker ultrasonik dan sebuah mikropon ultrasonik. Speaker ultrasonik mengubah sinyal 40 KHz menjadi suara sementara mikropon ultrasonik berfungsi untuk mendeteksi pantulan suaranya. Sensor ultrasonik mendeteksi jarak obyek dengan cara memancarkan gelombang ultrasonik (40 kHz) selama  $t$  (200  $\mu$ s) kemudian mendeteksi pantulannya. Sensor ultrasonik memancarkan gelombang ultrasonik sesuai dengan kontrol dari mikrokontroler pengendali (pulsa *trigger* dengan  $t$  OUT min. 2  $\mu$ s). (Nugraha k Fandhi, 2015-2016)



**Gambar 2.12** Prinsip kerja sensor ultrasonik

(Mahardika, tegar. 2012)

**2.4.1.2 Sensor Ultrasonik HC-SR04**

Sensor ultrasonik HC-SR04 adalah sensor non-kontak pengukur jarak menggunakan ultrasonik. Prinsip kerja sensor ini adalah *transmitter* mengirimkan seberkas gelombang ultrasonik, lalu diukur waktu yang dibutuhkan hingga datangnya pantulan dari objek. Lamanya waktu ini sebanding dengan dua kali jarak sensor dengan objek, sehingga jarak sensor dengan objek dapat ditentukan persamaan :

$$s = \frac{vxt}{2} \dots\dots\dots (9)$$

Keterangan :

s = jarak (meter)

v = kecepatan suara (344 m/detik)

t = waktu tempuh (detik)

Sensor ultrasonik HC-SR04 dapat mengukur jarak dalam rentang antara 3 cm – 3 m dengan *output* panjang pulsa yang sebanding dengan jarak objek. Sensor ini hanya memerlukan 2 pin I/O untuk berkomunikasi dengan mikrokontroler,

yaitu *TRIGGER* dan *ECHO*. Untuk mengaktifkan HC-SR04 mikrokontroler mengirimkan pulsa positif melalui pin *TRIGGER* minimal 10  $\mu$ s, selanjutnya HC-SR04 akan mengirimkan pulsa positif melalui pin *ECHO* selama 100  $\mu$ s hingga 18 ms, yang sebanding dengan jarak objek.

Spesifikasi dari sensor ultrasonik HC-SR04 adalah sebagai berikut :

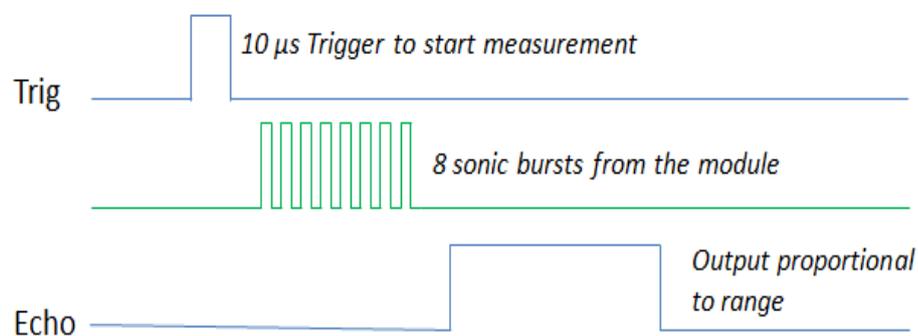
- a. Dimensi : 24mm (P) x 20mm (L) x 17mm (T).
- b. Tegangan : 5 VDC
- c. Konsumsi Arus : 30 mA (rata-rata), 50 mA (max)
- d. Frekuensi Suara : 40 kHz
- e. Jangkauan : 3 cm – 3 m
- f. Sensitivitas : Dapat mendeteksi objek dengan diameter 3 cm pada jarak lebih dari 2 m
- g. Input Trigger : 10 mS min. Pulsa Level TTL
- h. Pulsa Echo : Sinyal level TTL Positif, Lebar berbanding proporsional dengan jarak yang dideteksi.



**Gambar 2.13** Koneksi pada sensor ultrasonik HC-SR04  
(<http://www.rizrobot.com>)

### 2.4.1.3 Prinsip Kerja Sensor Ultrasonik HC-SR04

Prinsip kerja HC-SR04 adalah *transmitter* memancarkan seberkas sinyal ultrasonik (40KHz) yang berbentuk pulsa, kemudian jika di depan HC-SR04 ada objek padat maka *receiver* akan menerima pantulan sinyal ultrasonik tersebut. *Receiver* akan membaca lebar pulsa (dalam bentuk PWM) yang dipantulkan objek dan selisih waktu pemancaran. Dengan pengukuran tersebut, jarak objek di depan sensor dapat diketahui. Untuk lebih jelasnya, perhatikan gambar 2.8 di bawah ini :



**Gambar 2.14** Timing Diagram Sensor Ultrasonik HC-SR04  
(www.mirrobo.ru.com).

Pin *trigger* dan *echo* dihubungkan ke mikrokontroler. Untuk memulai pengukuran jarak, mikro akan mengeluarkan *output high* pada pin *trigger* selama minimal  $10\ \mu\text{s}$ , sinyal *high* yang masuk tadi akan membuat HC-SR04 ini mengeluarkan suara ultrasonik. Kemudian ketika bunyi yang dipantulkan kembali ke sensor HC-SR04, bunyi tadi akan diterima dan membuat keluaran sinyal *high* pada pin *echo* yang kemudian menjadi inputan pada mikrokontroler. HC-SR04 akan memberikan pulsa  $100\ \mu\text{s}$  -  $18\ \text{ms}$  pada outputnya tergantung pada informasi jarak pantulan objek yang diterima. Lamanya sinyal *high* dari *echo* inilah yang digunakan untuk menghitung jarak antara sensor HC-SR04 dengan benda yang memantulkan bunyi yang berada di depan sensor ini.

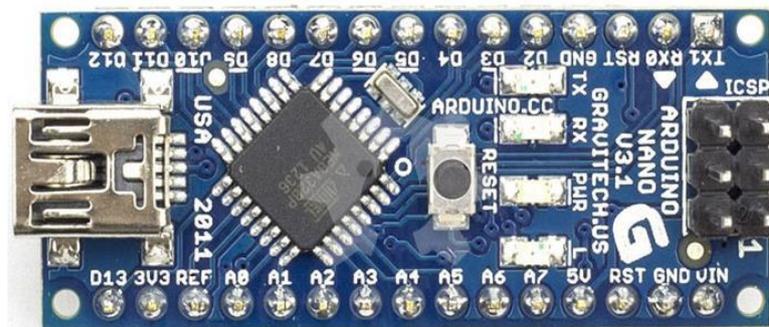
## 2.5 Mikrokontoler

Mikrokontroler adalah suatu *CPU (Central Prosessing Unit)* yang di dalamnya terdapat ROM, RAM dan I/O (Input/Output). Mikrokontroler juga sebuah mikrokomputer 8 bit CMOS *low power* dengan 8Kbyte PEROM (*flash*

*programmable and erase read only memory*) yang terintegrasi dalam sebuah IC (*single chip*). IC ini dibuat dengan standart industri yang mempunyai konfigurasi pin dan inruksi set dari MCS-51. Pada *chip flash* memungkinkan memori program untuk diprogram sebanyak 1000 kali pada mikrokontrolernya dalam sistem atau sebuah pemrograman memori *nonvolatile*. (Khairurrijal. 2004)

### 2.5.1 Arduino Nano

Arduino Nano adalah salah satu papan pengembangan mikrokontroler yang berukuran kecil, lengkap dan mendukung penggunaan breadboard. Arduino Nano diciptakan dengan basis mikrokontroler ATmega328 (untuk Arduino Nano versi 3.x) atau ATmega 168 (untuk Arduino versi 2.x). Arduino Nano kurang lebih memiliki fungsi yang sama dengan Arduino Duemilanove, tetapi dalam paket yang berbeda. Arduino Nano tidak menyertakan colokan DC berjenis *Barrel Jack*, dan dihubungkan ke komputer menggunakan port USB Mini-B. Arduino Nano dirancang dan diproduksi oleh perusahaan Gravitech.



**Gambar 2.15** Tampilan arduino nano

(Repository.usu.ac.id)

Arduino adalah pengendali mikro single-board yang bersifat *open-source*, yang di turunkan dari *wiring platform*, yang di rancang untuk memudahkan penggunaan elektronik dalam berbagai bidang. Hardwarenya memiliki prosesor atmel AVR dan softwarenya memiliki bahasa pemrograman sendiri.

- a. Secara software -> Open source IDE yang digunakan untuk mendvelop aplikasi mikrokontroller yang berbasis arduino *platform*.

- b. Secara *Hardware* -> *Single board* mikrokontroler yang bersifat *open source hardware* yang dikembangkan untuk arsitektur mikrokontroler AVR 8 bit dan ARM 32 bit.

Dari ke3 pengertian diatas ,dapat disimpulkan bahwa Arduino adalah kit elektronik atau papan rangkaian elektronik open source yang didalamnya terdapat komponen utama yaitu sebuah chip mikrokontroler dengan jenis AVR. Tujuan menanamkan program pada mikrokontroler adalah agar rangkaian elektronik dapat membaca input, memproses input tersebut dan kemudian menghasilkan output seperti yang diinginkan. Jadi , mikrokontroler bertugas sebagai otak yang mengendalikan input, proses ,dan output sebuah rangkaian elektronik.

Mikrokontroler ada pada perangkat elektronik sekeliling kita, misalnya Handphone, MP3 Player, DVD, Televisi, AC, dll. Mikrokontroler juga dapat mengendalikan robot, baik robot mainan maupun 21lternat. Karena komponen utama arduino adalah mikrokontrolermaka arduino dapat 21lternati menggunakan 21lternat sesuai kebutuhan kita.

Arduino memiliki kelebihan dibandingkan dengan perangkat kontroler lainnya diantaranya adalah :

- a. Tidak perlu perangkat chip programmer karena didalamnya sudah ada bootladder yang akan menangani upload program dari 21lternat.
- b. Sudah memiliki sarana komunikasi USB, Sehingga pengguna laptop yang tidak memiliki port serial/RS323 bisa menggunakannya.
- c. Memiliki modul siap pakai (*Shield*) yang bisa ditancapkan pada board arduino. Contohnya *shield GPS, Ethernet*, dan lain-lain.

Ardunino sendiri telah mengeluarkan bermacam-macam produk dan tipe sesuai dengan kebutuhan para perancang elektronik. Macam-macam arduino tersebut diciptakan berdasarkan *skill* dan keahlian para perancang sampai dimana kemahirannya dalam menggunakan perangkat arduino itu sendiri mulai dari segi pemrograman, dari segi elektronik, dan dari segi seberapa luas pengaplikasiannya terhadap perangkat elektronik. Jenis-jenis arduino tersebut, diantaranya adalah :

- 1 Arduino UNO
- 2 Arduino MEGA
3. Arduino Yun
4. Arduino Esplora
5. Arduino Lilypad
6. Arduino Promini
7. Arduino Nano
8. Arduino Fio
9. Arduino Due

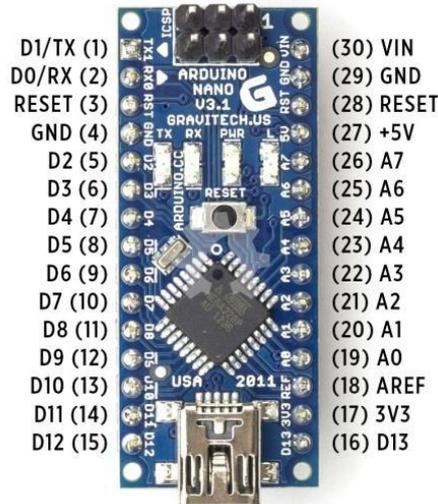
Dari berbagai macam jenis arduino yang telah dijelaskan, arduino yang paling banyak digunakan adalah Arduino Nano, karena di buat dan dirancang untuk pengguna pemula atau yang baru mengenal yang namanya Arduino.

Arduino adalah pengendali mikro single-board yang bersifat *open-source*, diturunkan dari *Wiring platform*, dirancang untuk memudahkan penggunaan elektronik dalam berbagai bidang hardwarenya memiliki prosesor Atmel AVR dan softwarenya memiliki bahasa pemrograman sendiri.

Arduino juga merupakan *platform* hardware terbuka yang ditujukan kepada siapa saja yang ingin membuat purwarupa peralatan elektronik interaktif berdasarkan hardware dan software yang *fleksibel* dan mudah digunakan. Mikrokontroler diprogram menggunakan bahasa pemrograman arduino yang memiliki kemiripan *syntax* dengan bahasa pemrograman C. Karena sifatnya yang terbuka maka siapa saja dapat mengunduh skema *hardware* arduino dan membangunnya. Bagian-bagian Arduino Nano yaitu :

**Tabel 2.1 Konfigurasi Pin Arduino NANO**

<b>Nomor Pin Arduino Nano</b>	<b>Nama Pin Arduino Nano</b>
1	Digital Pin 1 (TX)
2	Digital Pin 0 (RX)
3 & 28	Reset
4 & 29	GND
5	Digital Pin 2
6	Digital Pin 3 (PWM)
7	Digital Pin 4
8	Digital Pin 5 (PWM)
9	Digital Pin 6 (PWM)
10	Digital Pin 7
11	Digital Pin 8
12	Digital Pin 9 (PWM)
13	Digital Pin 10 (PWM-SS)
14	Digital Pin 11 (PWM-MOSI)
15	Digital Pin 12 (MISO)
16	Digital Pin 13 (SCK)
18	AREF
19	Analog Input 0
20	Analog Input 1
21	Analog Input 2
22	Analog Input 3
23	Analog Input 4
24	Analog Input 5
25	Analog Input 6
26	Analog Input 7
27	VCC
30	Vin



**Gambar 2.16** Konfigurasi pin arduino nano  
(Repository.usu.ac.id)

## 2.6 *Flight Control Board (FCB)*

*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 masingmasing motor *quadcopter*. *Flight controller* yang digunakan pada *quadcopter* ini berjenis *ARM Cortex 32 Bit*. (Anugerah nenu lema, risha 2012: 12)

### 2.6.1 *Pixhawk*

*Pixhawk* adalah sistem autopilot advance dirancang oleh proyek PX4 terbuka hardware dan diproduksi oleh 3D Robotika. Ini fitur prosesor canggih dan teknologi sensor dari ST Microelectronics® dan sistem operasi real-time NuttX, memberikan kinerja yang luar biasa, fleksibilitas, dan keandalan untuk mengendalikan setiap kendaraan autonomous. Adapun fitur utama dari *Pixhawk* adalah sebagai berikut :

- 1 *Microprocessor*
  - 32 bit STM32F427 Cortex M4 *core with FPU*
  - 168 MHz/256 KB RAM/2 MB *Flash*
  - 32 bit STM32F103 *failsafe co-processor Sensors*

- ST Micro L3GD20H 16 bit *gyroscope*
- ST Micro LSM303D 14 bit *accelerometer / magnetometer*
- MEAS MS5611 *barometer*

## 2 *Interfaces*

- 5x UART (*serial ports*), one *high-power capable*, 2x with HW
- 2x CAN
- Spektrum DSM / DSM2 / DSM-X® *Satellite compatible input*
- Futaba S.BUS® *compatible input and output*
- PPM sum *signal*
- RSSI (PWM or voltage) *input*
- I2C®
- SPI
- 3.3 and 6.6V ADC *inputs*
- *External microUSB port*

## 3 *Power System*

- *Ideal diode controller with automatic failover*
- *Servo rail high-power (7 V) and high-current ready*



**Gambar 2.17. Modul Pixhawk**

([www.robotshop.com](http://www.robotshop.com))

## 2.7 Buzzer

*Buzzer* adalah sebuah komponen elektronika yang berfungsi untuk mengubah getaran listrik menjadi getaran suara. Pada dasarnya prinsip kerja *buzzer* hampir sama dengan loud speaker, jadi *buzzer* juga terdiri dari kumparan yang terpasang pada diafragma dan kemudian kumparan tersebut dialiri arus sehingga menjadi elektromagnet, kumparan tadi akan tertarik ke dalam atau keluar, tergantung dari arah arus dan polaritas magnetnya, karena kumparan dipasang pada diafragma maka setiap gerakan kumparan akan menggerakkan diafragma secara bolak-balik sehingga membuat udara bergetar yang akan menghasilkan suara. Di dalam tugas akhir ini *buzzer* digunakan sebagai indikator bahwa telah terjadi sesuatu pada sebuah alat (*alarm*). Pada gambar 2.12 merupakan gambar sebuah *buzzer*.



**Gambar 2.18** *Buzzer*

([www.rcdrone.cl](http://www.rcdrone.cl))

## 2.8 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. Tampilan salah satu GPS dilihat pada gambar 2.13 berikut:



**Gambar 2.19** GPS pixhawk

([www.rcdrone.cl](http://www.rcdrone.cl))

## 2.9 *Electronic Speed Control (ESC)*

ESC adalah rangkaian elektronik yang berfungsi sebagai pengatur kecepatan putaran motor pada pesawat atau helikopter dengan cara menterjemahkan sinyal yang diterima *receiver* dari *transmitter*. Di pasaran terdapat berbagai merk ESC dengan kekuatan arus (*current rating*) dan kekuatan voltase (*voltage rating*) serta *feature* yang ditawarkan. (Yulistiyanto, Andry. 2013.)

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 2.2** Spesifikasi ESC

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

(Ghani Akbar Habibi2013)

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. (Anugerah nenu lema, risha 2016; hal 10).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:

$$V_{\text{loss}} = I_{\text{ESC}} \times R \dots \dots \dots (10)$$

Keterangan :

$V_{\text{loss}}$  = Tegangan hilang (volt)

$I_{\text{ESC}}$  = Arus (A)

$R$  = Tahanan/resistansi (ohm)

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

$$P = V_{\text{loss}} \times I_{\text{ESC}} \dots \dots \dots (11)$$

Keterangan:

$P$  = Daya yang hilang (watt)

$V_{\text{loss}}$  = Tegangan hilang ( volt)

$I_{\text{ESC}}$  = Arus (A)

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:

$$P = V_{\text{sistem}} \times I_{\text{ESC}} \dots \dots \dots (12)$$

Keterangan :

$P$  = Daya maksimum (watt)

$V_{\text{sistem}}$  = Tegangan sistem (volt)

$I_{\text{ESC}}$  = Arus (A)



**Gambar 2.20** Contoh Bentuk Fisik ESC.

([www.heliproz.com](http://www.heliproz.com))

## 2.10 DC Motor (Motor *Brushless Direct Current*)

Motor *brushless direct current* (BLDC) adalah motor yang tidak menggunakan sikat atau *brush* untuk pergantian medan magnet (komutasi) tetapi dilakukan secara komutasi elektronis. 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 gerakannya sedang medan magnet tetap berada di rotor. (Endra Pitowarno, 2006; hal 84). Motor BLDC mempunyai banyak keuntungan dibandingkan dengan motor DC lainnya (Andry Yulistiyanto, 2013; hal 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*).

### 2.10.1 Pengaturan Kecepatan Motor DC

Kontrol kecepatan berarti perubahan pada kecepatan motor DC akibat adanya perubahan nilai tegangan. Salah satu fitur penting motor DC adalah kecepatannya dapat dikontrol dengan relatif mudah. Kecepatan motor akan

berbanding lurus dengan tegangan yang masuk, jika tegangan masukan naik maka rpm motor DC juga akan naik. Seperti rumus dibawah ini.

(<https://www.electrical4u.com/speed-control-of-dc-motor/>)

$$N = \frac{V - I_a R_a}{k \Phi} \dots\dots\dots(5)$$

Keterangan :

- N = Kecepatan rotasi (rpm)
- V = Tegangan Input (volt)
- I = Arus Jangkar
- R = Resistansi Jangkar
- $\Phi$  = Flux Magnet per kutub



**Gambar 2.21** Motor DC

([www.droneindonesia.com](http://www.droneindonesia.com))

## 2.10 Baling-baling (*Propeler*)

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. Contoh gambar *propeller* ditunjukkan pada gambar 2.10.



**Gambar 2.22** Baling-baling 10 x 4,5 inch.

(Box492.listingfactoryhosting.org)