

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Pengertian Fotogrametri

Fotogrametri didefinisikan sebagai seni, ilmu dan teknologi untuk memperoleh informasi terpercaya tentang objek fisik dan lingkungannya melalui proses perekaman, pengukuran dan interpretasi 2 gambaran fotografik dan pola radiasi tenaga elektromagnetik yang terekam. Foto yang dimaksud disini adalah foto udara, yaitu rekaman dari sebagian permukaan bumi yang dibuat dengan menggunakan kamera yang dipasang pada wahana antara lain pesawat terbang.

Perkembangan fotogrametri selanjutnya telah mengantarkan kepada pengertian fotogrametri yang dapat diberi makna lebih luas yakni merupakan ilmu pengetahuan dan teknologi pengolahan foto udara untuk memperoleh data dan informasi yang tepat untuk tujuan pemetaan dan rekayasa. (Sumber: lit. 6)

2.2 Pengertian UAV

Unmanned Aerial Vehicle (UAV) atau yang umum juga disebut dengan *Remotely Piloted Vehicle* (RPV), *drone*, *robot plane*, dan *Pilotless Aircraft*. adalah salah satu wahana tanpa awak di udara yang mana dapat terbang tanpa pilot, menggunakan gaya aerodinamik untuk menghasilkan gaya angkat (*lift*), dan dapat terbang secara *autonomous* atau dioperasikan dengan radio kontrol. UAV digunakan untuk berbagai keperluan baik di lingkup militer maupun sipil. Dan mampu membawa beban (*payload*) sesuai dengan misi yang dijalankan. (Sumber: lit. 7)

2.2.1 Klasifikasi UAV Berdasarkan Bobot

Agar dapat mengenal serta membedakan UAV yang ada saat ini, kita dapat melakukan pengelompokan ataupun klasifikasi terhadapnya. Sebenarnya 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. (Sumber: lit. 8)

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. *UAV Super Heavy*

UAV super heavy adalah jenis robot penjelajah udara *Unmanned Aerial Vehicle (UAV)* yang memiliki berat diatas 2000 kg. UAV jenis ini biasa digunakan dalam bidang militer sebagai pesawat pengintai, atau juga memiliki tugas untuk menghancurkan daerah musuh. Daya jelajah yang dimiliki UAV jenis ini dapat mencapai 3.000 km dan bisa tidak terdeteksi oleh radar. Sebagai mesin penggerak UAV ini menggunakan mesin jet ataupun turbo fan. Sebagai contoh UAV super heavy adalah Global Hawk seperti terlihat pada gambar berikut.



Gambar 2.1 *UAV Super Heavy*

(Sumber: Lit. 9)

b. *UAV Heavy*

UAV Heavy adalah jenis robot penjelajah udara dengan berat antara 200–2000 kg. UAV ini sering dimanfaatkan dalam bidang militer

seperti pengintaian, pembawa perlengkapan, atau penghacuran terhadap target. Daya jelajah UAV jenis ini umumnya lebih dari 1000 km. Salah satu contoh *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) heavy adalah A-160.



Gambar 2.2 UAV A-160

(Sumber: Lit. 10)

c. *UAV Medium*

UAV medium adalah robot penjelajah udara yang memiliki berat pada range 50-200 kg. UAV ini sering digunakan untuk memantau kondisi sebuah wilayah. UAV jenis ini juga dimiliki oleh tim SAR (*Search and Rescue*) untuk menjangkau korban bencana dan memberi suplai obat dan makanan kepada korban. Contoh UAV jenis medium adalah *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) Cypher.



Gambar 2.3 UAV *Cypher*

(Sumber: Lit. 11)

d. *UAV Light*

UAV light merupakan robot penjelajah udara dengan bobot 5-50Kg, dengan bobot yang tidak terlalu besar dan dimensi yang tidak terlalu berat pesawat ini biasa digunakan untuk pemetaan udara dan pembawa suplai di lokasi yang terkena bencana. Contoh *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) jenis medium adalah UAV Neptune.



Gambar 2.4 UAV Neptune
(Sumber: Lit. 12)

e. *UAV Micro*

UAV micro adalah robot penjelajah udara yang ringan dan memiliki bobot kurang dari 5 kg. UAV ini adalah yang biasa dibuat oleh masyarakat secara individu maupun berkelompok untuk memudahkan pekerjaan tertentu seperti pemetaan udara, pencari titik api pada lokasi kebakaran hutan. Karena dimensinya yang tidak terlalu besar dan daya jelajah yang tidak terlalu jauh, UAV ini jarang digunakan untuk membawa beban (payload). Contoh Unmanned Aerial Vehicle (UAV) micro adalah UAV Dragon Eye.



Gambar 2.5 UAV *Dragon Eye*
(Sumber: Lit. 12)

2.2.2 Klasifikasi UAV Berdasarkan Tinggi Penerbangan

Dalam menjalankan misi penerbangan, UAV harus terbang dengan ketinggian yang sesuai dengan misi UAV. Bila dalam militer UAV harus terbang dengan ketinggian yang tinggi untuk menghindari terdeteksi oleh musuh. Bila misi UAV hanya sebatas pemetaan ketinggian yang direkomendasikan sedang atau rendah. Berikut adalah klasifikasi UAV berdasarkan ketinggian terbangnya. (Sumber: Lit. 8)

a. Ketinggian Rendah (kurang dari 1000 m)

UAV jenis ini sering digunakan untuk kebutuhan pemetaan udara, *aerial photography*, dan untuk digunakan dalam eksperimental. UAV yang memiliki bobot ringan umumnya juga terbang pada kategori rendah.

b. Ketinggian Menengah (1000-10.000 m)

AV yang terbang pada ketinggian ini umumnya digunakan oleh keperluan militer maupun sipil.

c. Ketinggian Tinggi (lebih dari 10.000 m)

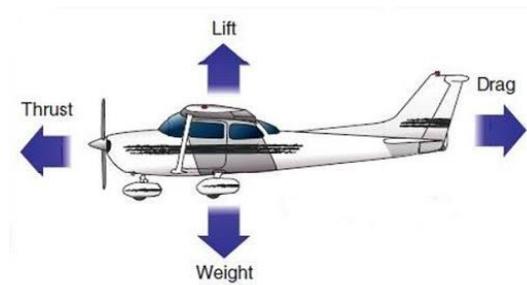
UAV jenis ini memiliki daya jelajah yang jauh dan umumnya digunakan dalam keperluan militer. Potensinya yang dapat menabrak pesawat komersil membuat UAV jenis ini sedang dalam pengembangan integrasi secara menyeluruh untuk mengurangi potensi terjadinya tabrakan.

2.3 Konsep Aerodinamika

pada dasarnya prinsip aerodinamika UAV sama halnya dengan yang terjadi pada pesawat terbang. Terdapat 4 gaya utama yang bekerja pada pesawat terbang. (Sumber: Lit. 13)

1. *Thrust* adalah gaya dorong yang dihasilkan oleh mesin (power plant) / *propeller*. Gaya ini kebalikan dari gaya tahan (*drag*). Sebagai aturan umum, *thrust* beraksi paralel dengan sumbu longitudinal yang mendorong pesawat untuk menciptakan kecepatan aliran udara pada sayapnya.
2. *Drag* adalah gaya ke belakang, menarik mundur, dan disebabkan oleh gangguan aliran udara oleh sayap, fuselage, dan objek-objek lain. *Drag* kebalikan dari *thrust*, dan beraksi kebelakang paralel dengan arah angin relatif.
3. *Weight* (gaya berat) adalah kombinasi berat dari muatan pesawat itu sendiri, awak pesawat, bahan bakar, dan kargo atau bagasi. *Weight* menarik pesawat ke bawah karena gravitasi. *Weight* melawan *lift* (gaya angkat) dan beraksi secara vertikal ke bawah sesuai dengan arah pusat bumi.
4. *Lift* (gaya angkat) adalah melawan gaya dari *weight* dan dihasilkan oleh efek dinamis dari udara yang beraksi di sayap dan beraksi tegak lurus pada arah penerbangan melalui *center of lift* dari sayap.

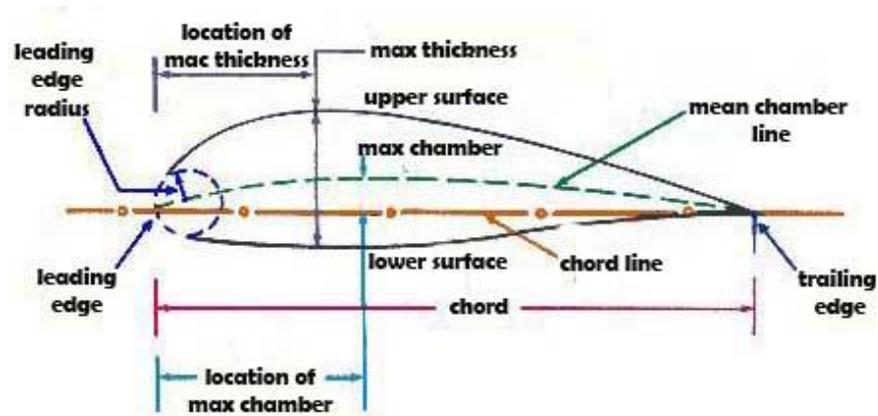
dengan hukum Bernoulli, pesawat akan terbang ketika gaya angkat yang dihasilkan oleh sayap pesawat tersebut lebih besar dari gaya berat pesawat. *Lift* yang dihasilkan oleh sayap pesawat itu tidak lepas dari kecepatan pesawat dilandaskan, pesawat harus menghasilkan aliran fluida dengan kecepatan tertentu pada sayapnya, dimana kecepatan udara dibagian bawah sayap lebih kecil dari pada bagian atas pesawat sehingga akan gaya tekan dibawah sayap lebih besar dari pada di atas sayap dan terjadilah lift yang akan membuat pesawat menjadi terbang.



Gambar 2.6 Gaya yang Bekerja Pada Pesawat
(Sumber: Lit. 14)

2.3.1 Klasifikasi UAV Berdasarkan Tinggi Penerbangan

Airfoil adalah bentuk dari suatu sayap pesawat yang dapat menghasilkan gaya angkat (*lift*) atau efek aerodinamika ketika melewati suatu aliran udara. *Airfoil* merupakan bentuk dari potongan melintang sayap yang dihasilkan oleh perpotongan tegak lurus sayap terhadap pesawat, dengan kata lain *airfoil* merupakan bentuk sayap secara dua dimensi. (Sumber: Lit. 6)



Gambar 2.7 Terminologi *Airfoil*
(Sumber: Lit. 15)

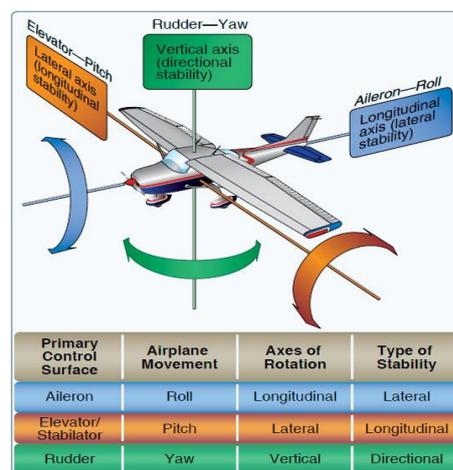
Dari gambar terminologi suatu *airfoil* diatas, dapat dijelaskan lebih rinci sebagai berikut.

1. *Leading edge*, merupakan bagian permukaan paling depan dari *airfoil*.
2. *Trailing edge*, merupakan bagian permukaan paling belakang dari *airfoil*.
3. *Mean chamber line*, merupakan garis pertengahan yang membagi antara permukaan bagian atas dan permukaan bagian bawah dari *airfoil*.

4. *Chord line*, merupakan garis lurus yang menghubungkan *leading edge* dan *trailing edge*.
5. *Chord*, merupakan perpanjangan dari *chord line* mulai dari *leading edge* hingga *trailing edge*. Dengan kata lain, *chord* adalah karakteristik dimensi *longitudinal* dari suatu *airfoil*.
6. *Maximum chamber*, merupakan jarak antara *mean chamber line* dengan *chord line*. *Maximum chamber* membantu mendefinisikan bentuk dari *mean chamber line*.
7. *Maximum thickness*, merupakan ketebalan maksimum dari suatu *airfoil*, dan menunjukkan persentase dari *chord*. *Maximum thickness* membantu mendefinisikan bentuk dari *airfoil* dan juga performa dari *airfoil* tersebut.

2.3.2 Control Surfaces

Control surface adalah bagian dari pesawat terbang yang berfungsi untuk mengontrol gerakan atau sikap (*attitude*) pesawat terbang tersebut. Prinsip kerja dari *control surface* adalah menghasilkan gaya aerodinamis pada arah tertentu sehingga menghasilkan *attitude* yang diinginkan. (Sumber: Lit. 16)



Gambar 2.8 Sumbu Pada Pesawat
(Sumber: Lit. 17)

tiga gerakan utama pesawat adalah *pitch*, *roll* dan *yaw*. *Pitch* adalah gerakan pesawat berputar terhadap sumbu lateral, berupa gerakan *nose-up* atau *nose-down*, kemudian *roll* adalah gerakan berputar terhadap sumbu *longitudinal*, berupa gerakan berputar sehingga salah satu sayap naik sedangkan salah satunya turun, dan yang terakhir adalah *yaw*, yaitu putaran terhadap sumbu vertikal. Gerakan utama pada pesawat dikontrol oleh *primary flight control surfaces* dan *secondary flight control surfaces*. *Primary control surfaces* yang terdapat pada pesawat antara lain.

1. **Aileron**

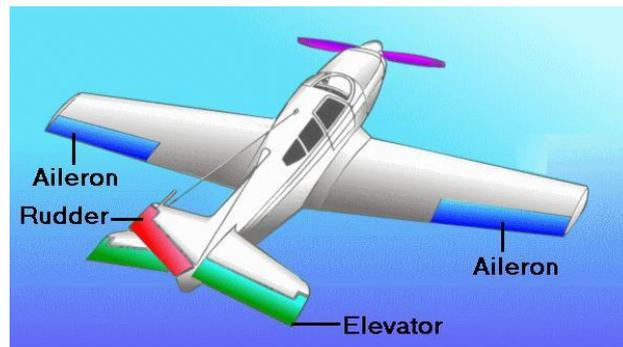
Aileron adalah *control surface* yang pada umumnya terletak di *trailing edge* (bagian belakang sayap) pada ujung sayap kanan dan kiri. Gerakan dari *aileron* adalah berkebalikan, yaitu ketika salah satu *aileron* kebawah, sisanya bergerak keatas, sehingga menghasilkan gaya yang berlawanan dan menghasilkan gerakan *roll* pada pesawat.

2. **Elevator**

Elevator terletak pada *trailing edge horizontal stabilizer*. Ketika *elevator* terdefleksi kebawah, bagian ekor akan terangkat, sehingga menghasilkan *nose-down* membuat pesawat cenderung bergerak kebawah. Sebaliknya, ketika *elevator* terdefleksi keatas, ekor akan bergerak kebawah, sehingga menghasilkan *nose-up* dan membuat pesawat bergerak keatas. *Elevator* merupakan pengontrol gerakan *pitch*.

3. **Rudder**

Rudder terletak pada *trailing edge vertical stabilizer*, ketika *rudder* terdefleksi kekanan, ekor akan tertarik ke kiri, sehingga akan menghasilkan hidung pesawat bergerak ke kanan dan pesawat akan berbelok ke kanan. Begitu juga sebaliknya untuk defleksi ke kiri. *Rudder* adalah *control surface* untuk mengontrol gerakan *yaw*, tetapi memiliki efek samping gerakan *roll*. Kontrol *rudder* biasanya terhubung dengan sistem pembelok landing gear, sehingga biasa digunakan untuk kontrol saat di darat.



Gambar 2.9 *Primary Flight Control Surfaces*
(Sumber: Lit. 18)

2.4 Prinsip Kerja UAV

Pergerakan dari UAV dikendalikan oleh pilot dan nantinya sinyal akan diterima oleh *receiver*. Sinyal yang diterima akan diteruskan ke servo aktuator dalam bentuk pergerakan sudut yang dihubungkan ke *flight control surfaces* melalui *push pull rod*.

Data yang dipancarkan melalui *transmitter* di *ground* akan diterima oleh *receiver* yang berada di dalam UAV. UAV dapat dikendalikan dengan 2 mode, manual dan *autopilot*. Saat menggunakan mode *autopilot* yang berfungsi mengatur pergerakan UAV adalah *flight controller* yang nantinya akan membaca *waypoint* dengan GPS dan kemudian menggerakkan *flight control surfaces*.

Status UAV dapat diawasi pada *ground station* menggunakan *telemetry radio*. Tampilan *real-time* akan dimunculkan melalui *software mission planner*. Data yang bisa ditampilkan antara lain, posisi UAV, ketinggian, sisa kapasitas baterai dan lain-lain.

2.5 Material dan Komponen penyusun UAV

Dalam perancangan sebuah UAV dibutuhkan material dan komponen yang sesuai dengan misi UAV tersebut. Adapun komponen wajib untuk membuat UAV sendiri adalah rangka struktur, *propeller*, motor *brushless*, ESC, baterai, servo, *transmitter*, dan *reciver*. Berikut adalah fungsi dari masing-masing komponen. (Sumber: Lit. 19)

- **Rangka struktur**

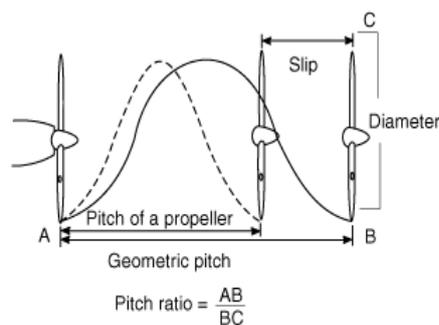
Rangka struktur dari UAV biasanya menggunakan material yang ringan dan keras agar wahana dapat terbang dengan bobot yang tidak terlalu berat. Material yang bisa digunakan diantaranya adalah styrofoam, polyfoam, EPO foam, kayu balsa, dan juga material komposit seperti *fiberglass* dan *fiber carbon*. Namun material komposit memiliki harga yang relatif mahal dibandingkan dengan material non-komposit.

Masing-masing material memiliki keunggulan dan kelemahan masing-masing. Tidak menutup kemungkinan dalam satu wahana terdapat gabungan beberapa material.

- **Propeller**

Propeller adalah bagian penting dalam menentukan performa dan kecepatan dari UAV. Dalam penggunaan motor *brushless* kesalahan dalam pemilihan *propeller* dapat mengakibatkan kerusakan pada komponen.

Dalam pemilihan ukuran *propeller* dapat dilihat pada bagian *propeller* tersebut. Contoh ukuran dalam propeller adalah 9080, 90 disini merujuk pada diameter *propeller* tersebut dalam satuan inci, dan 80 adalah sudut atau *pitch* yang dimiliki oleh sebuah *propeller*. Semakin besar diameter semakin besar *Thrust* yang dihasilkan namun membutuhkan power yang lebih besar untuk menggerakkannya. Semakin besar *Pitch* pada *propeller* akan membuat UAV terbang lebih cepat karena *propeller* menghasilkan *Geometric pitch* yang lebih panjang.



Gambar 2.10 Pitch of Propeller
(Sumber: Lit. 20)

- **Motor brushless**

Motor *Brushless* atau *Brushless Motor Direct Current* (BLDC), adalah *synchronous motor* yang bekerja saat dialiri listrik arus searah (DC). Motor jenis ini banyak digunakan saat ini karena memiliki kelebihan dibanding dengan *brushed motor* karena dapat menghasilkan torsi dan efisiensi daya yang lebih baik. Motor *brushless* digunakan untuk menggerakkan *propeller* yang nantinya akan menghasilkan daya dorong (*thrust*). Dalam pemilihan motor *brushless* terdapat ukuran yang harus disesuaikan dengan wahana yang akan dibuat antara lain kV (*voltage constant*) adalah putaran yang dihasilkan motor per-volt, dan daya yang dibutuhkan motor untuk bergerak.



Gambar 2.11 Motor Brushless
(Sumber: Lit. 21)

- **Electronic Speed Control (ESC)**

ESC berfungsi sebagai pengatur kecepatan putaran *motor brushless* dengan cara membatasi daya untuk suplai ke *motor brushless*. Daya yang dikeluarkan oleh ESC diatur oleh sinyal yang diterima oleh *receiver* dan kemudian diterjemahkan oleh ESC.



Gambar 2.12 Electronic Speed Control
(Sumber: Lit. 22)

- **Baterai**

Baterai yang umum digunakan pada UAV adalah baterai LiPo atau *Lithium Polymer*. Ini merupakan baterai yang dapat di *charge* apabila daya pada baterai sudah habis. Baterai ini banyak digunakan dalam UAV karena *Ratio power to Weight* yang tinggi, atau dengan bobot yang ringan dapat menampung daya banyak sehingga dapat mengurangi berat dari UAV.



Gambar 2.13 Baterai LiPo
(Sumber: Lit. 23)

- **Servo**

Servo adalah salah satu jenis motor DC. yang membedakan motor servo dan motor DC biasa adalah didalam servo terdapat potensiometer sehingga putaran pada servo dapat menunjukkan pada sudut sudut tertentu berdasarkan sinyal yang diterima oleh *Receiver*. Servo ini berfungsi untuk menggerakkan kendali utama pada wahana seperti *Aileron, Elevator dan Rudder*.



Gambar 2.14 Servo
(Sumber: Lit. 24)

- **Receiver**

Receiver merupakan penerima sinyal gelombang radio yang dipancarkan melalui *Transmitter* dengan frekuensi tertentu. Sinyal ini kemudian diterjemahkan oleh *receiver* untuk menggerakkan komponen elektronik pada UAV seperti servo yang terhubung dengan kendali utama pada wahana.



Gambar 2.15 Receiver
(Sumber: Lit.25)

- **Transmitter**

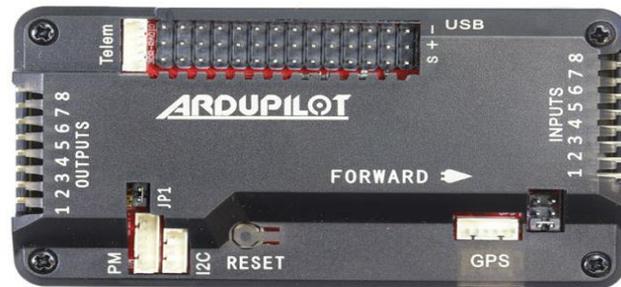
Transmitter merupakan pemancar gelombang radio yang nantinya akan ditangkap oleh *Receiver* pada wahana. *Transmitter* ini juga biasa disebut dengan *Remote Control* dan dikendalikan secara langsung oleh pilot di darat.



Gambar 2.16 Transmitter
(Sumber: Lit. 26)

- **Flight Controller**

Flight controller adalah otak dari UAV. *Flight controller* ini membaca sinyal-sinyal dari sensor dan melakukan kalkulasi untuk memerintahkan UAV bergerak sesuai keinginan pilot. Bagian-bagian pada *Flight Controller* terangkum dibawah ini. (Sumber: Lit 3)



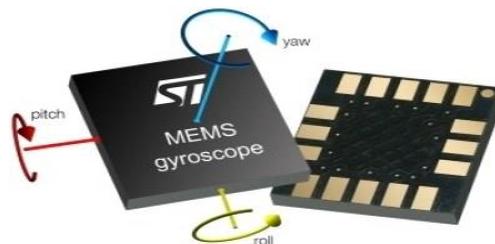
Gambar 2.17 Flight Controller
(Sumber: Lit. 27)

a) *Prosesor*

Prosesor adalah unit utama yang menjalankan *firmware* autopilot dan melakukan semua perhitungan. Sebagian besar *flight controller* memiliki prosesor 32bit yang lebih *powerfull* dari prosessor 8bit, tetapi prosessor 8bit masih lebih populer karena lebih murah.

b) *Accelerometer dan Gyroscope*

Acccelerometer dan *Gyroscope* merupakan sensor inersial UAV, yaitu mengukur gerakan UAV tersebut dari dalam (inersial). *Accelerometer* mengukur percepatan translasi sedangkan *gyro* mengukur rotasi. Kombinasi dari kedua pengukuran tersebut memungkinkan *Flight Controller* menghitung *attitude* (sikap) gerakan UAV dan melakukan koreksi.



Gambar 2.18 Gyroscope
(Sumber: Lit. 28)

c) *Compass/Magnetometer*

Sensor kompas atau secara umum disebut magnetometer adalah sensor yang mengukur gaya magnetik selayaknya kompas dalam artian umum. Sensor ini penting untuk UAV berjenis multirotor karena *accelerometer* dan *gyro* tidak dapat menunjukkan arah drone tersebut terbang, sedangkan pada *fixed wing* lebih mudah karena hanya terbang pada satu arah saja.

Sensor ini cukup sensitif terhadap interferensi elektromagnetik, sehingga harus dijauhkan peletakkanya dari penghasil medan elektromagnetik seperti motor dan ESC.

d) Barometer

Barometer adalah sensor tekanan yang berfungsi untuk mengukur ketinggian UAV. Semakin tinggi kita dari permukaan bumi, maka tekanan akan semakin rendah. Sensor ini sangatlah sensitif.



Gambar 2. 19 Barometer
(Sumber: Lit. 28)

e) *Data logging (Black Box)*

Pada beberapa *flight controller* terdapat *built-in data logging* yang menyimpan semua data berupa apa saja yang dilakukan oleh autopilot, seperti layaknya *black box* pada pesawat. Hal ini penting untuk menganalisa jika terjadi sesuatu yang bekerja dengan tidak benar.

f) Gabungan Sensor

Drone tidak akan terbang dengan baik jika hanya menggunakan satu sensor, sehingga dibutuhkan kombinasi beberapa sensor. Kombinasi

ini biasanya digambarkan dengan DOF atau *Degree Of Freedom*, semakin tinggi DOF maka semakin tinggi juga akurasi yang didapatkan. Misalkan 6 DOF yaitu terdiri dari 3 DOF *accelerometer* (arah x, arah y, arah z) dan 3 DOF *gyroscope* (putaran sumbu x, y dan z), atau 10 DOF yaitu 6 DOF diatas dengan tambahan 3 DOF dari kompas dan 1 DOF dari barometer.

g) GPS (*Global Positioning System*)

Modul GPS mengukur lokasi dari UAV dengan mengukur seberapa lama sinyal bergerak dari satelit. Modul ini dapat juga digunakan untuk memperkirakan ketinggian meskipun kurang akurat. Akurasi dari GPS adalah sekitar 5 meter. Fitur utama dari modul GPS adalah menerbangkan UAV melalui *way-point* yang sudah ditetapkan secara otomatis. Antena GPS sering kali diletakkan diluar wahana sehingga sinyal terhadap satelit tidak terganggu.



Gambar 2.20 GPS
(Sumber: Lit. 28)

h) *Telemetry*

Modul *telemetry* adalah alat yang mengirimkan dan menerima data melalui sinyal radio. Salah satu berada di darat dan salah satunya terpasang pada pesawat.



Gambar 2.21 *Telemetry*
(Sumber: Lit. 28)

i) *Ground Station*

Ground station adalah tempat pengendalian UAV, baik secara manual yang dikendalikan oleh pilot atau terbang secara *autopilot* yang dikendalikan oleh *flight controller* pada UAV. Bila UAV terbang dalam mode *autopilot* maka pada *ground station* adalah tempat dimana *waypoint* dimasukkan dalam *flight controller* dan mengawasi status pada UAV melalui telemetri seperti sisa baterai pada UAV dan posisi UAV itu sendiri.



Gambar 2.22 Mission Planner
(Sumber: Lit.28)

j) *Power Module*

Autopilot adalah peralatan elektronik yang sensitif, sehingga dibutuhkan sumber daya yang “bersih”. Power modul digunakan untuk merubah voltase baterai yang tinggi menjadi sesuai yang dibutuhkan oleh autopilot (biasanya 5 Volt).



Gambar 2.23 Power Module
(Sumber: Lit. 28)

Power module ini juga berguna untuk mengukur kondisi baterai, hal ini penting untuk sistem *failsafe* (perintah untuk mengakhiri misi terbang melalui *way-point*, misalkan *landing* otomatis atau kembali ke arah

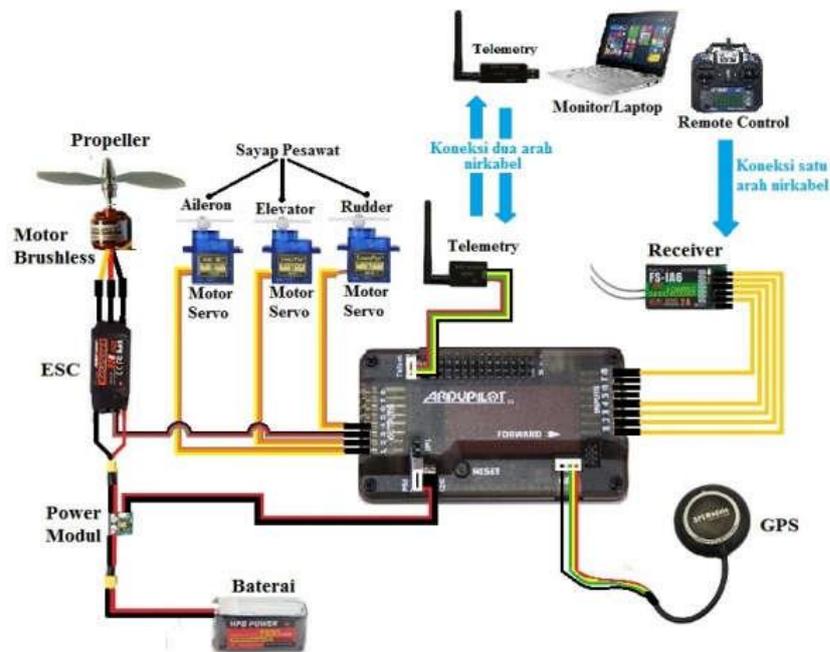
pilot), sehingga ketika baterai sudah lemah, UAV akan otomatis mengambil tindakan darurat/*failsafe*.

k) Sensor lain-lain

Sering digunakan beberapa sensor tambahan untuk meningkatkan kapabilitas pembacaan data misalkan sensor optik yang memungkinkan drone terbang di dalam ruangan maupun sensor jarak untuk membaca halangan di depannya serta masih banyak lagi sesuai kebutuhan dari pengguna.

Autopilot ini tentu saja dihubungkan dengan *remote control* (*Transmitter* dan *Receiver*) sehingga pilot dapat mengendalikan kapan pesawat terbang otomatis maupun manual dengan remote (*Transmitter*)

Berikut adalah skematik pada wahana berdasarkan komponen yang telah disebutkan diatas:



Gambar 2.24 Skematik Komponen
(Sumber: dokumen pribadi)

2.6 Rumus-rumus Perancangan Pesawat UAV

Dalam perancangan UAV menggunakan rumus empiris atau rumus yang didapat dari *trial and error* pada pengujian dilapangan.

a. *Wing*

Wing span dan *wing chord* merupakan bagian struktur yang pertama kali ditentukan dimensinya. Karena area dari wing sangat berpengaruh dalam penentuan kestabilan dan bermanuver dari UAV. *Wing span* merupakan jarak dari *wing tip* ke *wing tip*, sedangkan *wing chord* merupakan jarak dari *leading edge* sampai *trailing edge*. Untuk mencari kedua ukuran tersebut, kita harus menentukan *aspect ratio* dari wing. *Aspect ratio* merupakan perbandingan antara *wing span* dan *wing chord*. *Aspect ratio* yang digunakan pada UAV ini adalah 6:1.

Setelah *aspect ratio*, kita perlu menentukan *wing span* atau *wing chord* yang diinginkan. Berikut hubungan antara *aspect ratio*, *wing span* dan *wing chord*.

$$\text{Aspect ratio} = \frac{\text{Wing Span}}{\text{Chord}} \dots\dots\dots (2.1, \text{Lit. 29})$$

Untuk *wing area*, dapat menggunakan rumus berikut.

$$\text{Wing Area} = \text{Wing Span} \times \text{Wing Chord} \dots\dots\dots (2.2, \text{Lit. 29})$$

b. *Fuselage*

Panjang keseluruhan dari *fuselage* pesawat secara umum adalah sekitar 70%-75% dari *wing span*. Jadi untuk menghitungnya dapat menggunakan rumus berikut.

$$\text{Fuselage length} = 70\% \times \text{wing span} \dots\dots\dots (2.3, \text{Lit. 29})$$

c. *Empennage*

Terdapat *tail span*, *tail chord* dan *tail area* yang harus dihitung untuk membuat suatu UAV.

Untuk menghitung *tail area* dapat menggunakan rumus berikut.

$$\text{Tail Area} = 20\% \times \text{Wing Area} \dots\dots\dots (2.4, \text{Lit. 29})$$

Untuk menghitung *tail span* dapat menggunakan rumus berikut.

$$Tail Span = 2 \times Wing Chord \dots\dots\dots (2.5, Lit. 29)$$

Untuk menghitung *tail chord* dapat menggunakan rumus berikut.

$$Tail Chord = \frac{Tail Area}{2 \times Wing Chord} \dots\dots\dots (2.6, Lit. 29)$$

d. Flight Control Surface

Flight Control Surface pada wahana ini meliputi *Aileron*, *Elevator*, dan *Rudder*.

Jenis *aileron* yang digunakan pada wahana UAV ini adalah *barn door aileron*.

Untuk menghitung *aileron* dapat menggunakan rumus berikut.

$$Aileron Chord = 25\% \times Wing Chord \dots\dots\dots (2.7, Lit. 29)$$

$$Aileron Span = \frac{1}{4} \times Wing Span \dots\dots\dots (2.8, Lit. 29)$$

Di dalam *elevator*, hanya *elevator chord* yang dihitung dengan menggunakan rumus berikut,

$$Elevator Chord = \frac{(35\% \times Tail Area)}{Tail Span} \dots\dots\dots (2.9, Lit. 29)$$

Untuk mencari ukuran *rudder*, pertama kita harus mencari *fin area*. *Fin area* dapat dihitung menggunakan rumus berikut.

$$Fin Area = 40\% \times Tail Area \dots\dots\dots(2.10, Lit. 29)$$

Setelah mendapat ukuran *fin area*, selanjutnya yaitu menentukan *rudder area*. *Rudder area* merupakan 35% dari *fin area*.

$$Rudder Area = 35\% \times Fin Area \dots\dots\dots(2.11, Lit. 29)$$

Lalu setelah mendapat ukuran *rudder area*, kita dapat mencari ukuran *fin height*, *fin width*, *rudder chord*, serta *rudder span*.

$$Fin Height = \frac{Rudder Area}{Rudder Chord} \dots\dots\dots(2.12, Lit. 29)$$

$$Fin Width = \frac{Fin Area}{Fin Height} \dots\dots\dots(2.13, Lit. 29)$$

$$Rudder Chord = Elevator Chord \dots\dots\dots(2.14, Lit. 29)$$

$$Rudder Span = Fin Height \dots\dots\dots(2.15, Lit. 29)$$

e. Center of Gravity

Pada umumnya CG terletak pada 25%-30% dari *wing chord*, yang diukur dari *leading edge*. CG dapat diatur dengan menggeser posisi komponen dalam model pesawat. Berikut perhitungan letak CG pada pesawat.

$$CG = (25\% - 30\%) \times Chord \dots\dots\dots(2.16, Lit. 29)$$

f. Wing Loading

Wing loading atau beban *wing* adalah perbandingan antara berat pesawat dengan luasan *wing*. Dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut.

$$Wing Loading = \frac{Weight}{Wing Area} \dots\dots\dots(2.17, Lit. 30)$$

g. Power Loading

Power loading merupakan perbandingan antara daya dengan berat UAV. karena UAV diharapkan terbang secara stabil dan mempunyai massa yang cukup berat maka *power loading* umum digunakan sebagai acuan sama untuk pesawat *glaider* dengan nilai 110 Watt/kg atau 0,11Watt/gr. Atau dapat dihitung menggunakan rumus berikut.

$$Power Loading = \frac{Power}{Weight} \dots\dots\dots(2.18, Lit. 30)$$

h. Motor

Setelah mendapatkan nilai *power loading*, selanjutnya dapat dicari *power motor* yang mampu menghasilkan *thrust* yang sesuai dengan berat UAV. Atau dapat dicari dengan rumus berikut.

$$Power Motor = \frac{Weight \times Power Loading}{Motor Efficiency \times Throttle Percent} \dots\dots\dots(2.19, Lit. 31)$$

Angka yang biasa digunakan pada efisiensi motor adalah 70%-85% dan persen *throttle* adalah 20%-50%.

i. Baterai

Parameter yang harus diperhatikan dalam pemilihan baterai adalah jumlah sel (S), *discharge* (C) dan kapasitas (mAh). Jumlah sel menentukan voltase dari baterai setiap satu sel baterai bernilai 3,7V.

Kemudian *discharge* memperlihatkan seberapa besar *rating* atau kecepatan arus yang dapat dikeluarkan, dan kapasitas menunjukkan berapa lama baterai tersebut dapat menyuplai komponen elektronik pada *ampere* tertentu. Rekomendasi baterai dapat dilihat pada spesifikasi *motor brushless*, nilai baterai yang digunakan umumnya bernilai 2S-4S. Nilai *ampere* dari baterai yang dipilih harus lebih besar atau sama dengan *ampere* yang dibutuhkan motor, jika lebih sedikit, maka baterai akan cepat panas dan rusak. Daya baterai yang dipilih disesuaikan dengan jarak terbang dan berat dari UAV semakin jauh dan berat UAV maka kapasitas baterai yang dibutuhkan juga semakin besar. Pemilihan baterai dengan kapasitas yang lebih besar dan sel yang lebih banyak memiliki harga yang lebih mahal.

Secara teoritis, rumus untuk mencari baterai yang sesuai, pertama harus konversi *mili Ampere hour* menjadi *Ampere hour*.

$$Ah = mAh/1000 \dots\dots\dots(2.20, \text{Lit. } 32)$$

Untuk mencari *Ampere* baterai yang cocok menggunakan rumus berikut.

$$\text{Amp Baterai} = Ah \times C \text{ baterai} \dots\dots\dots(2.21, \text{Lit. } 32)$$

Dengan hasil diatas, dapat ditentukan apakah *ampere* baterai mampu menyuplai *ampere* dari motor.

j. *Electronic Speed Control (ESC)*

Umumnya pada spesifikasi motor telah merekomendasikan nilai *ampere* dari ESC yang bisa dipilih. Dalam pemilihan ESC lebih baik memilih ESC yang melebihi nilai *ampere* yang direkomendasi oleh *motor brushless*. Karena bila memilih nilai *ampere* minimum ESC bisa *overheat* dan terbakar. Berikut perhitungan nilai maksimum *ampere* ESC yaitu.

$$\text{Heat Lost } 10\% = \text{Amp Motor} \times 10\% \dots\dots\dots(2.22, \text{Lit. } 32)$$

$$\text{Amp} = \text{Amp Motor} + \text{heat lost } 10\% \dots\dots\dots(2.23, \text{Lit. } 32)$$

Dari nilai diatas maka dapat ditentukan nilai ESC yang akan digunakan dengan menambahkan nilai aman 10-20% dari *max current*, yakni.

$$Amp_{ESC} = Amp + (Amp \times 10\%) \dots\dots\dots(2.24, \text{Lit. 32})$$

2.7 Pengertian Perawatan

Perawatan adalah suatu kegiatan yang tujuan untuk menjaga peralatan/mesin agar dapat berfungsi seperti yang direncanakan. Adapun cara menjaga alat adalah dengan merawat alat tersebut secara kontinyu atau secara periodik yang teratur, sesuai waktu yang dijadwalkan. (Lit. 1)

2.7.1 Jenis Perawatan

Pada umumnya kegiatan perawatan dibagi menjadi dua yaitu perawatan terencana (*planned maintenance*) dan perawatan tidak terencana (*unplanned maintenance*). Perawatan terencana merupakan kegiatan perawatan yang pada dasarnya memiliki perencanaan dalam hal ini perawatan yang dilakukan dengan pertimbangan untuk jangka panjang, terkontrol dan tercatat. Sedangkan perawatan tidak terencana merupakan kegiatan perawatan yang dilaksanakan secara tiba-tiba atau tanpa diduga sebelumnya. (Lit. 2)

2.7.2 Perawatan Terencana (*Planned Maintenance*)

Planned Maintenance (perawatan Terencana) adalah perawatan yang diorganisasi dan dilakukan dengan pemikiran ke masa depan, pengendalian dan pencatatan sesuai dengan rencana yang telah ditentukan sebelumnya. (Lit. 4)

Perawatan terencana (*planned maintenance*) terdiri dari 3 macam :

1. Perawatan Pencegahan (*Preventive Maintenance*)

Preventive maintenance adalah perawatan yang dilakukan pada selang waktu yang diuraikan dan dimaksudkan untuk mengurangi mengurangi kemungkinan bagian-bagian lain tidak memenuhi kondisi yang bisa diterima.

Ruang lingkup pekerjaan preventif termasuk inspeksi, perbaikan kecil, pelumasan dan penyetelan, sehingga peralatan atau mesin-mesin selama beroperasi terhindar dari kerusakan. Secara umum tujuan dari *preventive maintenance* adalah sebagai berikut :

- a. Meminimumkan *downtime* serta meningkatkan efektifitas mesin/peralatan dan menjaga agar mesin dapat berfungsi tanpa ada gangguan.
- b. Meningkatkan efisiensi dan untuk ekonomis mesin/peralatan.

2. *Corrective Maintenance*

Corrective maintenance (perawatan perbaikan) adalah perawatan yang dilakukan untuk memperbaiki suatu bagian termasuk penyetelan dan reparasi yang telah terhenti untuk memenuhi suatu kondisi yang bisa diterima. Dalam perbaikan dapat dilakukan peningkatan-peningkatan sedemikianrupa, seperti melakukan perubahan atau modifikasi rancangan agar peralatan menjadi lebih baik. Perawatan ini bertujuan untuk mengubah mesin sehingga operator yang menggunakan mesin tersebut menjadi lebih mudah dan dapat memperkecil kerusakan mesin.

3. Perawatan Perbaikan (*Predictive Maintenance*)

Predictive maintenance adalah perawatan pencegahan yang diarahkan untuk mencegah kegagalan (*failure*) suatu sarana, dan dilaksanakan dengan memeriksa mesin-mesin tersebut pada selang waktu yang teratur dan ditentukan sebelumnya, pelaksanaan tingkat reparasi selanjutnya tergantung pada apa yang ditemukan selama pemeriksaan. Bentuk perawatan terencana yang paling maju ini disebut perawatan prediktif, dan merupakan teknik penggantian komponen pada waktu yang sudah ditentukan sebelum terjadi kerusakan, baik berupa kerusakan total ataupun titik dimana pengurangan mutu telah menyebabkan mesin bekerja dibawah standar yang ditetapkan oleh pemakaian. Bagaimanapun baiknya suatu mesin dirancang, tidak bisa dihindari lagi pastiterjadi sejumlah

keausan dan memburuknya kualitas mesin. Sesudah mengoptimalkan desain untuk mesin dengan metode perancangan pengurangan perawatan, tetap saja kita masih mengetahui bahwa bagian-bagian mesin akan aus, berkurang kualitasnya dan akhirnya rusak dengan tingkat yang dapat diramalkan jika dipakai pada kondisi penggunaan normal konstan. (Lit. 3)

2.7.3 Perawatan Tak Terencana (*Unplanned Maintenance*)

Pada *unplanned maintenance* hanya ada satu jenis perawatan yang dapat dilakukan yaitu *emergency maintenance*. *Emergency maintenance* adalah perawatan yang dilakukan seketika mesin mengalami kerusakan yang tidak terdeteksi sebelumnya. *Emergency maintenance* dilakukan untuk mencegah akibat serius yang akan terjadi jika tidak dilakukan penanganan segera. Adanya berbagai jenis perawatan di atas diharapkan dapat menjadi *alternative* untuk melakukan pemeliharaan sesuai dengan kondisi yang dialami di perusahaan. Sebaiknya perawatan yang baik adalah perawatan yang tidak mengganggu jadwal produksi atau dijadwalkan sebelum kerusakan mesin terjadi sehingga tidak mengganggu produktivitas mesin. Adanya berbagai jenis perawatan di atas diharapkan dapat menjadi alternatif untuk melakukan perawatan sesuai dengan kondisi yang dialami di perusahaan. Sebaiknya perawatan yang baik adalah perawatan yang tidak mengganggu jadwal produksi atau dijadwalkan sebelum kerusakan mesin terjadi sehingga tidak mengganggu produktivitas mesin. (Lit. 3)

2.7.4 Tujuan Perawatan

Definisi Tujuan Perawatan, adalah sebagai berikut :

1. Memperpanjang usia kegunaan asset (yaitu setiap bagian dari suatu tempat kerja, bangunan serta isinya).
 2. Untuk menjamin kesiapan operasional dari keseluruhan peralatan/mesin.
 3. Untuk menjamin keselamatan orang yang menggunakan peralatan itu.
- (Lit. 3)

2.7.5 Aktifitas Perawatan

Aktivitas-aktivitas utama dalam perawatan dan perbaikan adalah sebagai berikut:

a. Perencanaan dan Penjadwalan

Hal ini mengenai tentang apa yang dipelihara, bagaimana memelihara dan kapan dipelihara, sehingga seluruh kegiatannya berjalan dengan lancar.

b. Pembersihan

Pembersihan bagian-bagian mesin dan perlengkapan adalah salah satu kegiatan pemeliharaan yang terpenting dan suatu tugas yang harus dikerjakan oleh operator. Kegiatan pembersihan sebaiknya dilakukan sebelum dan sesudah melakukan kegiatan, baik pada saat operasi maupun pada saat melakukan perawatan.

c. Pelumasan

Pelumasan harus dianggap sama pentingnya seperti pemeliharaan preventif ketidak misalnya tepatan pelumasan,tingkat pelumasan, Penyebab utama kegagalan mesin-mesin adalah terlalu sedikit pelumasan atau tidak ada pelumasan.

d. Inspeksi

Dalam inspeksi ada dua macam tes yaitu tes ketelitian dan penampilan. Tes ketelitian merupakan keperluan utama untuk alat-alat mesin dan dilaksanakan pada saat sebelum atau sesudah pemakaian. Sedangkan tes penampilan adalah penilaian terhadap sebuah komponen mesin secara keseluruhan.

e. *Check up*

Aktivitas ini meliputi seluruh ukuran-ukuran pemeliharaan preventif lainnya seperti *check up* yang teratur, pemeriksaan dan perbaikan yang sebelumnya direncanakan. Aktivitas ini termasuk juga pengontrolan, dimana meliputi jadwal-jadwal waktu perawatan, pekerjaan perawatan dan perbaikan, dan ketelitian. (Lit. 3)

2.7.6 Hal-hal Penting Dalam Perawatan

Ada beberapa hal penting yang harus diperhatikan dalam perawatan, antara lain:

- a. Aktivitas perawatan merupakan suatu hal yang penting dan harus dilakukan dengan sebaik-baiknya. Maka dalam melaksanakan aktivitas perawatan perlu diperhatikan petunjuk dan pengalaman, serta jadwal yang telah ditentukan.
- b. Perlu diperhatikan pula pada proses perawatan, hendaknya biaya ditetapkan serendah-rendahnya, tanpa mengurangi arti dari perawatan itu sendiri.
- c. Untuk kelancaran aktivitas perawatan diperlukan adanya organisasi, perencanaan, penjadwalan dan pengendalian biaya sebaik-baiknya.
- d. Kerja sama yang baik antara pemakai mesin dengan bagian perawatan, sehingga proses perawatan dapat berjalan dengan lancar dan dapat mencapai target dan sarannya.
- e. Perawatan alat/mesin sifatnya adalah kontinyu dan harus dapat terbaca tentang riwayat yang menyangkut perawatannya.
- f. Untuk menghindari hal-hal yang dapat menimbulkan kesalahan atau kerugian perlu ditegaskan bahwa pemakai mesin tidak diperbolehkan melakukan perbaikan, penyetelan dan penggantian sendiri, tanpa sepengetahuan bagaian perawatan. Kualitas perawatan alat/mesin dapat dicapai apabila fasilitas perawatan cukup memadai. (Lit.3)

2.8 Pengertian Perbaikan

Perbaikan adalah usaha pengembalian suatu kondisi peralatan/mesin yang telah mengalami kerusakan atau penurunan fungsi sehingga menjadi tetap, atau mendekati keadaan semula. Proses ini tidak menuntut penyamaan kondisi sesuai kondisi awal, yang diutamakan adalah alat tersebut bisa berfungsi normal kembali. Dalam pemeliharaan komponen-komponen pada suatu alat terdapat perbedaan dalam perawatan dan perbaikan, karena adanya perbedaan dalam

bentuk, fungsi, konstruksi dan sebagainya, yang disesuaikan dengan data-data teknis dan spesifikasi dari alat tersebut.(Lit. 5)

2.8.1 Jenis Perbaikan

Walaupun suatu alat/mesin telah dilakukan perawatan secara rutin dan teratur, pasti akan ada salah satu komponen alat/mesin yang mengalami kerusakan. Maka hal ini memerlukan suatu cara untuk memperbaiki komponen mesin yang mengalami kerusakan sehingga peralatan tersebut berguna dan berfungsi kembali seperti semula. Dalam melakukan perbaikan terhadap kerusakan yang terjadi pada komponen-komponen, menurut jenisnya kerusakan dapat digolongkan menjadi dua jenis, yaitu:

1. Kerusakan yang dapat diperbaiki

Jenis ini merupakan kerusakan mengenai volume dari komponen tidak berubah hanya bentuk dan kondisi saja hingga dapat diperbaiki dengan mengembalikannya pada posisi dan bentuk semula.

2. Kerusakan yang tidak dapat diperbaiki

Jenis ini merupakan kerusakan dimana volume dari komponen berubah, sehingga tidak dapat digunakan lagi. Maka solusinya adalah dengan penggantian terhadap komponen tersebut.(Lit. 5).