

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pesawat UAV

Unmanned Aerial Vehicle (UAV) adalah salah satu jenis robot penjelajah udara tanpa awak. UAV juga sering disebut dengan nama Pesawat Udara Nir Awak (PUNA). *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) merupakan kendaraan udara tanpa awak (pilot pengendali) di dalamnya. Karena tidak memiliki awak, UAV harus dikendalikan dari jarak jauh menggunakan *remote control* dari luar kendaraan atau biasa disebut *Remotely Piloted Vehicle* (RPV)^[1]. Selain itu, UAV juga dapat bergerak secara otomatis berdasarkan program yang sudah ditanamkan pada sistem komputernya.

Menurut hukum Bernoulli, kecepatan udara besar menimbulkan tekanan udara yang kecil. Sehingga tekanan udara di bawah sayap menjadi lebih besar dari sayap pesawat bagian atas. Sehingga akan timbul gaya angkat (*Lift*) yang menjadikan pesawat itu bisa terbang.

Prinsip Bernoulli menyatakan bahwa semakin tinggi kecepatan fluida (untuk ketinggian yang relatif sama), maka tekanannya akan mengecil. Dengan demikian akan terjadi perbedaan tekanan antara udara bagian bawah dan atas sayap, hal inilah yang menciptakan gaya angkat *L*. Penjelasan dengan prinsip Bernoulli ini masih menuai pro kontra, namun penjelasan ini pulalah yang digunakan Boeing untuk menjelaskan prinsip gaya angkat.

Hukum III Newton menekankan pada prinsip perubahan momentum manakala udara dibelokkan oleh bagian bawah sayap pesawat. Dari prinsip aksi dan reaksi, muncul gaya pada bagian bawah sayap yang besarnya sama dengan gaya yang diberikan sayap untuk membelokkan udara. Gaya-gaya aerodinamika ini meliputi gaya angkat (*lift*), gaya dorong (*thrust*), gaya berat (*weight*), dan gaya hambat udara (*drag*). Gaya-gaya inilah yang mempengaruhi profil terbang semua benda-benda di udara, mulai dari burung-burung yang bisa terbang mulus secara alami sampai pesawat terbang yang paling besar sekalipun.

Namun hal mendasar yang menyebabkan pesawat itu bisa mengudara adalah lebih kepada karena gaya angkat yang lebih tunduk kepada hukum Newton ketiga, yang secara sederhana berbunyi: “ Setiap aksi akan mendapat reaksi yang berlawanan arah dan sama besar “.

Gaya hambat udara (*drag*) merupakan gaya yang disebabkan oleh molekul-molekul dan partikel-partikel di udara. Gaya ini dialami oleh benda yang bergerak di udara. Pada benda yang diam gaya hambat udara nol. Ketika benda mulai bergerak, gaya hambat udara ini mulai muncul yang arahnya berlawanan dengan arah gerak, bersifat menghambat gerakan (itu sebabnya gaya ini disebut gaya hambat udara). Semakin cepat benda bergerak semakin besar gaya hambat udara ini. Agar benda bisa terus bergerak maju saat terbang, diperlukan gaya yang bisa mengatasi hambatan udara tersebut, yaitu gaya dorong (*thrust*) yang dihasilkan oleh mesin. Supaya kita tidak perlu menghasilkan thrust yang terlalu besar (bisa-bisa jadi tidak ekonomis) kita harus mencari cara untuk mengurangi *drag*. Salah satu caranya adalah dengan menggunakan desain yang *streamline* (ramping).

Supaya pesawat bisa terbang, kita perlu gaya yang bisa mengatasi gaya berat akibat tarikan gravitasi bumi. Gaya ke atas (*lift*) ini harus bisa melawan tarikan gravitasi bumi sehingga benda bisa terangkat dan mempertahankan posisinya di angkasa. Dari beberapa hal, bagusnya kinerja penerbang dalam sebuah penerbangan bergantung pada kemampuan untuk merencanakan dan berkordinasi dengan penggunaan tenaga (*power*) dan kendali pesawat untuk mengubah gaya dari gaya dorong (*thrust*), gaya tahan (*drag*), gaya angkat (*lift*) dan berat pesawat (*weight*). Keseimbangan dari gaya-gaya tersebutlah yang harus dikendalikan oleh penerbang. Makin baik pemahaman dari gaya-gaya dan cara mengendalikannya, makin baik pula ketrampilan seorang penerbang.

Pada saat ini *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) telah berkembang dengan sangat pesat dan digunakan dalam berbagai aplikasi. Berikut ini merupakan beberapa contoh aplikasi dari *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) :

1. Melakukan penginderaan jarak jauh, seperti memantau jaringan listrik, melakukan pemetaan suatu daerah, melihat keadaan geologi suatu daerah, dan memantau lahan pertanian.

2. Melakukan respons terhadap bencana yang terjadi, seperti melakukan pemantauan kerusakan akibat bencana banjir dan melakukan pemantauan kebakaran hutan.
3. Melakukan pengawasan hukum, seperti patroli keamanan suatu lokasi, pemantauan keadaan lalu lintas, patroli keadaan pesisir, kelautan, dan perbatasan.
4. Melakukan pencarian dan penyelamatan pada daerah yang sulit dijangkau.
5. Melakukan perjalanan transportasi, seperti membawa kargo kecil, kargo besar hingga mengangkut penumpang.
6. Menjadi alat penghubung komunikasi permanen ataupun sementara dan juga untuk menyalurkan siaran seperti siaran televisi dan radio.
7. Membawa dan mengirimkan suatu muatan, seperti membawa air untuk memadamkan kebakaran atau membawakan zat kimia untuk merawat tanaman.

2.1.1 Jenis – Jenis (UAV)

Agar dapat mengenal serta membedakan UAV yang ada saat ini, kita dapat melakukan pengelompokan ataupun klasifikasi terhadapnya. Sebernarnya terdapat banyak jenis pengelompokan UAV yang bisa digunakan, seperti pengelompokan berdasarkan kegunaan, berdasarkan motor penggerak, dan pengelompokan berdasarkan hal lainnya. Namun, yang paling sering digunakan dalam kajian ilmiah adalah pengelompokan berdasarkan bobot dari suatu UAV.

Parameter bobot dipilih sebagai parameter pengelompokan karena terdapat banyak karakteristik performa suatu UAV yang berhubungan langsung dengan bobot dari UAV tersebut. Contohnya, besar gaya angkat dan gaya dorong yang dibutuhkan suatu UAV bergantung pada bobot UAV tersebut. Selain itu, bobot juga mempengaruhi lebar baling-baling yang digunakan, serta sumber energi yang dapat dipakai. Contohnya, UAV yang ringan biasanya akan menggunakan motor elektrik sebagai

penggerak utamanya dan UAV dengan bobot sangat berat biasanya menggunakan turbo jet ataupun turbo fan.

- a. Drone adalah pesawat tanpa awak yang dikendalikan dari jarak jauh. Pesawat tanpa awak atau Pesawat nirawak (*Unmanned Aerial Vehicle* atau disingkat UAV), 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 .



Gambar 2.1. Drone

Sumber : <http://zonaelektro.net/unmanned-aerial-vehicle-uav/unmanned-aerial-vehicle-uav-a160/>

- b. Fixed wing Drone (Tunggal).Drone jenis ini berbentuk seperti pesawat komersial dan digunakan untuk proses yang cepat, daya jangkau lebih cepat serta lebih luas, biasanya untuk pemetaan (mapping) atau konsepnya seperti scanning. Drone jenis Fixed wins memiliki Energi lebih irit baterai karena single baling baling.



Gambar 2.2. Fix wing baling-baling depan (cessa)

Sumber : <http://zonaelektro.net/unmanned-aerial-vehicle-uav/unmanned-aerial-vehicle-uav-a160/>



Gambar 2.3. Fix wing baling-baling belakang

Sumber : <http://zoniaelektro.net/unmanned-aerial-vehicle-uav/unmanned-aerial-vehicle-uav-a160/>

- c. Multicopter Drone (Multi). Untuk Anda yang ingin membuat video yang bagus sangat cocok memilih drone yang multi copter dikarenakan Lebih stabil dan daya angkut serta kekuatan untuk mengangkat beban (kamera) bisa yang lebih berat. Semakin banyak baling baling semakin stabil dan lebih aman.



Gambar 2.4. Multicopter

Sumber : <http://zoniaelektro.net/unmanned-aerial-vehicle-uav/unmanned-aerial-vehicle-uav-a160/>

2.1.2 Kategori Pesawat Aeromodelling Secara Umum

Menurut kategorinya, pesawat aeromodelling dibedakan menjadi :

1. Trainer

Pesawat jenis trainer di desain dengan sayap di atas (high wing) supaya lebih stabil secara lateral dan mudah dikendalikan, jenis pesawat ini memiliki kemampuan maneuver yang rendah. Pesawat jenis trainer ideal untuk digunakan dalam belajar (pemula).



Gambar 2.5. UAV jenis trainer

Sumber: <http://aeroengineering.co.id/2016/02/kategori-pesawat-aeromodelling-secara-umum/>

2. *Sport*

Pesawat yang pada umumnya low wing dan mid wing ini dapat bermanuver lebih baik dari jenis trainer, pesawat jenis ini juga kadang digunakan untuk belajar, namun tingkat yang lebih lanjut dan profesional.



Gambar 2.6. UAV Jenis Sport

Sumber: <http://aeroengineering.co.id/2016/02/kategori-pesawat-aeromodelling-secara-umum/>

3. *Aerobatic*

Pesawat ini didesain untuk melakukan gerakan maneuver yang ekstrim serta gerakan 3 dimensi. pada umumnya pesawat jenis ini bersayap mid wingserta memiliki control surface yang luas, sehingga manuvernya bisa sangat ekstrim. Pesawat ini juga didesain memiliki struktur yang kuat dan mampu menahan beban yang besar saat bermanuver.



Gambar 2.7. UAV jenis Aerobatic

Sumber: <http://aeroengineering.co.id/2016/02/kategori-pesawat-aeromodelling-secara-umum/>

4. Jet

Pesawat ini biasanya didorong dengan mesin gas turbin atau dengan EDF (*Electric Ducted Fan*) yang mana bertujuan untuk mendapatkan kecepatan yang sangat tinggi dibandingkan dengan jenis pesawat lainnya. Pada umumnya pesawat *aeromodelling* jenis ini tergolong relatif mahal.



Gambar 2.8. UAV jenis Jet

Sumber: <http://aeroengineering.co.id/2016/02/kategori-pesawat-aeromodelling-secara-umum/>

5. Glider

Pesawat ini didesain untuk terbang tanpa mesin pendorong, yang mana memanfaatkan angin atau termal untuk mempertahankan terbangnya. Pada umumnya pesawat ini di desain dengan aspect ratio yang besar untuk meningkatkan daya tahan nya (*endurance*) sehingga dapat bertahan melayang di udara lebih lama dan stabil.



Gambar 2.9. UAV jenis Glider

Sumber: <http://aeroengineering.co.id/2016/02/kategori-pesawat-aeromodelling-secara-umum/>

6. Powered Glider

Pada dasarnya pesawat ini identik dengan jenis glider hanya saja terdapat mesin pendorong untuk mengendalikannya. Pesawat jenis ini juga cocok digunakan untuk pemula karena stabil dan mudah dikendalikan meskipun tidak dirancang untuk manuver yang ekstrim.



Gambar 2.10. UAV jenis Power Glider

Sumber: <http://aeroengineering.co.id/2016/02/kategori-pesawat-aeromodelling-secara-umum/>

2.2 Baterai Lithium Polimer (Li-Po)^[2]

Baterai *Lithium Polimer* (Li-Po) merupakan baterai tercanggih dan paling maju dalam dunia baterai saat ini. Keunggulan utamanya adalah rasio Power to Weight nya dan memungkinkan baterai dicetak sesuai dengan keinginan. Selain memiliki keunggulan, Li-Po juga memiliki kelemahan/kekurangan. Sifatnya yang sensitif dan mudah rusak apabila diperlakukan dengan tidak tepat. Memiliki bahaya resiko *explosive* jika *overcharge*, di tusuk atau bocor^[2]. Ada tiga kelebihan

utama yang ditawarkan oleh baterai jenis 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 Li-Po memiliki beberapa Rating, yaitu :

1. Tegangan

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 tiap 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 antara 2-6S. 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 cell x 3.7 volts (2S)
- c. 11.1 volt battery = 3 cell x 3.7 volts (3S)
- d. 14.8 volt battery = 4 cell x 3.7 volts (4S)
- e. 18.5 volt battery = 5 cell x 3.7 volts (5S)

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 tersebut akan habis selama 2 jam.

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 anoda ke katoda. Sebuah baterai dengan discharge rate 20-30c berarti baterai tersebut dapat di discharge 20-30 kali dari kapasitas baterai sebenarnya.

Contoh :

Sebuah baterai 5000 mAh memiliki rating 20-30C, berapa beban maksimum yang dapat ditahan oleh baterai tersebut ?

Penyelesaian :

Diketahui : Rate 20-30 C Baterai 5000 mAh

Arus = 5000 mAh x 30 C

= 150.000 mAh

= 150 Ampere

Daya maksimum = Ampere X Volt

= 150 x 11,1 V

= 1665 watt

Jika baterai 5000 mAh = 5000 mA/ 60 menit

= 83,3 mA/ menit

Baterai 5000 mAh, 30C = 83,3 mA x 30 C

= 250 mA/menit

Berdasarkan perhitungan diatas energi baterai 5000 mAh akan habis selama 83,3 menit , dengan C rating sebagai contoh 30 C, maka energi yang dihabiskan yaitu sebesar 250 mA permenit.

4. Cara-cara merawat baterai Li- Po adalah sebagai berikut :

a. *OverCharge*.

Voltase Li-Po maksimum 4,2 Volt. Gunakan *charger* yang bagus, karena usia Li-po sangat di tentukan oleh charger. Jangan mengisi ulang saat hendak tidur.

b. *Overdischarge*.

Voltase minimum Li-po adalah 3,5volt dan untuk amannya batasi hingga 3,6Volt, artinya sewaktu lowbat jangan dipaksakan lagi. Ini adalah kesalahan yang paling sering terjadi pada pemula karena tidak puas dengan *play time*. Jika voltasenya dibawah 3,5volt walaupun hanya sesekali, Li-po akan cepat gembung dan memperpendek usianya.

c. Jangan langsung charge setelah selesai bermain.

Li-Po akan hangat dan bahkan panas saat tenaganya dikuras habis, diamkanlah setidaknya 10 - 15 menit agar panasnya berkurang setelah itu baru boleh di charge/ di isi ulang.



Gambar 2.11. Baterai Li-Po

Sumber : https://www.google.co.id/search?biw=1366&bih=662&tbm=isch&sa=1&q=baterai+Li-po&oq=baterai+Li-po&gs_l=img.

2.3 Daya

Daya adalah banyaknya energi tiap satuan waktu. Dari definisi ini, maka daya (P) dapat dirumuskan :

$$\text{Daya} = \frac{\text{Energi}}{\text{Waktu}}$$

$$P = \frac{W}{t}$$

$$P = Vi$$

$$P = i^2R$$

$$P = \frac{V^2 R}{R^2} \dots\dots\dots (2.1)$$

Tegangan listrik (kadang disebut sebagai Voltase) adalah perbedaan potensial listrik antara dua titik dalam rangkaian listrik, dan dinyatakan dalam satuan volt. Besaran ini mengukur energi potensial dari sebuah medan listrik yang mengakibatkan adanya aliran listrik dalam sebuah konduktor listrik. Tergantung pada perbedaan potensial listriknya, suatu tegangan listrik dapat dikatakan sebagai ekstra rendah, rendah, tinggi atau ekstra tinggi.

Arus listrik adalah banyaknya muatan listrik yang mengalir melalui suatu titik dalam sirkuit listrik tiap satuan waktu. Arus listrik dapat diukur dalam satuan Coulomb/detik atau Ampere. Contoh arus listrik dalam kehidupan sehari-hari berkisar dari yang sangat lemah dalam satuan mikro Ampere (μA) seperti di dalam jaringan tubuh hingga arus yang sangat kuat 1-200 kiloAmpere (kA) seperti yang terjadi pada petir. Dalam kebanyakan sirkuit arus searah dapat diasumsikan resistansi terhadap arus listrik adalah konstan sehingga besar arus yang mengalir dalam sirkuit bergantung pada voltase dan resistansi sesuai dengan hukum Ohm.

Tahanan/beban/resistansi adalah komponen elektronik dua saluran yang didesain untuk menahan arus listrik dengan memproduksi penurunan tegangan diantara kedua salurannya sesuai dengan arus yang mengalirinya

2.4 Remote Control

Remote Control merupakan salah satu komponen utama pada pesawat tanpa awak ini. 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 penyimpan data digital. ^[1]

Pada umumnya Radio (*Transmitter*) dan *Receiver* yang banyak beredar saat ini dengan Frequency 2,4 Ghz (*Hooping frequency*) karena banyak keunggulan , diantaranya jangkauan mengendalikan mainan-mainan *remote control* yang jauh.

Receiver merupakan perangkat yang digunakan untuk menerima sinyal dari radio *transmitter* yang dikendalikan oleh pilot. 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.



Gambar 2.12. *Remote Control*

Sumber : <http://www.rc-airplane-world.com/radio-control-gear.html>

2.5 *Electronic Speed Controller (ESC)*^[2]

ESC (*Elektronik Speed Control*) yang berfungsi sebagai pengatur kecepatan motor, selain itu juga berfungsi untuk menaikkan jumlah arus yang diperlukan oleh motor. ESC dapat dikatakan juga sebagai Drive motor dengan mengeluarkan pulsa untuk brushless motor yang berasal dari mikrokontroler.

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.



Gambar 2.13. *Elektronik Speed Control*

Sumber : <https://oscarliang.com/what-is-esc-ubec-bec-quadcopter/>

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.

2.6 Baling – Baling (*Propeller*)

Baling-baling adalah alat yang mengubah gerak putar menjadi daya dorong. Daya dorong inilah yang dimanfaatkan pesawat sebagai penghasil daya dorong utama. Bilah-bilah dari propeller berperan sebagai sayap yang berputar menghasilkan sebuah perbedaan tekanan antara permukaan depan dan belakang bilah tersebut.

Ada beberapa parameter penting yang dimiliki propeller pada RC aeromodelling. Parameter-parameter ini bisa dijadikan pedoman untuk memilih baling-baling sesuai kebutuhan :

1. Diameter dan pitch

Semua baling-baling RC yang tersedia memiliki 2 buah ukuran, yaitu diameter dan pitch. Diameter dihitung berdasarkan diameter lingkaran yang dibentuk saat baling-baling berputar. Sedangkan pitch merupakan jarak yang ditempuh oleh baling-baling jika diputar 1 putaran penuh. Semakin panjang diameter dan pitch baling-baling semakin banyak pula udara yang disapu dan semakin besar pula daya dorong yang dihasilkan. Tapi diameter dan pitch dari baling-baling ini harus disesuaikan dengan motor dan sumber daya yang digunakan. Satuan dari diameter dan pitch dari baling-baling adalah inch. Baling-baling dengan ukuran 10x4.5 memiliki diameter 10 inch dan pitch 4.5 inch

2. Jumlah bilah

Umumnya jumlah bilah pada baling-baling RC aeromodelling adalah 2 bilah. Tetapi ada yang menggunakan 3 bilah dan 4 bilah. Semakin banyak bilah pada baling-baling menyebabkan semakin banyak udara yang disapu sehingga menghasilkan daya dorong yang lebih besar. Semakin banyak bilah juga menuntut motor dengan torsi yang lebih besar.



Gambar 2.14. Propeller 2 bilah

Sumber : <http://www.rctecnic.com/helices-fibra-de-carbono/3281-helice-de-fibra-de-carbono-12x38-ccw-sentido-normal>

2.7 Motor

Motor listrik adalah sebuah perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik.

Jenis-Jenis Motor:

a. Motor AC

Motor arus bolak-balik menggunakan arus listrik yang membalikkan arahnya secara teratur pada rentang waktu tertentu. Motor listrik memiliki dua

buah bagian dasar listrik: "stator" dan "rotor". Stator merupakan komponen listrik statis. Rotor merupakan komponen listrik yang berputar.

b. Motor DC

Motor arus searah (*Direct Current*), menggunakan arus langsung yang 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.

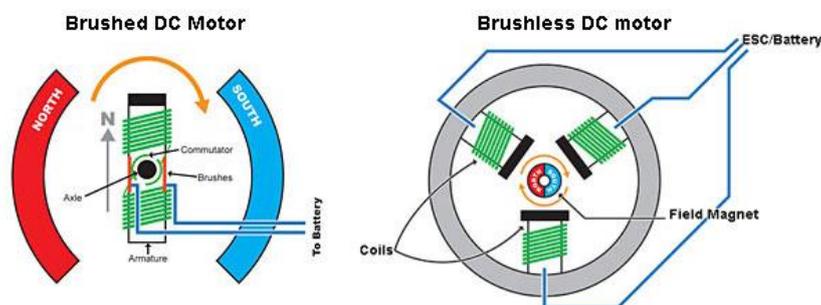
Secara umum motor DC dibagi atas 2 macam, yaitu :^[2]

1. *Brushed* Motor

Motor DC dengan sikat yang berfungsi sebagai pengubah arus pada kumparan sedemikian rupa sehingga arah putaran motor akan selalu sama

2. *Brushless* Motor

Motor *Brushless Direct Current* (BLDC) adalah motor yang tidak menggunakan sikat atau brush untuk pergantian medan magnet (komutasi) tetapi dilakukan secara komutasi elektronik.^[2]



Gambar 2.15. *Brushed* DC Motor dan *Brushless* DC Motor

Sumber : <http://www.thinkrc.com/faq/brushless-motors.php>

Secara umum motor BLDC terdiri dari dua bagian, yakni, rotor, bagian yang bergerak, yang terbuat dari permanen magnet dan stator, bagian yang tidak bergerak, yang terbuat dari kumparan 3 fasa. Walaupun merupakan motor listrik synchronous AC 3 fasa, motor ini tetap disebut dengan BLDC karena pada implementasinya BLDC menggunakan sumber DC sebagai sumber energi utama yang kemudian diubah menjadi tegangan AC dengan menggunakan inverter 3 fasa. Tujuan dari pemberian tegangan AC 3 fasa pada stator BLDC adalah

menciptakan medan magnet putar stator untuk menarik magnet rotor. Oleh karena tidak adanya brush pada motor BLDC, untuk menentukan *timing* komutasi yang tepat pada motor ini sehingga didapatkan torsi dan kecepatan yang konstan, diperlukan 3 buah sensor Hall dan atau encoder. Pada sensor Hall, timing komutasi ditentukan dengan cara mendeteksi medan magnet rotor dengan menggunakan 3 buah sensor hall untuk mendapatkan 6 kombinasi timing yang berbeda, sedangkan pada encoder, timing ditentukan dengan cara menghitung jumlah pole (kutub) yang ada pada encoder. Pada umumnya encoder lebih banyak digunakan pada motor BLDC komersial karena encoder cenderung mampu menentukan timing komutasi lebih presisi dibandingkan dengan menggunakan sensor hall. Hal ini terjadi karena pada encoder, kode komutasi telah ditetapkan secara fixed berdasarkan banyak pole dari motor dan kode inilah yang digunakan untuk menentukan timing komutasi. Namun karena kode komutasi encoder ditetapkan secara fixed berdasarkan banyak pole motor, suatu encoder untuk suatu motor tidak dapat digunakan untuk motor dengan jumlah pole yang berbeda. Hal ini berbeda dengan sensor hall. Apabila terjadi perubahan pole rotor pada motor, posisi sensor hall dapat diubah dengan mudah. Hanya saja kelemahan dari sensor hall adalah posisi sensor hall tidak tepat akan terjadi kesalahan dalam penentuan timing komutasi atau bahkan tidak didapatkan 6 kombinasi timing yang berbeda.

Keuntungan dari *brushless* motor sebagai berikut:

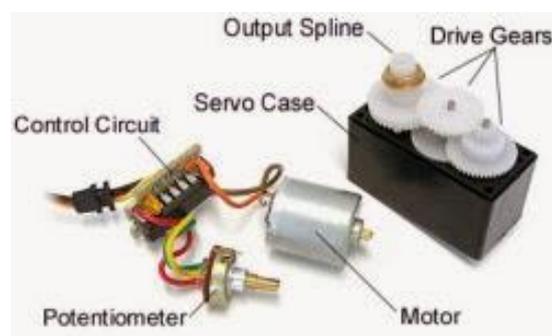
- a. Komputer dapat mengatur kecepatan motor lebih baik sehingga membuat brushless motor lebih efisien.
- b. Tidak adanya *storing/electrical noise*.
- c. Tidak menggunakan *brushes* yang dapat rusak setelah lamanya pemakaian.
- d. Dengan posisi elektromagnets di bagian stator, maka pendinginan motor menjadi lebih mudah.
- e. Jumlah electromagnets di stator dapat sebanyak mungkin untuk mendapatkan kontrol yang lebih akurat.

2.8 Motor Servo

Motor servo adalah sebuah perangkat atau aktuator putar (motor) yang dirancang dengan sistem kontrol umpan balik loop tertutup (servo), sehingga dapat di set-up atau di atur untuk menentukan dan memastikan posisi sudut dari poros output motor^[6]. motor servo merupakan perangkat yang terdiri dari motor DC, serangkaian gear, rangkaian kontrol dan potensiometer. Serangkaian gear yang melekat pada poros motor DC akan memperlambat putaran poros dan meningkatkan torsi motor servo, sedangkan potensiometer dengan perubahan resistansinya saat motor berputar berfungsi sebagai penentu batas posisi putaran poros motor servo.

Penggunaan sistem kontrol loop tertutup pada motor servo berguna untuk mengontrol gerakan dan posisi akhir dari poros motor servo. Penjelasan sederhananya begini, posisi poros output akan di sensor untuk mengetahui posisi poros sudah tepat seperti yang di inginkan atau belum, dan jika belum, maka kontrol input akan mengirim sinyal kendali untuk membuat posisi poros tersebut tepat pada posisi yang diinginkan. Untuk lebih jelasnya mengenai sistem kontrol loop tertutup, perhatikan contoh sederhana beberapa aplikasi lain dari sistem kontrol loop tertutup, seperti penyetelan suhu pada AC, kulkas, setrika dan lain sebagainya.

Motor servo biasa digunakan dalam aplikasi-aplikasi di industri, selain itu juga digunakan dalam berbagai aplikasi lain seperti pada mobil mainan radio kontrol, robot, pesawat, dan lain sebagainya.



Gambar 2.16. Motor Servo

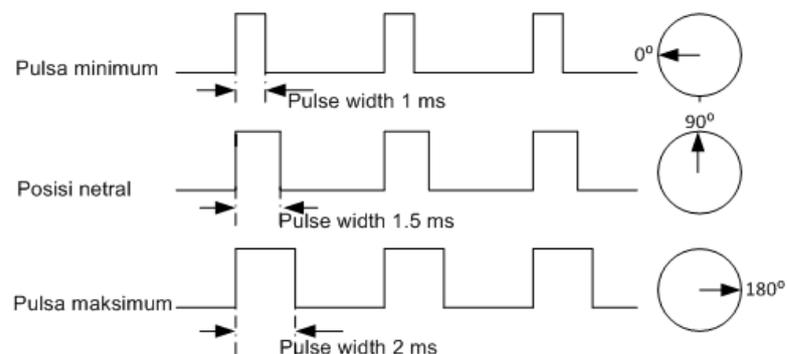
Sumber : <http://trikueni-desain-sistem.blogspot.co.id/2014/03/Pengertian-Motor-Servo.html>

Ada dua jenis motor servo, yaitu motor servo AC dan DC. Motor servo AC lebih dapat menangani arus yang tinggi atau beban berat. Bila dibedakan menurut rotasinya, umumnya terdapat dua jenis motor servo yang terdapat di pasaran, yaitu motor servo rotation 180° dan servo *rotation continuous*^[4].

- Motor servo standard (servo rotation 180°) adalah jenis yang paling umum dari motor servo, dimana putaran poros outputnya terbatas hanya 90° kearah kanan dan 90° kearah kiri. Dengan kata lain total putarannya hanya setengah lingkaran atau 180° .
- Motor servo rotation continuous merupakan jenis motor servo yang sebenarnya sama dengan jenis servo standard, hanya saja perputaran porosnya tanpa batasan atau dengan kata lain dapat berputar terus, baik ke arah kanan maupun kiri.

Prinsip kerja motor servo

Motor servo dikendalikan dengan memberikan sinyal modulasi lebar pulsa (Pulse Wide Modulation / PWM) melalui kabel kontrol. Lebar pulsa sinyal kontrol yang diberikan akan menentukan posisi sudut putaran dari poros motor servo. Sebagai contoh, lebar pulsa dengan waktu 1,5 ms (mili detik) akan memutar poros motor servo ke posisi sudut 90° . Bila pulsa lebih pendek dari 1,5 ms maka akan berputar ke arah posisi 0° atau ke kiri (berlawanan dengan arah jarum jam), sedangkan bila pulsa yang diberikan lebih lama dari 1,5 ms maka poros motor servo akan berputar ke arah posisi 180° atau ke kanan (searah jarum jam). Lebih jelasnya perhatikan gambar dibawah ini.



Gambar 2.17. Lebar pulsa PWM pada motor servo

Sumber : <http://trikueni-desain-sistem.blogspot.co.id/2014/03/Pengertian-Motor-Servo.html>

Ketika lebar pulsa kendali telah diberikan, maka poros motor servo akan bergerak atau berputar ke posisi yang telah diperintahkan, dan berhenti pada posisi tersebut dan akan tetap bertahan pada posisi tersebut. Jika ada kekuatan eksternal yang mencoba memutar atau mengubah posisi tersebut, maka motor servo akan mencoba menahan atau melawan dengan besarnya kekuatan torsi yang dimilikinya (rating torsi servo). Namun motor servo tidak akan mempertahankan posisinya untuk selamanya, sinyal lebar pulsa kendali harus diulang setiap 20 ms (mili detik) untuk menginstruksikan agar posisi poros motor servo tetap bertahan pada posisinya.

2.9 Tachometer

Tachometer adalah sebuah alat pengujian yang didesain untuk mengukur kecepatan rotasi dari sebuah objek. Kegunaan tachometer atau juga dikenal dengan RPM digunakan untuk mengukur putaran mesin khususnya jumlah putaran yang dilakukan oleh sebuah poros dalam satu satuan waktu dan biasanya dipakai pada peralatan kendaraan bermotor.

Cara Menggunakan/Mengukur :

- a. Tekan tombol “mode” pada jam tangan Anda hingga Anda berada dalam mode chronograph. Setelah itu, jarum detik pada jam Anda akan berhenti bergerak ketika mencapai jam 12.
- b. Pilih titik penentu di mana Anda ingin memulai pengukuran kecepatan Anda. Untuk percobaan pertama Anda, gunakan penanda mil atau kecepatan saat mengemudi. Ketika Anda melewati tanda ini, tekan tombol set untuk memulai fungsi chronograph tersebut. Jarum detik akan melanjutkan searah jarum jam di sekitar wajah. Tekan tombol set lagi ketika Anda telah bepergian dengan batas yang Anda tetapkan.
- c. Lihat jarum detik jam tangan Anda. Tentukan dimana posisinya menunjuk pada dial tachometer. Jumlah ini merupakan kecepatan di mana Anda bepergian dalam satuan per jam. Contohnya, jika Anda memerlukan waktu satu menit untuk mencapai jarak 1-2 km, kemungkinan akan mengarah ke angka 90, ini artinya Anda melaju dengan kecepatan 90 km per jam.

- d. Mengukur benda yang bergerak lebih lambat dapat menyebabkan pembacaan dan penunjukkan tachometer secara terbagi. Contohnya, tidak mungkin pelari dapat melakukan perjalanan satu mil dalam satu menit. Sebaliknya, jam akan mencatat jumlah waktu yang ia perlukan untuk pergi dalam fraksi preset satu mil. Misal, mengukur seperdelapan dari satu mil, lalu membagi hasilnya pada tachometer (anggap saja, 60, jika ia menyelesaikan satu mil dalam satu menit) dibagi delapan. Anda akan mendapatkan hasil bahwa ia berjalan atau lari 7,5 menit / mil.
- e. Lakukan hal yang sama untuk objek yang bergerak terlalu cepat pada tachometer, melainkan kali ini kalikan hasil Anda, tidak membaginya. Kenaikan terkecil yang dapat tercatat secara umum adalah 7,5 detik.



Gambar 2.18. Tachometer

Sumber : Dokumentasi Penulis

2.10 Multimeter

Multimeter adalah alat pengukur listrik yang sering dikenal sebagai VOM (Volt-Ohm meter) yang dapat mengukur tegangan (voltmeter), hambatan (ohm-meter), maupun arus (amperemeter). Ada dua kategori multimeter: multimeter digital atau DMM (digital multi-meter)(untuk yang baru dan lebih akurat hasil pengukurannya), dan multimeter analog. Masing-masing kategori dapat mengukur listrik AC, maupun listrik DC.

Sebuah multimeter merupakan perangkat genggam yang berguna untuk menemukan kesalahan dan pekerjaan lapangan, maupun perangkat yang dapat mengukur dengan derajat ketepatan yang sangat tinggi. Multimeter dibedakan menjadi 2, yaitu multimeter analog dan multimeter digital.

Multimeter Analog atau yang biasa disebut multimeter jarum adalah alat pengukur besaran listrik yang menggunakan tampilan dengan jarum yang bergerak ke range-range yang kita ukur dengan probe. Multimeter ini tersedia dengan kemampuan untuk mengukur hambatan ohm, tegangan (Volt) dan arus (mA). Analog tidak digunakan untuk mengukur secara detail suatu besaran nilai komponen, tetapi kebanyakan hanya digunakan untuk baik atau jeleknya komponen pada waktu pengukuran atau juga digunakan untuk memeriksa suatu rangkaian apakah sudah tersambung dengan baik sesuai dengan rangkaian blok yang ada.



Gambar2.19. Multimeter Analog dan digital

Sumber: <http://alat2ukur.blogspot.co.id/2015/11/multimeter-alat-ukur-arus-tegangan.html>

Multimeter digital hampir sama fungsinya dengan multimeter analog tetapi multimeter digital menggunakan tampilan angka digital. Multimeter digital pembacaan pengukuran besaran listrik yang lebih tepat jika dibanding dengan multimeter analog, sehingga multimeter digital dikhususkan untuk mengukur suatu besaran nilai tertentu dari sebuah komponen secara mendetail sesuai dengan besaran yang diinginkan.

Yang harus diperhatikan dalam menggunakan multimeter adalah :

1. Papan Skala : digunakan untuk membaca hasil pengukuran. Pada papan skala terdapat skala-skala; tahanan/resistan (*resistance*) dalam satuan Ohm (Ω), tegangan (ACV dan DCV), kuat arus (DCmA), dan skala-skala lainnya.
2. Saklar Jangkauan Ukur : digunakan untuk menentukan posisi kerja Multimeter, dan batas ukur (*range*). Jika digunakan untuk mengukur nilai satuan tahanan (dalam W), saklar ditempatkan pada posisi W, demikian juga jika digunakan untuk mengukur tegangan (ACV-DCV), dan kuat arus (mA-mA). Satu hal yang perlu diingat, dalam mengukur tegangan listrik, posisi saklar harus berada pada batas ukur yang lebih tinggi dari tegangan yang akan diukur. Misal, tegangan yang akan diukur 220 ACV, saklar harus berada pada posisi batas ukur 250 ACV. Demikian juga jika hendak mengukur DCV.
3. Sekrup Pengatur Posisi Jarum (*preset*) : digunakan untuk menera jarum penunjuk pada angka nol (sebelah kiri papan skala).
4. Tombol Pengatur Jarum Pada Posisi Nol (*Zero Adjustment*) : digunakan untuk menera jarum penunjuk pada angka nol sebelum Multimeter digunakan untuk mengukur nilai tahanan/resistan. Dalam praktek, kedua ujung kabel penyidik (*probes*) dipertemukan, tombol diputar untuk memosisikan jarum pada angka nol.
5. Lubang Kabel Penyidik : tempat untuk menghubungkan kabel penyidik dengan Multimeter. Ditandai dengan tanda (+) atau out dan (-) atau common. Pada Multimeter yang lebih lengkap terdapat juga lubang untuk mengukur hfe transistor (penguatan arus searah/DCmA oleh transistor berdasarkan fungsi dan jenisnya), dan lubang untuk mengukur kapasitas kapasitor.