

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 *Unmanned Aerial Vehicle (UAV)*

*Unmanned Aerial Vehicle (UAV)* atau Pesawat Tanpa Awak adalah sebuah mesin terbang yang berfungsi dengan kendali jarak jauh oleh pilot atau mampu mengendalikan dirinya sendiri, menggunakan hukum aerodinamika untuk mengangkat dirinya, bisa digunakan kembali dan mampu membawa muatan baik senjata maupun muatan lainnya. Penggunaan terbesar dari pesawat tanpa awak ini adalah dibidang militer. Rudal walaupun mempunyai kesamaan tapi tetap dianggap berbeda dengan pesawat tanpa awak karena rudal tidak bisa digunakan kembali dan rudal adalah senjata itu sendiri (Rohman, 2012).

Ada berbagai bentuk UAV, ukuran, konfigurasi dan karakteristik. Secara historis UAV *drone* pada awalnya dibuat dengan sangat sederhana dan akhirnya dikontrol secara otonom (*autonomous*) semakin banyak produksi dan digunakan. Saat ini, UAV telah digunakan untuk melakukan misi intelijen, pemantauan (*surveillance*), pengintaian (*reconnaissance*) serta misi serangan (*attack*). Banyak dilaporkan bahwa UAV telah berhasil dengan tingkat akurasi tinggi dalam melakukan misi intelijen, pemantauan, pengintaian dan serangan dengan menggunakan roket, rudal dan bom. UAV sering lebih disukai untuk misi yang terlalu “membosankan dan berbahaya/beresiko tinggi” bagi pesawat berawak. (Pramadi, 2010)

Sistem kendali pada UAV dibagi menjadi dua yaitu kendali secara manual oleh pilot dan kendali secara otomatis menggunakan sistem auto pilot. Pada system auto pilot kendali pesawat sepenuhnya dilakukan oleh *microprocessor* atau *microcontroller*. Sensor yang digunakan seperti sensor ketinggian, kecepatan, posisi, yang memberikan data untuk selanjutnya diolah oleh bagian pengolah. Sehingga pesawat dapat bekerja mandiri sesuai dengan perintah yang diberikan. Kemudian, pilot otomatis (*autopilot*) adalah sistem mekanikal, elektrik, atau hidrolik yang memandu sebuah kendaraan tanpa campur tangan dari manusia. Umumnya pilot

otomatis dihubungkan dengan pesawat, tetapi pilot otomatis juga digunakan di kapal dengan istilah yang sama. Dalam masa-masa awal transportasi udara, pesawat udara membutuhkan perhatian terus menerus dari seorang pilot agar dapat terbang dengan aman. Hal ini membutuhkan perhatian yang sangat tinggi dari awak pesawat dan mengakibatkan kelelahan. Sistem pilot otomatis diciptakan untuk menjalankan beberapa tugas dari pilot.

Ada banyak tipe dari UAV, diantara adalah *fixed wing* dan multi rotor. Dalam penelitian ini tipe pesawat yang digunakan adalah jenis *fixed wing*.

### **2.1.1 Fixed Wing**

UAV tipe *fixed wing* atau sayap tetap mempunyai sayap yang kokoh dan memiliki *airfoil* yang ditentukan sehingga mampu mengangkat pesawat maju dengan dorongan dari kecepatan pesawat UAV. Daya dorong ini dihasilkan oleh mesin pembakaran internal atau motor listrik.

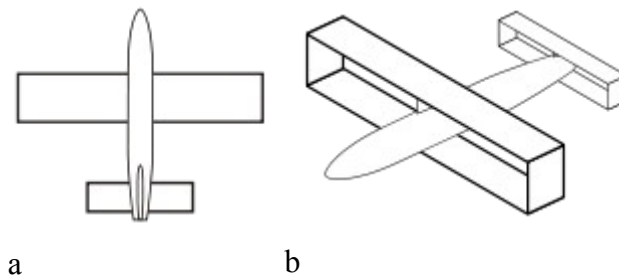
Kontrol dari UAV berasal dari papan kontrol yang tertanam dalam pesawat yang biasanya terdiri dari *aircons* sebagai pengangkat pesawat dan kemudi pesawat. Bagian itu menjadikan UAV dapat terbang bebas dan berputar di tiga sumbu yang tegak lurus sama lain dan berpotongan dipusat gravitasi UAV itu sendiri.

Kelebihan utama dari *fixed wing* adalah terbuat dari struktur yang lebih sederhana dari *rotary wing*, sehingga perawatan dan perbaikannya tidak begitu sulit serta biaya yang dikeluarkan tidak terlalu besar. Struktur yang sederhana ini memastikan pesawat lebih aerodinamis sehingga pesawat dapat terbang lebih lama dengan kecepatan tinggi dan memetakan *area survey* yang luas dalam sekali penerbangan

Selain dari pada kedudukan sayap terhadap badan pesawat, maka pesawat terbang dapat juga ditinjau dari bentuk sayap, bentuk sayap sangat erat hubungannya dengan sifat-sifat aerodinamis dari pesawat terbang yang bersangkutan, termasuk kemampuan (*performance*) pesawat terbang tersebut.

Bentuk sayap yang paling banyak kita kenal adalah:

Sayap lurus (*Straight wing/rectangular wing*) banyak digunakan pada pesawat pada awal industri penerbangan.

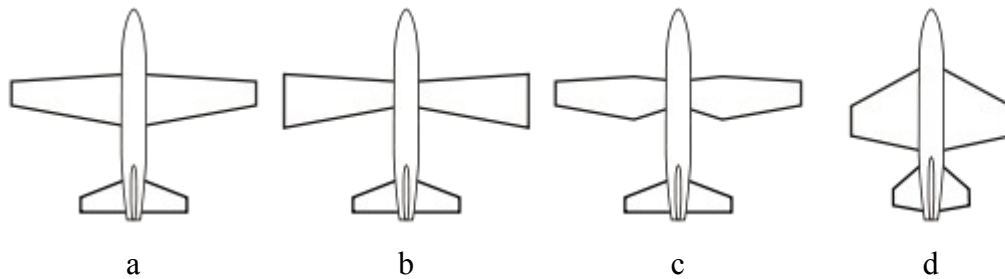


Gambar 2.1(a) *Constant chord*

(b) *Box wing*

(<https://aeroengineering.co.id/2014/01/pesawat-remot-kontrol-aeromodelling>, 2014)

Sayap tirus (*Tapered wing*) merupakan sayap yang tirus, didesain demikian untuk mengoptimalkan fungsi sayap pesawat. Variasinya dapat berupa *Tapered*, *Reverse tapered*, *Compound tapered* ataupun *Trapezoidal*.



Gambar 2.2 (a) *Tapered*

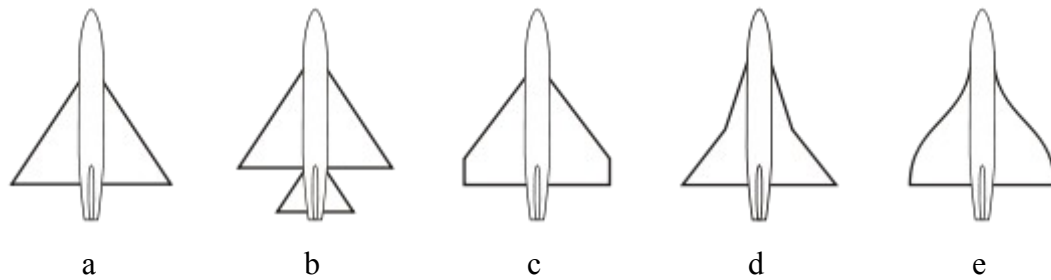
(b) *Reverse tapered*

(c) *Compound tapered*

(d) *Trapezoidal*

(<https://aeroengineering.co.id/2014/01/pesawat-remot-kontrol-aeromodelling>, 2014)

Sayap segi tiga (*delta wing*) menggunakan sayap berbentuk segitiga melebar kebelakang. Beberapa variasi diantaranya:



Gambar 2.3 (a) *Tailless delta*

(b) *Tailed delta*

(c) *Cropped delta*

(d) *Compound delta*

(e) *Ogival delta*

(<https://aeroengineering.co.id/2014/01/pesawat-remot-kontrol-aeromodelling,2014>)

- a) *Tailless delta* - desain klasik yang banyak digunakan pada pesawat seperti Dassault Mirage III.
- b) *Tailed delta* - merupakan pesawat sayap *delta* yang dilengkapi sayap belakang. Banyak digunakan pada pesawat Rusia seperti Mikoyan-Gurevich MiG-21.
- c) *Cropped delta* - ujung sayap *delta* dipotong yang berfungsi untuk mengurangi drag pada ujung sayap.
- d) *Compound delta* atau *double delta* - merupakan gabungan dari dua *delta* digunakan pada Saab 35 *Draken*. Dengan bentuk sayap seperti ini akan meningkatkan *lift*.
- e) *Ogival delta* - bersayap yang *delta* dengan peralihan seperti gelas anggur. Digunakaa pada pesawat supersonik *Concorde*.

*Keuntungan* dari konfigurasi Sayap tetap tersebut adalah pertama, struktur yang lebih *simple* dibandingkan pada konfigurasi multi rotor. Struktur yang tidak rumit ini tentu saja memudahkan perawatan baik dari segi biaya dan waktu. Kedua, bentuk ini memiliki efisiensi aerodinamik yang efisien sehingga memungkinkan waktu terbang yang jauh lebih lama dibandingkan dengan muulti rotor. Efisiensi

aerodinamis ini juga (biasanya) membuat sebuah UAV Sayap tetap hanya membutuhkan satu atau dua buah motor sebagai daya dukung nya, dan walaupun hanya memiliki jumlah motor satu atau dua, tetapi sebuah UAV *Sayap tetap* dapat membawa beban yang lebih berat sehingga memungkinkan operator untuk membawa peralatan maupun sensor tambahan.

Hingga saat ini, satu-satunya kekurangan dari UAV berjenis Sayap tetap ini adalah kebutuhan untuk *take off* dan *landing* pada permukaan yang cukup luas. Selain itu, karena daya angkat yang didapat berasal dari udara yang bergerak pada permukaan-permukaan sayapnya, maka UAV Sayap tetap tidak dapat berada pada posisi konstan atau yang sering disebut dengan *hovering*. UAV tersebut harus selalu pada posisi maju kedepan untuk tetap mengudara, sehingga kurang cocok untuk aplikasi seperti inspeksi, maupun *survey* yang membutuhkan ketelitian.

## **2.2 Remote Control**

*Remote control* atau sistem kendali jarak jauh sering digunakan untuk mengendalikan pesawat terbang, roket, perahu maupun mobil-mobilan. Sebenarnya merupakan contoh yang sederhana dari sistem pengendalian *fly by wire*. Sistem yang menggunakan gelombang radio sebagai sistem penyampaian informasi.

Secara umum sistem *remote control* terdiri dari sebuah pemancar atau *transmitter*, sebuah atau lebih penerima atau *receiver* dan beberapa buah servo sebagai penggerak. Baterai sebagai sumber daya diperlukan oleh bagian pemancar maupun bagian penerima. Pemancar atau *transmitter* bertugas menerima perintah kendali dari orang yang mengendalikan dan merubahnya menjadi kode-kode elektronik dan mengirimkannya melalui gelombang radio ke udara. Bagian penerima atau *receiver* bertugas menerima informasi gelombang radio, menerjemahkan kode-kode elektroniknya menjadi perintah gerak yang dikirimkan ke servo. Selanjutnya Servo bertugas melaksanakan perintah gerak elektronik menjadi gerakan mekanik ke posisi tertentu yang diinginkan. (Budi Atmoko, 2014)



Gambar 2.4 *Remote control*

(Arif, Muhammd; 2014 <https://aeroengineering.co.id/2014/01/pesawat-remot-kontrol-aeromodelling>)

### 2.2.1 *Joy Stick*

*Joystick* adalah alat masukan komputer yang berwujud tuas yang dapat bergerak ke segala arah. Alat ini dapat mentransmisikan arah sebesar dua atau tiga dimensi ke komputer. Alat ini umumnya digunakan sebagai pelengkap untuk memainkan permainan video yang dilengkapi lebih dari satu tombol. (Muhammad Irfan)

### 2.2.2 *Encoder*

*Encoder* adalah rangkaian untuk mengkodekan data input mejadi data bilangan dengan format tertentu. *Encoder* dalam rangkaian digital adalah rangkaian kombinasi gerbang digital yang memiliki input banyak dalam bentuk line input dan memiliki output sedikit dalam format bilangan biner. *Encoder* akan mengkodekan setiap jalur input yang aktif menjadi kode bilangan biner. Dalam teori digital banyak ditemukan istilah encoder seperti “*Desimal to BCD Encoder*” yang berarti rangkaian digital yang berfungsi untuk mengkodekan line input dengan jumlah line input desimal (0-9) menjadi kode bilangan biner 4 bit BCD (*Binary Coded Decimal*). Atau “*8 line to 3 line encoder*” yang berarti rangkaian encoder dengan input 8 line dan output 3 line (3 bit BCD).

Dalam sistem *remote control*, rangkaian *encoder* berfungsi untuk mengubah sinyal data ke dalam bentuk yang dapat diterima untuk transmisi data atau

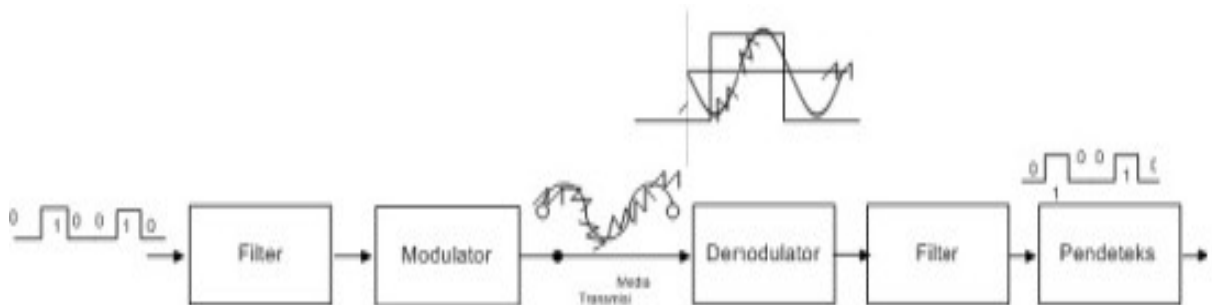
penyimpanan data yang kemudian transmisi data tersebut akan diterima oleh penerima (*receiver*).

### 2.2.3 Modulasi

Modulasi adalah proses yang dilakukan pada sisi pemancar untuk memperoleh transmisi yang efisien dan handal. Pemodulasi yang merepresentasikan pesan yang akan dikirim, dan *carrier* (gelombang pembawa) yang sesuai dengan aplikasi yang diterapkan. Modulasi adalah variasi secara sistematis dari parameter gelombang *carrier* secara proporsional terhadap sinyal pemodulasi (sinyal informasi).

### 2.2.4 Demodulasi

Proses mengkodekan kembali sinyal digital menjadi sinyal analog kembali yang sama dari sumber. Peralatan untuk melaksanakan proses modulasi disebut modulator, sedangkan peralatan untuk memperoleh informasi informasi awal (kebalikan dari dari proses modulasi) disebut demodulator dan peralatan yang melaksanakan kedua proses tersebut disebut modem.



Gambar 2.5 Diagram Modulator-Demodulator

(<http://www.radio-electronics.com/info/rf-technology-design/am-reception/diode-detector-demodulator.php>, 2015 )

### 2.2.5 Decoder

*Decoder* adalah alat yang di gunakan untuk dapat mengembalikan proses *encoding* sehingga kita dapat melihat atau menerima informasi aslinya. Pengertian *decoder* juga dapat di artikan sebagai rangkaian logika yang di tugaskan untuk menerima *input-input* biner dan mengaktifkan salah satu *outputnya* sesuai dengan urutan biner tersebut. Kebalikan dari *decoder* adalah *encoder*. Fungsi *decoder* adalah untuk memudahkan kita dalam menyalakan *seven segmen*. Itu lah sebabnya kita menggunakan *decoder* agar dapat dengan cepat menyalakan *seven segmen*. *Output* dari *decoder* maksimum adalah  $2n$ . Jadi dapat kita bentuk  $n$ -to- $2n$  *decoder*. Jika kita ingin merangkaian *decoder* dapat kita buat dengan 3-to-8 *decoder* menggunakan 2-to-4 *decoder*. Sehingga kita dapat membuat 4-to-16 *decoder* dengan menggunakan dua buah 3-to-8 *decoder*.

Rangkaian *decoder* berfungsi untuk mengembalikan proses *encoding* atau menerima informasi dan data dari transmisi yang telah dikirimkan oleh *transmitter* pada *remote control*. Yang kemudian setiap data yang telah di *encoding* akan menuju *channel* masing-masing untuk menjalankan perintah sesuai gerakan *joystic*.

### 2.3 Baterai Lithium Polimer

Baterai Lithium Polimer atau biasa disebut dngan LiPo merupakan salah satu jenis baterai yang sering digunakan dalam dunia robot. Baterai Lipo dibuat dari beberapa kombinasi bahan: Lithium-Cobalt, Lithium-Phospat dan Lithium-Mangan. Kebanyakan baterai yang dijual kepada konsumen terbuat dari kombinasi Lithium-Cobalt. Contoh Baterai Lithium Polimer ditunjukkan dengan gambar 2.6



Gambar 2.6 Baterai LiPo 3 Sell



(<http://www.lpdpower.com/2014-10-10/102.html>, 2014)

Ada tiga kelebihan utama yang ditawarkan oleh baterai berjenis LiPo ketimbang baterai jenis lain seperti NiCad atau NiMH yaitu:

- a. Baterai Lithium Polimer memiliki bobot yang ringan dan tersedia dalam berbagai macam bentuk dan ukuran.
- b. Baterai Lithium Polimer memiliki kapasitas penyimpanan energi listrik yang besar.
- c. Baterai Lithium Polimer memiliki tingkat discharge rate energi yang tinggi, dimana hal ini sangat berguna sekali dalam bidang RC.

Selain keuntungan yang dimiliki, baterai jenis ini juga memiliki beberapa kelemahan yaitu harga baterai Lithium Polimer masih tergolong mahal jika dibandingkan dengan baterai jenis NiCad dan NiMH. Performa yang tinggi dari baterai Lithium Polimer harus dibayar dengan umur yang lebih pendek. Usia baterai Lithium Polimer sekitar 300-400 kali siklus pengisian ulang. Sesuai dengan perlakuan yang diberikan pada baterai. (Susanto,Tri:28:2012)

#### 2.4 *ESC (Electric Speed Control)*

*ESC* adalah rangkaian elektronik yang berfungsi sebagai pengatur kecepatan putaran motor pada pesawat atau helikopter dengan cara menterjemahkan sinyal yang diterima *receiver* dari *transmitter*.



Gambar 2.7 *Electric Speed Control*

([https://wiki.mattrude.com/Electronic\\_speed\\_control](https://wiki.mattrude.com/Electronic_speed_control), 2013)

Untuk menentukan *ESC* yang akan digunakan sangatlah penting untuk mengetahui kekuatan (*peak current*) dari motor. Sebaiknya *ESC* yang digunakan memiliki *peak current* yang lebih besar daripada motor. Contoh, kekuatan motor adalah 12A (*ampere*) pada saat *throttle* terbuka penuh. *ESC* yang akan digunakan adalah *ESC* yang berkekuatan 18A atau 20A. Jika di paksakan menggunakan *ESC* 10A kemungkinan pada saat *throttle* dibuka penuh, *ESC* akan panas bahkan terbakar. (Yulistiyanto, 2013)

## 2.5 Motor DC

Motor DC adalah jenis motor listrik yang bekerja menggunakan sumber tegangan DC. Motor DC atau motor arus searah sebagaimana namanya, menggunakan arus langsung dan tidak langsung/direct-unidirectional. Motor DC digunakan pada penggunaan khusus dimana diperlukan penyalaan *torque* yang tinggi atau percepatan yang tetap untuk kisaran kecepatan yang luas.

### 2.5.1 Motor DC *Brushed*

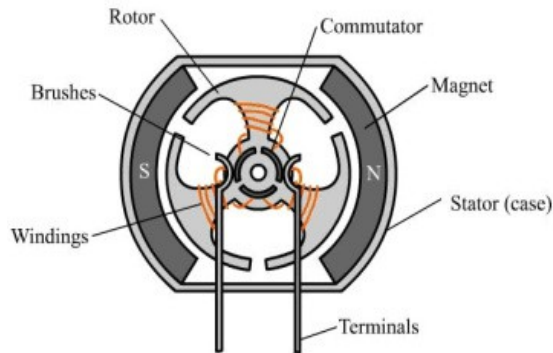
Motor DC *brushed* merupakan rancangan awal sebuah motor listrik. Hingga saat ini, *brushed* DC motor adalah pilihan utama untuk motor yang memiliki torsi dan kecepatan yang mudah dikendalikan.



Gambar 2.8 *Brushed* DC motor

(<http://www.radiocontroltips.com/brushed-motor-v-brushless-motors/>, 2016)

Gambar 2.9 merupakan bagian-bagian dari motor DC *Brushed*



Gambar 2.9 Bagian-bagian Motor DC *Brushed*

(<http://www.radiocontroltips.com/brushed-motor-v-brushless-motors/>, 2016)

Gambar 2.9 memperlihatkan sebuah motor DC yang memiliki tiga komponen utama:

1. Kutub Medan Magnet

Secara sederhana digambarkan bahwa interaksi dua kutub magnet akan menyebabkan perputaran pada motor DC. Motor DC memiliki kutub medan yang stasioner dan kumparan motor DC yang menggerakkan bearing pada ruang diantara kutub medan. Motor DC sederhana memiliki dua kutub medan: kutub utara dan kutub selatan. Garis magnetik energi membesar melintasi bukaan diantara kutub-kutub dari utara ke selatan. Untuk motor yang lebih besar atau lebih kompleks terdapat satu atau lebih elektromagnet. Elektromagnet menerima listrik dari sumber daya dari luar sebagai penyedia struktur medan.

2. Kumparan Motor DC

Bila arus masuk menuju kumparan motor DC, maka arus ini akan menjadi elektromagnet. kumparan motor DC yang berbentuk silinder, dihubungkan ke as penggerak untuk menggerakkan beban. Untuk kasus motor DC yang kecil, kumparan motor DC berputar dalam medan magnet yang dibentuk oleh kutub-kutub, sampai kutub utara dan selatan magnet berganti

lokasi. Jika hal ini terjadi, arusnya berbalik untuk merubah kutub-kutub utara dan selatan kumparan motor DC.

### 3. *Commutator* Motor DC

Komponen ini terutama ditemukan dalam motor DC. Kegunaannya adalah untuk membalikan arah arus listrik dalam kumparan motor DC. *Commutator* juga membantu dalam transmisi arus antara kumparan motor DC dan sumber daya.

Keuntungan menggunakan *brushed* DC motor adalah:

- Kecepatan putar mudah dikendalikan.  
Semakin besar tegangan yang diberikan, maka akan semakin cepat putarannya. Semakin kecil tegangan yang diberikan, maka akan semakin lambat putarannya. Dengan kata lain, kecepatan putar berbanding lurus dengan besarnya tegangan.
- Torsi mudah dikendalikan.  
Semakin besar arus listrik yang disediakan, maka akan semakin kuat torsinya. Semakin kecil arus listrik yang disediakan, maka akan semakin lemah torsinya. Dengan kata lain, torsi berbanding lurus dengan besarnya arus listrik.

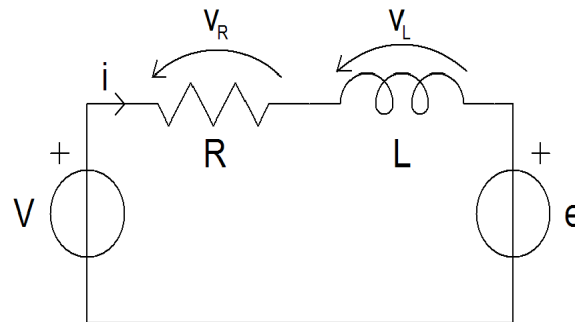
Kelemahan utama dari *brushed* DC motor adalah penggantian sikat karbon di dalamnya harus dilakukan secara berkala dan diberi pelumasan yang cukup agar tetap memiliki kinerja yang baik.

#### 2.5.2 DC Motor *Brushless*

Motor DC *Brushless* adalah aktuator yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik dan sebaliknya. Hal ini terdiri dari dua interaktif rangkaian elektromagnetik. Yang pertama disebut rotor dan yang kedua disebut stator. Rotor adalah bagian dari motor yang bebas berputar sekitar satu detik, sedangkan stator adalah bagian dari motor yang tetap sebagai gantinya. Dalam rotor, beberapa kelompok gulungan tembaga yang terhubung secara seri dan secara eksternal dapat diakses berkat alat yang disebut komutator. Pada stator, dua atau lebih magnet

permanen memaksakan medan magnet yang mempengaruhi rotor. Dengan menerapkan aliran arus DC ke gulungan, rotor berubah karena gaya yang dihasilkan oleh listrik dan selingan magnetik. Berkat rotor dan geometri komutator, motor terus berputar sementara dipasok oleh tegangan DC pada terminal.

Rangkaian dari motor DC dikendalikan oleh tegangan nyata Generator  $v$  [V] yang memberikan input kontrol. Secara teori, resistor lain harus ditambahkan dalam rangkaian generator tegangan mewakili kerugian pembangkit. Namun, dalam proyek yang baik, kerugian pembangkit tetap rendah karena itu adalah mungkin untuk mengabaikan mereka dalam model. Rangkaian listrik dasar ditunjukkan pada Gambar 2.10.

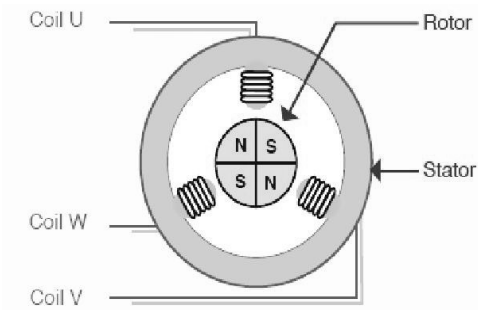


Gambar 2.10 Rangkaian Motor

(<http://www.radiocontroltips.com/brushed-motor-v-brushless-motors/>, 2016)

Motor *brushless* memiliki 3 komponen utama yaitu stator, rotor dan *hall* sensor. Tiga lilitan terletak pada stator yang meliputi induktansi, resistansi dan gaya elektromotif terangkai secara seri, sedangkan pada rotor memiliki magnet permanen dengan kutub magnet yang mempengaruhi ukuran step dan reaksi torsi dari motor.

Struktur stator dan rotor dapat ditunjukkan pada Gambar 2.11.

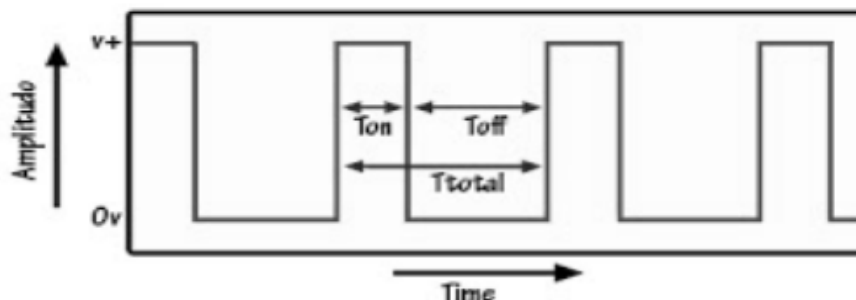


Gambar 2.11 Struktur Motor DC *Brushless*

(<http://www.radiocontroltips.com/brushed-motor-v-brushless-motors/>, 2016)

### 2.5.3 PWM (*Pulse Width Modulation*)

*Pulse Width Modulation* (PWM) secara umum adalah sebuah cara memanipulasi lebar sinyal yang dinyatakan dengan pulsa dalam suatu perioda, untuk mendapatkan tegangan rata-rata yang berbeda. Beberapa contoh aplikasi PWM adalah pemodulasian data untuk telekomunikasi, pengontrolan daya atau tegangan yang masuk ke beban, regulator tegangan, *audio effect* dan penguatan, serta aplikasi – aplikasi lainnya. Aplikasi PWM berbasis mikrokontroler biasanya berupa pengendalian kecepatan motor DC, pengendalian motor servo, pengaturan nyala terang LED dan lain sebagainya. Sinyal PWM pada umumnya memiliki amplitudo dan frekuensi dasar yang tetap, namun memiliki lebar pulsa yang bervariasi. Lebar Pulsa PWM berbanding lurus dengan *amplitude* sinyal asli yang belum termodulasi. Artinya, Sinyal PWM memiliki frekuensi gelombang yang tetap namun duty cycle bervariasi (antara 0% hingga 100%).



Gambar 2.12 Sinyal PWM

(Herman Surjono,2001)

Dari gambar 2.12 didapatkan rumus :

$$T_{\text{total}} = T_{\text{on}} + T_{\text{off}} \dots\dots\dots(2.1)$$

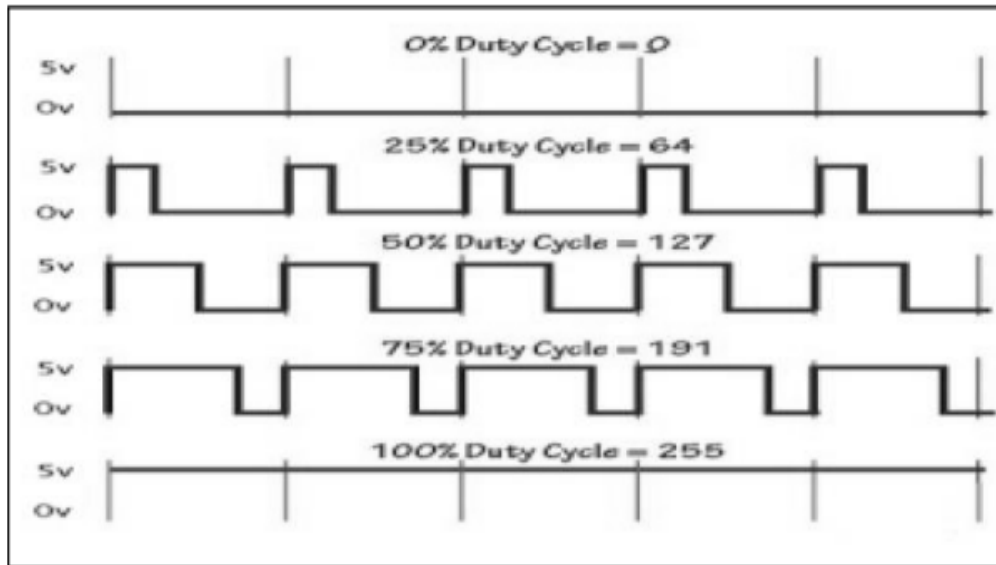
$$V_{\text{out}} = \frac{T_{\text{on}}}{T_{\text{off}}} \times V_{\text{in}} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dengan :

$T_{\text{on}}$  = Waktu pulsa “*High*”

$T_{\text{off}}$  = Waktu pulsa “*Low*”

*Pulse Width Modulation* (PWM) merupakan salah satu teknik untuk mendapatkan signal analog dari sebuah piranti digital seperti gambar 2.5 menunjukkan sebuah sinyal PWM beserta rumusnya. Sebenarnya Sinyal PWM dapat dibangkitkan dengan banyak cara, dapat menggunakan metode analog dengan menggunakan rangkaian op-amp atau dengan menggunakan metode digital. Dengan metode analog setiap perubahan PWM-nya sangat halus, sedangkan menggunakan metode digital setiap perubahan PWM dipengaruhi oleh resolusi dari PWM itu sendiri. Resolusi adalah jumlah variasi perubahan nilai dalam PWM tersebut. Misalkan suatu PWM memiliki resolusi 8 bit berarti PWM ini memiliki variasi perubahan nilai sebanyak  $2^8$  pangkat 8 = 256 variasi mulai dari 0 – 255 perubahan nilai yang mewakili *duty cycle* 0-100% dari keluaran PWM tersebut.



Gambar 2.13 Perubahan nilai yang mewakili *duty cycle* 0-100% dari keluaran PWM (Herman Surjono,2001)

Dengan cara mengatur lebar pulsa “on” dan “off” dalam satu perioda gelombang melalui pemberian besar sinyal referensi output dari suatu PWM akan didapat *duty cycle* yang diinginkan. *Duty cycle* dari PWM dapat dinyatakan sebagai:

$$Duty\ Cycle = \frac{T_{on}}{T_{on} + T_{off}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.3)$$

*Duty cycle* 100% berarti sinyal tegangan pengatur motor dilewatkan seluruhnya. Jika tegangan catu 100V, maka motor akan mendapat tegangan 100V. pada *duty cycle* 50%, tegangan pada motor hanya akan diberikan 50% dari total tegangan yang ada, begitu seterusnya. Dengan menghitung *duty cycle* yang diberikan, akan didapat tegangan *output* yang dihasilkan dengan menggunakan persamaan 2.4



$$\text{Average Voltase} = \frac{a}{a + b} \times V_{full} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dengan :

a = nilai *duty cycle* pada saat *on*

b = nilai *duty cycle* pada saat *off*

$V_{full}$  = Tegangan maksimum pada motor

*Average voltage* merupakan tegangan *output* pada motor yang dikontrol oleh sinyal PWM. Dengan menggunakan rumus 2.4, maka akan didapatkan tegangan *output* sesuai dengan sinyal kontrol PWM yang dibangkitkan .

Penggunaan PWM:

1. PWM sebagai data keluaran suatu perangkat. PWM dapat digunakan sebagai data dari suatu perangkat, data direpresentasikan dengan lebar pulsa positif ( $T_p$ ).
2. PWM sebagai data masukan kendali suatu perangkat. Selain sebagai data keluaran, PWM pun dapat digunakan sebagai data masukan sebagai pengendali suatu perangkat. Salah satu perangkat yang menggunakan data PWM sebagai data masukannya adalah Motor DC Servo. Motor DC Servo itu sendiri memiliki dua tipe: Kontinyu dan Sudut. Pada tipe Kontiinyu., PWM digunakan untuk menentukan arah Motor DC Servo, sedangkan pada tipe Sudut, PWM digunakan untuk menentukan posisi sudut Motor DC Servo.

3. PWM sebagai pengendali kecepatan Motor DC bersikat. Motor DC bersikat atau Motor DC yang biasa ditemui di pasaran yang memiliki kutub A dan kutub B yang jika diberikan beda potensial diantara keduanya, maka Motor DC akan berputar. Pada prinsipnya Motor DC jenis ini akan ada waktu antara saat beda potensial diantara keduanya dihilangkan dan waktu berhentinya. Prinsip inilah yang digunakan untuk mengendalikan kecepatan Motor DC jenis ini dengan PWM, semakin besar lebar pulsa positif dari PWM maka akan semakin cepat putaran Motor DC. Untuk mendapatkan putaran Motor DC yang halus, maka perlu dilakukan penyesuaian Frekuensi (Perioda Total) PWM-nya.

## 2.6 *Propeller ( Baling-baling)*

*Propeller* adalah baling baling 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 *propeller* berperan sebagai sayap berputar, dan memproduksi gaya yang mengaplikasikan Prinsip Bernoulli dan Hukum gerak Newton, menghasilkan sebuah perbedaan tekanan antara permukaan depan dan belakang.



Gambar 2.14 *Propeller/Baling-baling*

([whirlwindpropellers.com/windtunnel/ground-adjustable-aircraft-propellers](http://whirlwindpropellers.com/windtunnel/ground-adjustable-aircraft-propellers), 2015)

## 2.7 Servo

Servo atau motor servo adalah komponen yang merubah energi listrik menjadi energi gerak, namun gerakanya tidak sama dengan motor *brushless*, yaitu dapat dikontrol untuk berputar pada sudut tertentu berdasarkan keinginan kita. Servo digunakan untuk mengontrol *control surface* (penggerak) maupun sistem gerak lainnya pada pesawat.



Gambar 2.15 Motor servo

(Arif, Muhammd; 2014 <https://aeroengineering.co.id/2014/01/pesawat-remot-kontrol-aeromodelling>)