

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Kajian Pustaka

Utomo (2013) menyatakan bahwa dari hasil perhitungan aerodinamika pesawat model *Solfix-Uav* memiliki Aspek rasio  $Ar_{sayap} = 6,87$ , efisiensi sayap = 89 %,  $C_L = 1,21$ ,  $C_D = 0,15$ ,  $Re = 3,69 \times 10^4$ , kecepatan jelajah = 2,19 m/s, dan kecepatan terbang optimum = 7,39 m/s. Hasil perancangan tersebut merupakan sebagai dasar pembuatan pesawat *Solfik-Uav*.

Wahyudin (2008) menyatakan bahwa pemilihan pesawat yang tepat untuk pengamatan udara adalah jenis *trainer*. Pesawat model jenis *trainer* ini memiliki bentang sayap yang luas sehingga lebih stabil dan gaya angkat yang dihasilkan besar.

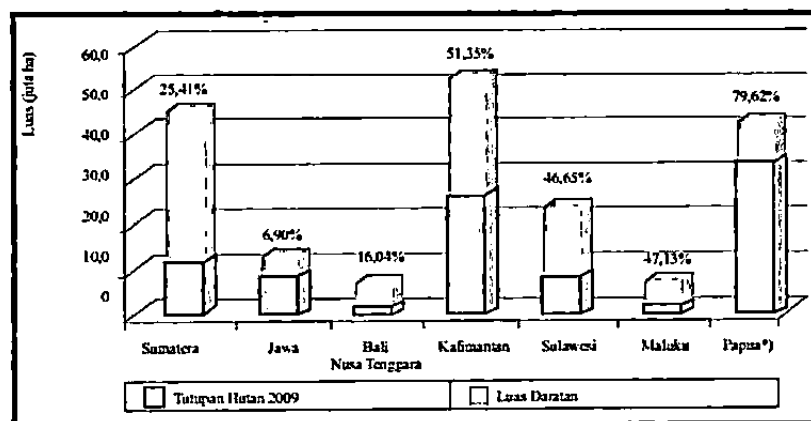
Adapun karya ilmiah ini berbeda dengan karya-karya ilmiah yang ada sebelumnya seperti telah disebutkan diatas. Dalam hal ini belum ditemukan karya ilmiah yang berkaitan dengan perancangan pesawat model untuk keperluan reboisasi hutan, yang ada hanyalah pembuatan pesawat model untuk pengamatan udara dan pemantau kebakaran hutan.

### 2.2. Tinjauan Pusataka

Pengertian dan definisi dari kerusakan hutan adalah berkurangnya luasan area hutan karena kerusakan ekosistem hutan yang sering disebut *degradasi* hutan ditambah juga penggundulan dan alih fungsi lahan hutan atau istilahnya *deforestasi*. Studi CIFOR (*The Center For International Forestry Research*) menelaah tentang penyebab perubahan tutupan hutan yang terdiri dari perladangan berpindah, perambahan hutan, transmigrasi, pertambangan, perkebunan, hutan tanaman, pembalakan dan industri per kayu. Selain itu kegiatan *illegal logging* yang dilakukan oleh kelompok profesional atau penyelundup yang didukung secara *illegal* oleh oknum-oknum pemerintah. Pembukaan area hutan untuk

kerusakan hutan. Hutan yang didalamnya terdapat beranekaragam jenis pohon dirubah menjadi tanaman monokultur, menyebabkan hilangnya *biodiversitas* dan keseimbangan ekologis di area tersebut. Beberapa jenis satwa yang menjadikan hutan tersebut sebagai habitatnya akan berpindah mencari tempat hidup yang lebih sesuai. Pembukaan lahan untuk perkebunan kelapa sawit pada area hutan tropis merupakan salah satu pemicu terjadinya kebakaran hutan dan berdampak negatif terhadap emisi gas rumah kaca (Irwanto, 2013).

Hasil analisis tutupan hutan oleh FWI (*Forest Wacht* Indonesia) menunjukkan bahwa pada tahun 2009 luas daratan Indonesia adalah 190,31 juta ha, sementara luas tutupan hutannya adalah 88,17 juta ha atau sekitar 46,33 persen dari luas daratan Indonesia (Sumargo, 2011). Namun tutupan hutan ini tidak tersebar secara proporsional di seluruh pulau di Indonesia. Persentase luas tutupan hutan terhadap luas daratan di Provinsi Papua dan Papua Barat adalah 79,62 persen, Kalimantan 51,35 persen, Sulawesi 46,65 persen, Maluku 47,13 persen, Sumatera 25,41 persen, Bali-Nusa Tenggara 16,04 persen, dan Jawa 6,90 persen. Persentase luas tutupan hutan terhadap luas daratan diberbagai provinsi dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1. Perbandingan Luas Tutupan Hutan terhadap Luas Daratan Indonesia Tahun 2009 (FWI.or.id, 2013)

Kerusakan hutan di Indonesia yang cukup parah mendorong pemerintah dan berbagai pihak untuk mencari solusi pencegahan dan penanggulangannya.

kerusakan hutan yaitu dengan teknik *aeroseeding* (penebaran benih melalui udara). Teknik *aeroseeding* pertama kali dilaksanakan pada tahun 2006 di wilayah pegunungan Kabupaten Ngawi. Hasil monitoring sampai dengan tahun 2008, benih yang telah disebar sudah mencapai ketinggian 1,5 - 2,5 meter dengan tingkat prosentase keberhasilan mencapai  $\pm 50\%$  -  $60\%$  (LIPI, 2010).

Teknik *aeroseeding* yang dilakukan oleh TNI tersebut menggunakan pesawat jenis C-212 Casa dengan kemampuan angkut 1.500 kg / flight (Sorti) dan kecepatan  $\pm 300$  km/jam akan dapat menyelesaikan pekerjaan *aeroseeding* lebih cepat dibandingkan dengan menggunakan sarana lain, dengan *endurance*  $\pm 4$  jam diudara dan *radius of action*  $\pm 1.200$  km, maka *aeroseeding* dengan menggunakan pesawat C-212 Casa dapat dilaksanakan dimana saja tanpa harus menggeser sarana pendukung menuju titik pendekat ke sasaran, sehingga efisiensi transportasi dapat diminimalis. Dengan *manouverable* yang bagus pesawat C-212 Casa dapat melaksanakan *aeroseeding* di tempat-tempat dengan medan yang berat dan medan yang tidak terjangkau sekalipun (LIPI, 2010).

### 2.3. Reboisasi Hutan di Indonesia

Reboisasi adalah penanaman kembali hutan yang telah ditebang sehingga menjadi tandus dan gundul (*wikipedia*, 2013). Reboisasi berguna untuk meningkatkan kualitas kehidupan manusia dengan menyerap polusi dan debu dari udara, membangun kembali habitat dan ekosistem alam, mencegah pemanasan global dengan menangkap karbondioksida dari udara, serta dimanfaatkan hasilnya. Salah satu jenis yang tepat untuk reboisasi yaitu kayu Sengon.

Kayu Sengon (*Paraserianthes falcataria*) dapat mencapai ukuran tinggi 40 meter, tinggi batang bebas cabang 20 meter. Daun Sengon yang berwarna hijau pupus berfungsi untuk memasak makanan sekaligus sebagai penyerap nitrogen dan karbon dioksida dari udara bebas. Perkembangbiakan Sengon melalui benih yang berbentuk pipih, lonjong berukuran 3 - 4 mm x 6 - 7 mm, berwarna hijau dan bagian tengah berwarna coklat dengan daya berkecambah rata-rata 80%. Berat 1000 butir benih Sengon sekitar 16 -26 gram (Sanoesi, 2013). Kayu Sengon

rumah tangga, tangkai dan kotak korek api, kertas dan lain-lain. Dengan dimensi benih yang kecil dan kayu Sengon sangat bermanfaat maka benih Sengon sangat cocok digunakan untuk reboisasi hutan dengan metode *aeroseeding*.

#### **2.4. Manfaat Reboisasi Hutan**

Adapun manfaat reboisasi hutan adalah sebagai berikut (Rifhani, 2011) :

a. Penghasil kayu bangunan

Dihutan tumbuhan beraneka spesies pohon yang menghasilkan kayu dengan berbagai kualitas dan ukuran yang dapat digunakan untuk bahan bangunan.

b. Sumber hasil hutan Non-kayu

Tingkat biodiversitas hutan alami sangat tinggi dan memberikan manfaat bagi manusia yang tinggal disekeliling hutan.

c. Cadangan karbon

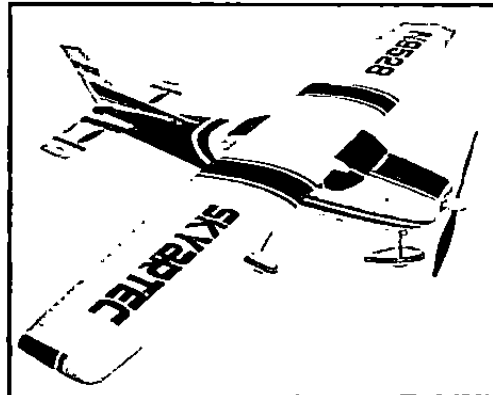
Salah satu fungsi hutan yang penting adalah sebagai cadangan karbon dialam karena karbon disimpan dalam bentuk biomassa vegetasinya.

d. Habitat bagi fauna

Konversi hutan menjadi bentuk penggunaan lahan lainnya akan menurunkan populasi flora dan fauna yang sensitif.

#### **2.5. Pesawat Model**

Pesawat model adalah pesawat terbang yang tidak dikendalikan atau dikendarai langsung oleh manusia (Atmoko,1991). Pesawat model biasanya hanya digunakan pada misi-misi tertetntu dan percobaan yang akan dilakukan. Pesawat model dapat juga berupa konsep, model, prototipe dan rancangan dari pesawat sebenarnya. Contoh pesawat model dapat dilihat pada gambar 2.2. Pada prinsipnya pesawat model sama dengan pesawat terbang sungguhan tetapi dalam

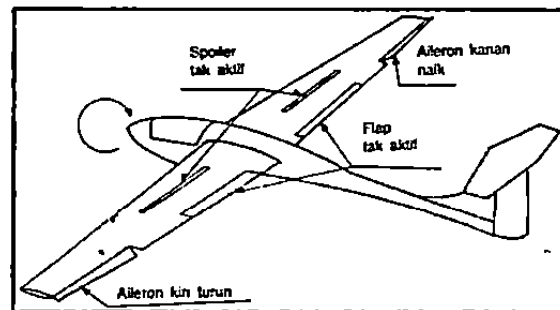


Gambar 2.2. Pesawat Model Cessna (rchelicopterselect.com, 2013)

Secara garis besar pesawat model dibagi menjadi 3 bagian yaitu, sayap, badan pesawat (*body*) dan ekor (vertikal dan horisontal).

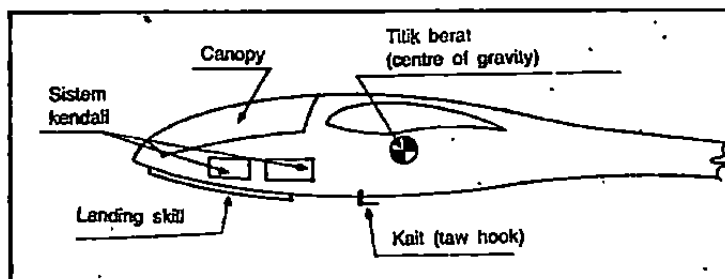
- a. Sayap (*wing*) merupakan komponen pesawat yang terpenting dan bertujuan untuk menghasilkan gaya angkat yang optimum dengan gaya tahan yang sekecil-kecilnya. Sayap memiliki bentuk *airfoil* pada penampangnya juga dinamai sebagai penguat gaya dorong, karena gaya angkat yang dihasilkan dapat beberapa kali lebih besar dari gaya tahan yang harus diatasi oleh gaya dorong motor propulsi. Sayap sering dilengkapi dengan peralatan lain seperti *flap*, *slat*, *aileron* ataupun *spoiler*. *Flap* adalah bagian belakang sayap yang dapat digerakkan untuk memperbesar gaya angkat. *Slat* adalah komponen kecil yang diletakkan dimuka sayap dengan jarak tertentu sedemikian rupa sehingga semburan udara pada celah antara *slat* dan sayap akan dapat mencegah terjadinya *stall* (mogok) pada saat sayap bekerja dengan sudut serang yang besar. *Aileron* adalah kemudi guling yang merupakan bagian sayap yang dapat digerakkan dan terletak di sisi belakang sayap serta ditujukan untuk dapat memiringkan tubuh pesawat ke kiri atau ke kanan. *Aileron* pada suatu sisi akan bergerak berlawanan dengan aileron pada sisi sayap lainnya. *Aileron* biasanya diletakkan di tepi sayap. Bagian sayap lain yang sering terdapat pada pesawat layang adalah *spoiler*. *Spoiler* berfungsi sebagai rem

udara bagian atas sayap sehingga menghilangkan gaya angkat pada sayap. Bagian-bagian pesawat tersebut terlihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3. Bagian-Bagian Pesawat (Atmoko, 1991)

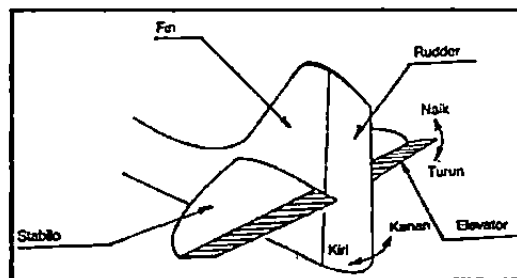
- b. Badan pesawat (*body*) merupakan komponen pesawat yang menghubungkan sayap dengan ekor pesawat, tempat meletakkan berbagai peralatan kendali, serta komponen yang bertugas untuk menyentuh darat pertama kali pada saat mendarat. Mengingat tugas *body* yang sedemikian itulah, maka konstruksinya harus cukup kaku (*rigid*), kuat dan tahan gesekan. Pada badan pesawat ini terdapat bagian penting yang disebut titik berat *center of gravity* (CG). Pada prinsipnya titik berat ini merupakan titik tempat resultan gaya berat yang bekerja pada seluruh bagian pesawat. Letak CG dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4. *Center of Gravity* (Atmoko, 1991)

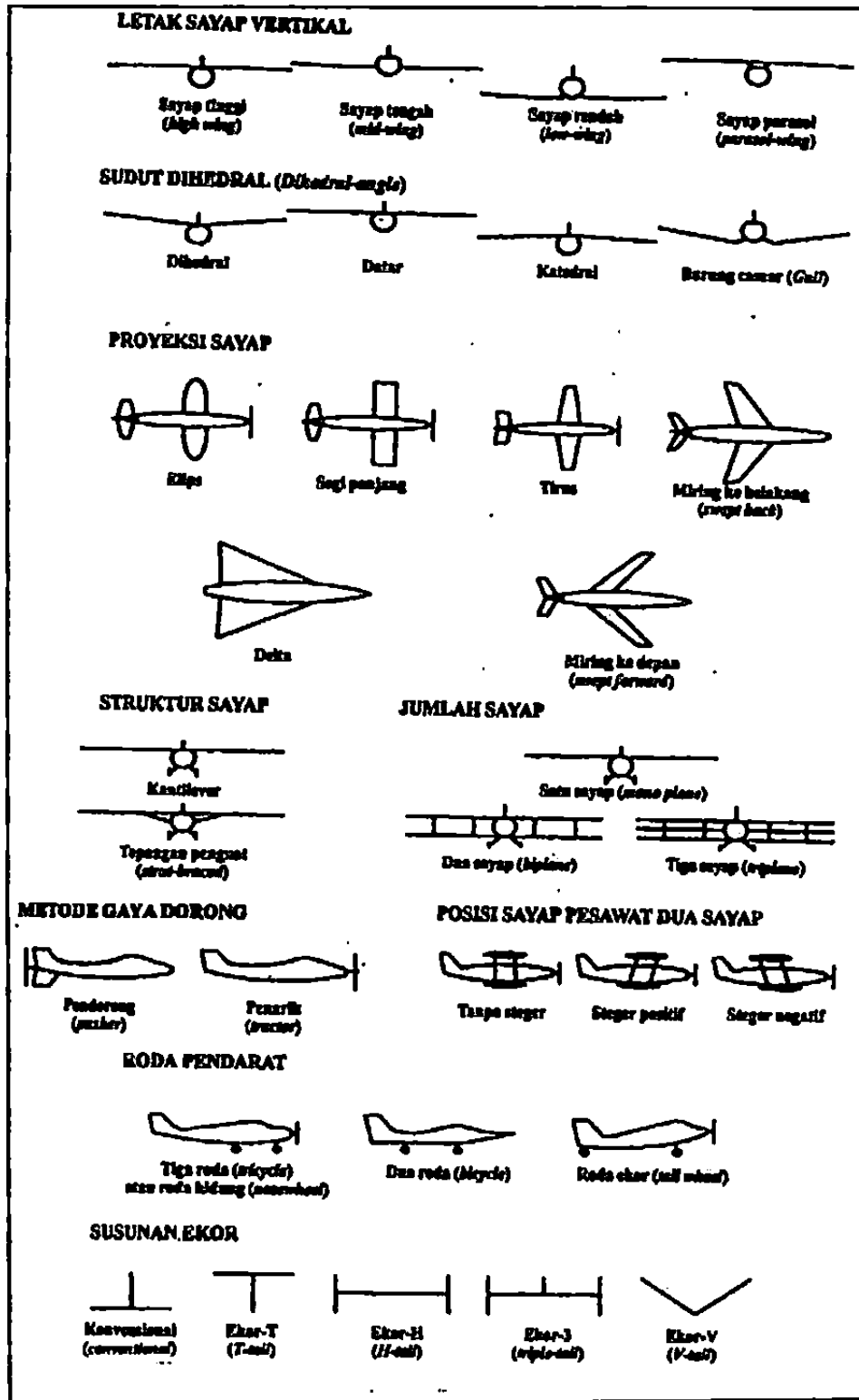
- c. Ekor (vertikal dan horisontal) merupakan komponen pokok untuk memperoleh kestabilan terbang yang baik dalam arah longitudinal (angguk) maupun direksional (geleng). Untuk perangkat kestabilan longitudinal dikenal ekor horisontal (*horizontal stabilizer*) yang lebih

perangkat yang dapat digerakkan secara rotasi naik dan turun yang dikenal sebagai *elevator*. Ekor vertikal (*vertical stabilizer*) yang sering disebut dengan *fin* berfungsi untuk menstabilkan arah (direksional) dan sering dilengkapi dengan kemudi arah (*rudder*) dibagian belakangnya. Gambar ekor horisontal dan vertikal dapat dilihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.5. Ekor Vertikal dan Horisontal (Atmoko, 1991)

Konfigurasi pesawat model merupakan bentuk dasar dari pesawat,

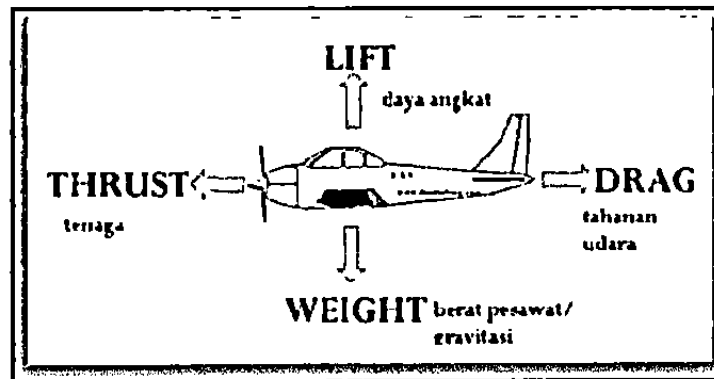




### 2.5.1. Prinsip Dasar Aerodinamika Pesawat

Pada umumnya pesawat terbang dapat mengangkasa jika memiliki hal-hal sebagai berikut (Atmoko, 1991) :

- a. Gaya angkat (*lift force*).
- b. Gaya dorong (*drag force*).
- c. Keseimbangan dalam penerbangan.



Gambar 2.7. Prinsip Dasar Aerodinamika (Tanurjaya, 2009)

Dari mekanika dapat diketahui bahwa gaya adalah suatu besaran yang menyatakan besar kecilnya kekuatan tarikan atau dorongan yang diterapkan pada suatu benda. Seluruh benda yang ada di alam ini umumnya mengikuti Hukum Newton. Hukum Newton menyatakan bahwa suatu benda akan tetap diam atau bergerak dengan kecepatan yang tetap, jika resultan gaya yang bekerja pada benda tersebut sama dengan 0 (nol). Gaya-gaya yang bekerja pada pesawat terbang disaat mengudara dapat dilihat pada (gambar 2.7.), gaya-gaya tersebut meliputi (Adiwibawa, 2013) :

- a. Gaya angkat (*lift force*), adalah gaya yang melawan *weight*. *Lift* mengangkat pesawat secara vertikal ke atas. *Lift* dihasilkan oleh dinamika aliran udara yang bekerja pada pesawat.
- b. Gaya hambat (*drag force*), adalah gaya yang menahan pesawat untuk maju. Arahnya berlawanan dengan *thrust* dan dihasilkan dari pecahnya

- c. Gaya berat (*weight force*), adalah gaya yang terjadi pada total seluruh massa pesawat (kru, bahan bakar, kargo, bagasi, pesawat itu sendiri, dll). Gaya ini mengarah ke bawah karena dipengaruhi oleh gravitasi bumi atau melawan *lift*.
- d. Gaya dorong (*thrust force*), adalah gaya yang mendorong pesawat maju. Gaya tersebut berada pada aksis longitudinal dan dihasilkan dari *powerplan /propeller* pesawat (misalnya baling-baling di bagian depan pesawat) yang mendorong aliran udara melalui (sayap) pesawat. Aliran udara inilah yang nantinya akan mengangkat pesawat naik.

### 2.5.2. Mekanika Terbang Pesawat

Berdasarkan sifat gerakan pesawat terbang, dinamika pesawat terbang dikelompokkan menjadi dua model dinamik yaitu dinamika lateral-direksional dan dinamika longitudinal (Roskam, 2001).

- a. Dinamika lateral-direksional, gerak yang menggambarkan dinamika gerakan pesawat terbang untuk gerakan mendarat yang meliputi gerakan berbelok. Pada gerak lateral-direksional hanya dua kontrol defleksi yang berpengaruh pada respon gerak pesawat yaitu *aileron* (lateral) dan *rudder* (direksional).
- b. Dinamika longitudinal, gerak yang menggambarkan dinamika gerakan pesawat terbang untuk gerakan dalam arah vertikal misalnya mendaki atau menukik. Pada gerak longitudinal hanya satu kontrol defleksi yang berpengaruh pada respon gerak pesawat yaitu *elevator* (*stabilo horizontal*).

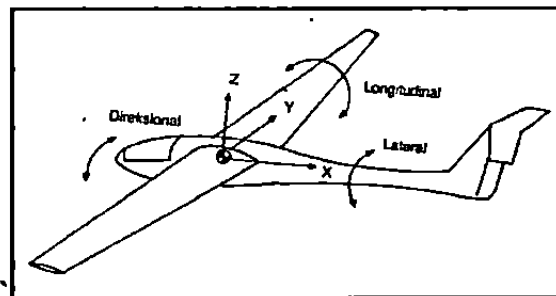
### 2.5.3. Stabilitas Terbang Pesawat

Pesawat terbang ketika mengudara dapat dinyatakan sebagai suatu benda yang berada dalam ruang tiga dimensi. Oleh karena itu, maka pesawat terbang memiliki kebebasan arah dalam tiga dimensi pula. Dalam penerbangan sangatlah penting untuk membuat sebuah pesawat dapat terbang dengan stabil, sebab

gerakan translasi pada pesawat. Ilustrasi stabilitas terbang pesawat dapat dilihat pada gambar 2.8.

Gerakan rotasi dapat terjadi jika pada benda yang bergerak rotasi terdapat suatu momen. Untuk mengatasi gerakan rotasi tersebut, maka jumlah momen yang bekerja pada benda tersebut adalah harus sama dengan nol (Atmoko, 1991). Gangguan kestabilan yang terjadi pada pesawat dapat diuraikan menjadi tiga gerakan yaitu :

- a. Sumbu Y yang selanjutnya disebut kestabilan longitudinal, pada saat pesawat mengangguk.
- b. Sumbu X yang selanjutnya disebut kestabilan lateral, pada saat pesawat berguling terhadap sumbu memanjangnya.
- c. Sumbu Z yang selanjutnya disebut kestabilan direksional, pada saat pesawat menggeleng.



Gambar 2.8. Stabilitas Terbang Pesawat (Atmoko, 1991)

Gaya stabilisator untuk menstabilkan pesawat saat terbang berasal dari ekor pesawat. Udara yang melewati bidang ekor vertikal (*fin*) berfungsi untuk mengimbangi gerak gelengan pesawat, sedang kan udara yang melewati bidang ekor horisontal (*stabilo*) berfungsi untuk mengimbangi gerak anggukan pesawat.

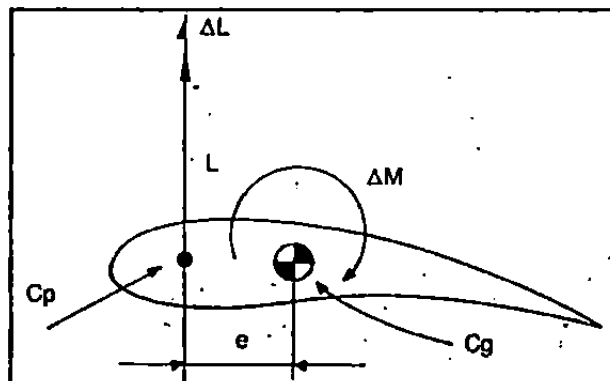
Stabilitas yang diperlukan untuk mengimbangi gulingan pesawat saat terbang berasal dari sayap (*aileron*). Saat pesawat cenderung miring ke kiri, maka sayap bagian kanan akan lebih tinggi dari sayap kiri yang turun. Dalam posisi

angkat yang terjadi akan menggulingkan pesawat kembali terbang dengan posisi datar.

Momen yang bekerja pada CG arah longitudinal (mengganggu) ditunjukkan pada gambar 2.9.

$$M = L \cdot e \dots\dots\dots(2.1)$$

$$M = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot S \cdot e \cdot C_L$$

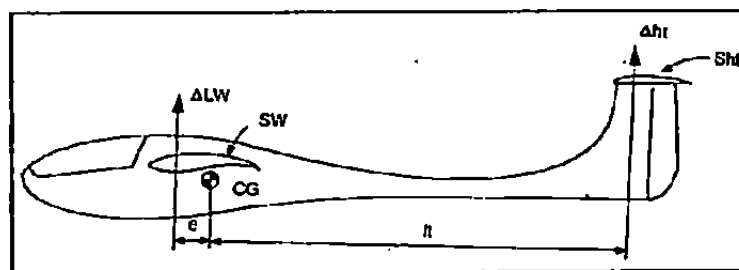


Gambar 2.9. Momen yang Bekerja pada CG (Atmoko, 1991)

Pesawat akan stabil jika ( lihat gambar 2.10. ) :

$$M_{CG \text{ hor tail}} > M_{CG \text{ wing}}$$

$$\text{atau } S_{ht} \cdot l_t > S_w \cdot e$$



Gambar 2.10. Penentuan Kestabilan Pesawat (Atmoko, 1991)

Fungsi ekor sangat berguna untuk menetralkan momen anggukan dari sebuah pesawat terbang. Sebenarnya, variabel yang lebih penting adalah luas ekor dan panjang lengan ekor. Untuk itu dikenal volume ekor, yang merupakan perkalian antara luas ekor dan panjang lengan ekor.

Jika dibandingkan dengan variabel pada sayap, diperoleh :

$$\text{Rasio volume ekor} = \frac{S_{ht} \cdot l_t}{S_w \cdot C} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

- $S_{ht}$  = luas ekor
- $l_t$  = lengan ekor
- $S_w$  = luas sayap
- $C$  = korda (lebar sayap)

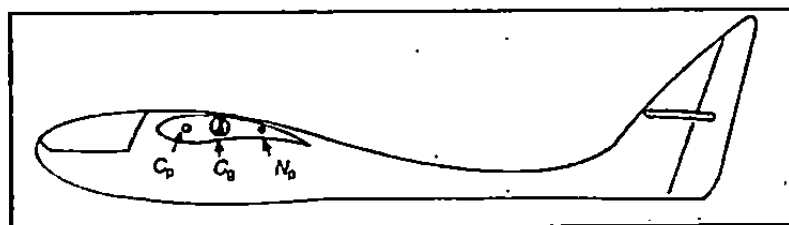
Untuk merancang pesawat yang memiliki kestabilan longitudinal, rasio volume ekor horisontal pesawat ( gambar 2.11. ) kita buat berharga :

$$V_{ht} = 0,4 \text{ s/d } 1,0$$

Terdapat faktor lain pada ekor yaitu efisiensi ekor. Besarnya efisiensi ekor didapat dari perbandingan antara tekanan yang terjadi pada ekor dengan tekanan yang terjadi pada sayap.

$$\tau_T = \frac{q_T}{q}, \tau_T < 1 \dots\dots\dots(2.4)$$

Biasanya efisiensi ekor ini akan berharga kurang dari 1. Titik terbelakang yang dapat ditempati oleh titik berat dengan tanpa menghilangkan kestabilan pada pesawat dikenal sebagai titik netral (*neutral point*). Titik berat yang terletak di depan titik netral menandakan bahwa pesawat tersebut akan stabil. Sebaliknya jika titik berat diletakkan di belakang titik netral maka pesawat menjadi tidak stabil. Oleh sebab itu, dalam perancangan pesawat agar stabil maka peletakan titik berat harus di depan titik netralnya (gambar ).  $C_p$  adalah *center of pressure*,  $C_g$  adalah *center of gravity* dan  $N_p$  adalah *neutral point*.



Gambar 2.11. Titik Stabilitas Longitudinal (Atmaka, 1991)

Seperti kestabilan longitudinal, maka terdapat kestabilan lateral-direksional yang dikenal dengan istilah rasio volume ekor vertikal (gambar 2.12.).

$$V_{vs} = \frac{S_{vs} \cdot l_{vs}}{S_w \cdot b} \dots\dots\dots(2.6)$$

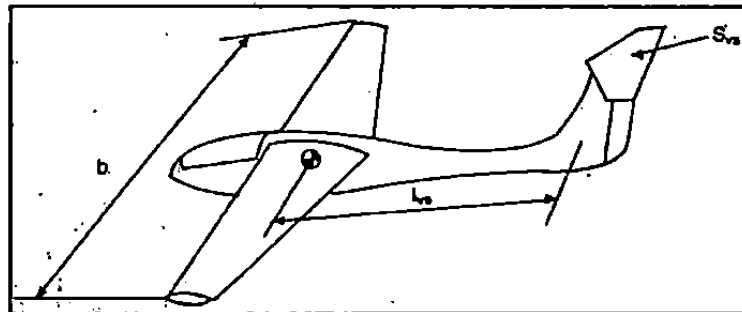
Dimana :

$S_{vs}$  = luas ekor vertikal

$S_w$  = luas sayap

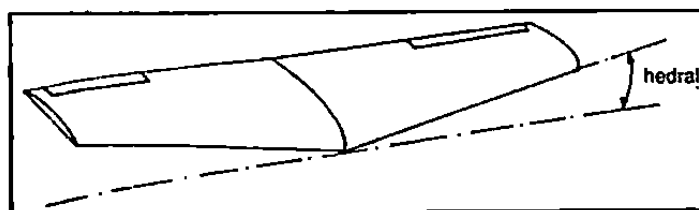
$l_{vs}$  = lengan ekor vertikal

$b$  = bentang sayap



Gambar 2.12. Penentuan Volume Ekor Vertikal (Atmoko, 1991)

Untuk mendapatkan kestabilan lateral direksional (gambar 2.13.), harga rasio volume ekor pesawat antara 0,01 s/d 0,05. Selain itu, untuk mendapatkan kestabilan pesawat dipasang sudut hedral atau dapat juga diberi kemudi guling (*aileron*) pada sayap. Besar sudut hedral pada pesawat tergantung pada kebutuhan. Untuk pesawat yang dikendalikan dengan radio (*radio control*), sudut hedralnya antara 3° s/d 10° sedangkan untuk pesawat layang (*glider*) sudut hedralnya dibuat 10° s/d 15°.



Gambar 2.13. Sudut Hedral Sayap (Atmoko, 1991)

#### 2.5.4. Struktur dan Material Pesawat

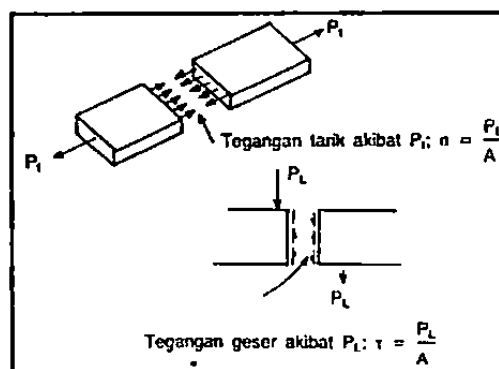
Kekuatan dan kekokohan pesawat tergantung pada material dan struktur desain yang dibuat. Pemilihan material tergantung pada kegunaan yang diefektifkan sehingga didapat sebuah struktur yang kuat dengan material yang ringan (Atmoko, 1991). Material pesawat model dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1. Tabel Properties Material Pesawat Model (Atmoko, 1991)

NO	Nama	Tegangan Tekan (MPa)	Tegangan Lintang (MPa)	Massa Jenis kg/dm <sup>3</sup>
1	Balsa	155.5	2.4	0.175
2	Kayu Pinus	30.7	8.9	0.352
3	Kayu Spruce	35	4.6	0.400
4	Kayu Ramin	72.4	11.9	0.657
5	Alumunium	365	214	2.77
6	Baja 0.6%C	515	316	7.83
7	Serat Gelas	464	40.5	2.104

##### a. Tegangan

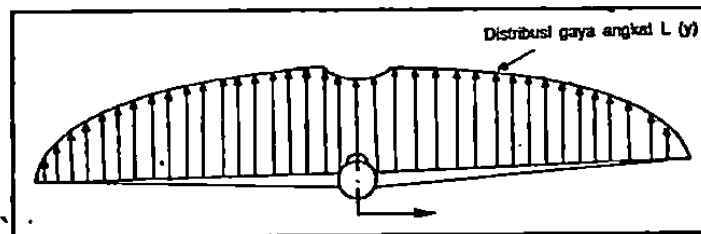
Tegangan adalah besarnya gaya yang bekerja pada setiap satuan luas sebuah material. Ada dua macam jenis tegangan jika dibedakan berdasarkan keadaan yang dialami oleh material yaitu tegangan normal dan tegangan geser. Tegangan normal terbagi menjadi dua yaitu tegangan tarik dan tegangan tekan. Setelah mengetahui besarnya tegangan yang terjadi akibat pembebanan maka diketahui jenis material apakah yang dipilih agar dapat menahan pembebanan tersebut. Gambar tegangan pada *spar* sayap di ilustrasikan pada gambar 2.14.



Gambar 2.14. Gambar Tegangan pada Spar Sayap (Atmoko, 1991)

### b. Pembebanan Sayap

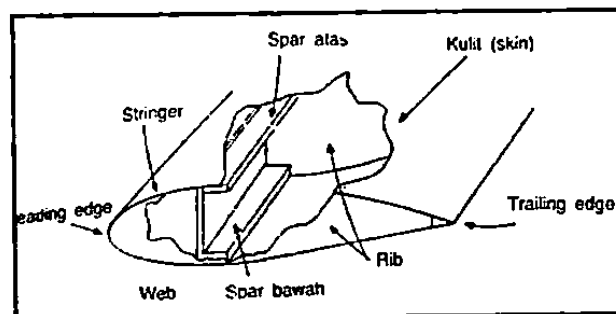
Sayap pesawat mengalami pembebanan baik tegangan normal maupun tegangan geser. Untuk itu konstruksi sayap pesawat harus dibuat agar mampu menahan pembebanan tersebut. Berikut gambar distribusi pembebanan pada sayap (gambar 2.15).



Gambar 2.15. Distribusi Beban pada Sayap (Atmoko, 1991)

### c. Struktur Sayap

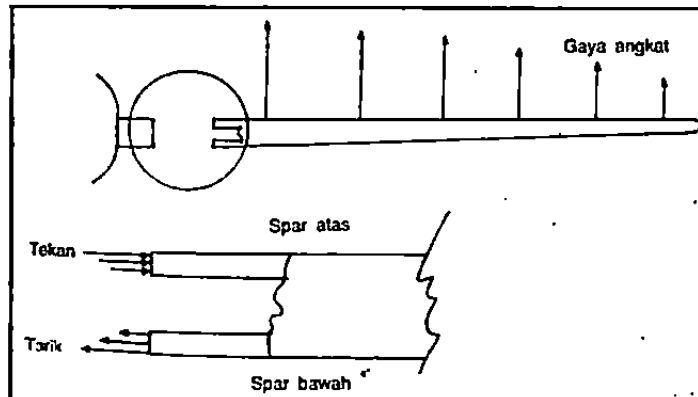
Struktur pesawat konvensional pada umumnya terdiri dari komponen kulit dan rangka-rangka tertentu yang dalam konstruksi pesawat terbang dikenan dengan istilah *semi monocoque* (Atmokko, 1991). Konstruksi tersebut dapat dilihat pada gambar 2.16.



Gambar 2.16. Struktur Sayap Semi *Monocoque* (Atmoko, 1991)

Bagian terpenting dari struktur pesawat adalah *spar*. Komponen ini dipasang khusus untuk menahan tegangan normal baik tarik maupun tekan akibat adanya momen lentur pada sayap (gambar 2.17.). *Spar* terdiri dari dua bagian yaitu *spar atas* dan *spar bawah*. *Spar atas* berfungsi untuk menahan beban tekan



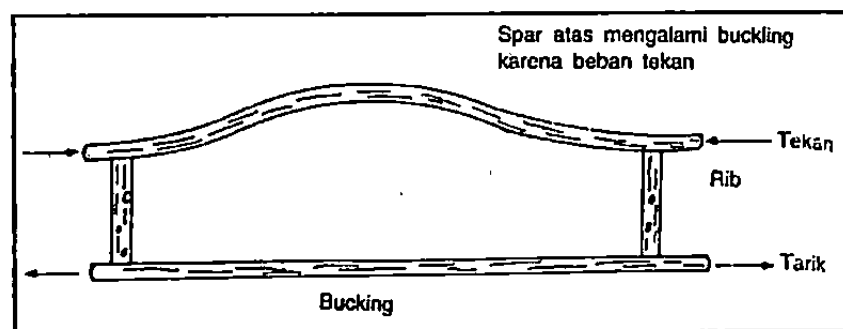


Gambar 2.17. Tegangan Tekan dan Tarik pada *Spar* Sayap  
(Atmoko, 1991)

Tegangan tekan pada bagian spar atas sering menyebabkan kerusakan pada sayap, sehingga spar atas pada sayap sangat berperab penting dalam menerima pembebanan. Ilustrasi tegangan tekan yang terjadi pada sayap dapat dilihat pada gambar diatas.

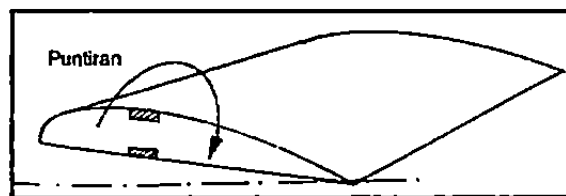
Penjelasan komponen sayap yang lainnya adalah sebagai berikut :

- i. *Stringer* adalah bagian struktur sayap yang fungsinya membantu kinerja *spar*, khususnya dalam menahan momen lentur dengan memperkecil besarnya tegangan normal yang terjadi pada *spar*.
- ii. *Rib* adalah bagian sayap yang bertugas untuk memberi bentuk luar pada sayap. Bagian ini dipasang melintang disepanjang bentang sayap dengan jarak tertentu antar *rib*. *Rib* juga berfungsi sebagai pembatas gerak bagi spar agar terhindar dari kemungkinan *buckling* (bengkok ketika ditekan, gambar 2.18.).



Gambar 2.18. Definisi Buckling (Atmoko, 1991)

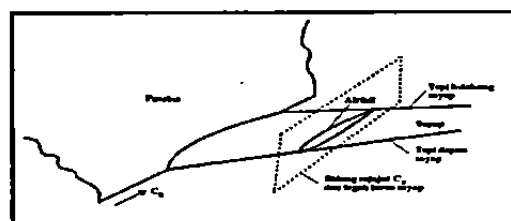
- iii. *Web* adalah komponen untuk mempertangguh sayap. *Web* dipasang vertikal menghubungkan *spar* atas dan *spar* bawah untuk menahan tegangan geser.
- iv. *Leading Edge* merupakan komponen bagian depan pada sayap yang berfungsi untuk membantu *spar* menerima pembebanan.
- v. *Trailing Edge* adalah komponen yang terdapat dibagian paling belakang pada sayap. Komponen ini berfungsi untuk menambah kekuatan sayap dalam menahan tegangan normal akibat momen lentur pada sayap.
- vi. *Skin*, merupakan kulit yang menyelimuti keseluruhan permukaan sayap. Bagian ini berfungsi untuk membentuk bagian luar dan menambah kekakuan sayap khususnya terhadap puntiran/ torsi. Gambar puntiran diilustrasikan pada gambar 2.19.



Gambar 2.19. Puntiran pada Sayap (Atmoko, 1991)

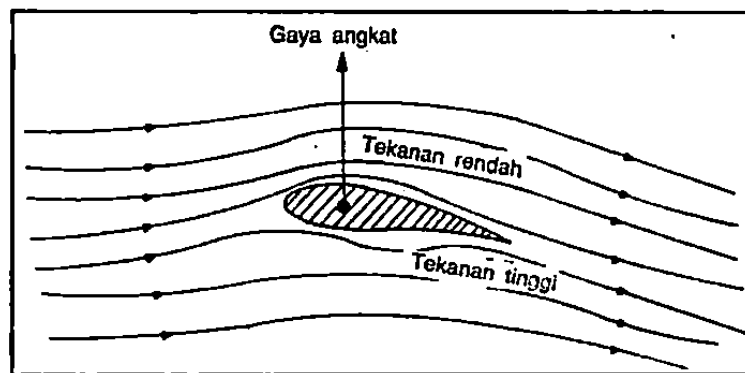
#### 2.5.4. *Airfoil*

*Airfoil* adalah bentuk aerodinamik yang dianggap sangat efektif untuk menghasilkan gaya angkat (Arismunandar, 2002). Sebagai contoh dapat dilihat pada gambar (2.20) *airfoil* adalah penampang potongan sayap dengan bidang sejajar kecepatan terbang (arus bebas) dan tegak lurus sayap.



Gambar 2.20. Airfoil pada Sayap (Arismunandar, 2002)

Sayap adalah bagian pesawat terbang yang berfungsi menghasilkan gaya angkat (*lift force*). Gaya angkat harus lebih besar atau sekurang-kurangnya sama dengan berat pesawat terbang dan muatannya, supaya dapat mengangkat pesawat terbang dari permukaan tanah atau terbang datar. Gambar (2.21) mengilustrasikan gaya angkat pada *airfoil* akibat perbedaan tekanan permukaan atas dan permukaan bawah.



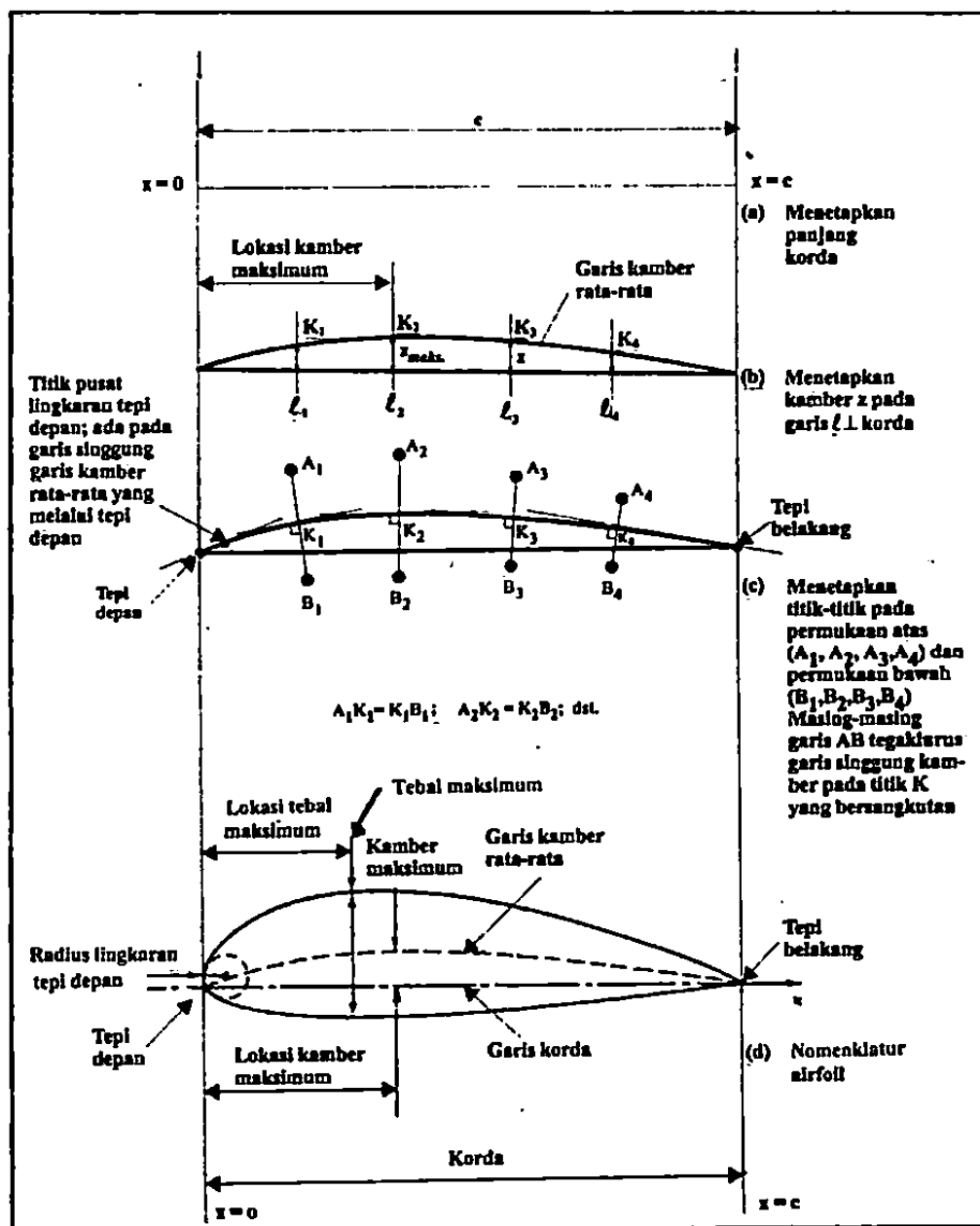
Gambar 2.21. Gaya Angkat pada *Airfoil* (Atmoko, 1991).

#### a. Nomenklatur *Airfoil*

*Nomenklatur airfoil* adalah teknik membuat *airfoil* (gambar 2.22.). Garis kamber rata-rata adalah tempat kedudukan dari titik tengah antara permukaan atas dan permukaan bawah *airfoil* yaitu tempat kedudukan titik tengah dari garis tegak lurus, pada garis kamber rata-rata itu sendiri, yang menghubungkan permukaan atas dan permukaan bawah. Garis kamber rata-rata menjadi ciri utama dari *airfoil*. Titik terdepan dan titik terbelakang dari garis kamber rata-rata, dinamakan tepi depan (*leading edge*) dan tepi belakang (*trailing edge*). Garis korda (*chord line*) adalah garis lurus yang menghubungkan tepi depan dan tepi belakang. Korda adalah panjangnya garis korda antara tepi depan dan tepi belakang. Ukuran *airfoil* biasanya dinyatakan sebagai fungsi dari korda ( $C$ ). Kamber maksimum adalah jarak maksimal antara garis kamber dan garis korda,

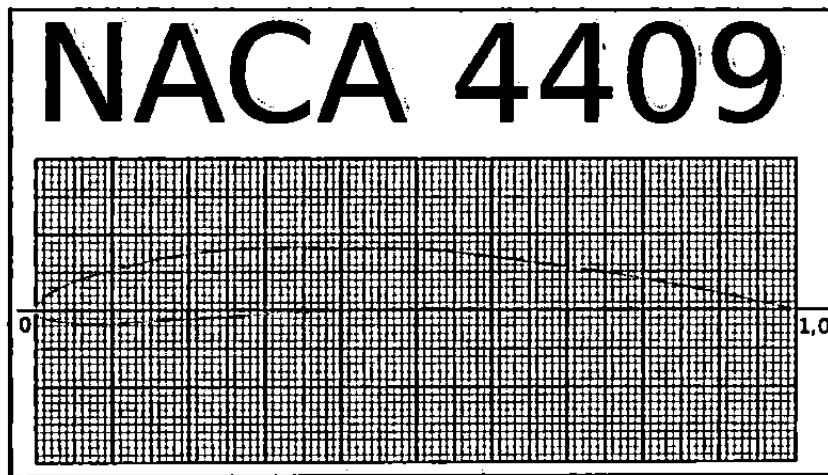
Letak kamber maksimum dari tepi sangat penting dalam menentukan karakteristik aerodinamika sebuah *airfoil*. Tebal maksimum sebuah *airfoil* adalah jarak maksimum antara permukaan atas dan bawah.

Radius lingkaran yang melalui tepi depan merupakan ukuran ketajaman tepi depan (biasanya 0-2%) korda. Titik pusat lingkaran tersebut terletak pada garis singgung garis kamber rata-rata yang melalui tepi depan.



### b. Jenis-Jenis *Airfoil*

Ada banyak jenis *airfoil*, biasanya diambil dari perancang atau institusi yang mengeluarkan misalnya NACA (*National Advisory Committee for Aeronautics*), Eppler dan lain sebagainya. *Airfoil* tersebut harus melewati serangkaian uji model dan lab misalnya *airflow test* dan lainnya. Hal ini dilakukan untuk dapat mengetahui karakteristik *airfoil* mulai dari angka Reynolds, koefisien angkat dan koefisien tahan. Pada seri *airfoil* NACA, misalnya NACA 2415, NACA 2409 dan lainnya. Sedangkan pada Eppler misalnya E201, E374 dan lainnya. Pada (gambar 2.23.) merupakan *airfoil* tipe NACA 4409.



Gambar 2.23. Jenis *Airfoil* NACA 4409 (wikimedia, 2013)

### c. Peristiwa *Stall*

Peristiwa *stall* pada *airfoil* sangat penting dan harus diperhatikan pada perancangan pesawat terbang, rotor helikopter dan *propeller* (Arismunandar, 2002). Penjelasan *stall* dapat diilustrasikan pada gambar (2.24) pada titik A yang ada pada bagian yang linear dari grafik koefisien *lift*, medan aliran melalui *airfoil* melekat pada permukaan *airfoil*.

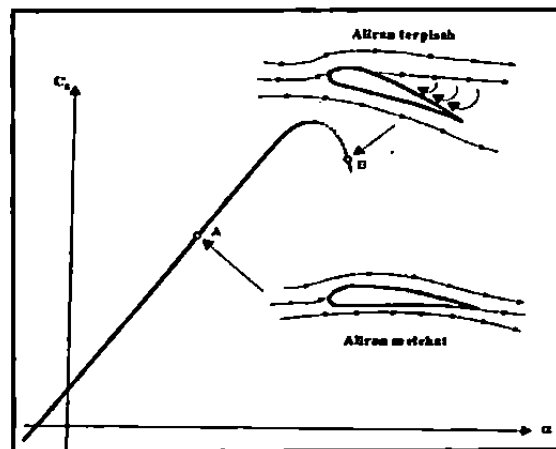
Terjadinya gradien tekanan yang negatif akan menyebabkan adanya kecenderungan lapis batas memisahkan diri dari permukaan *airfoil*.

... .. untuk ... .. gradien tekanan yang negatif

tersebut menjadi semakin kuat, sehingga pada harga  $\alpha$  tertentu (sudut serang *stall*) aliran udara akan terlepas dari permukaan atas *airfoil*. Jika terjadi pemisahan (separasi), besarnya gaya angkat (*lift*) akan menurun dengan cepat dan tahanan (*drag*) tiba-tiba meningkat.

Ada tiga jenis *stall*, yaitu :

- i. *Stall* kecepatan rendah (terjadi pada saat tinggal landas atau pada waktu mendarat, dalam hal ini terjadai separasi pada sudut serang yang tinggi dan  $C_L$  yang tinggi)
- ii. *Stall* terlalu cepat (kenaikan sudut serang yang tiba-tiba, kebanyakan dialami oleh *airfoil* dengan tepi depan yang tajam.
- iii. *Stall* kecepatan tinggi (separasi yang terjadi karena gelombang kejut).



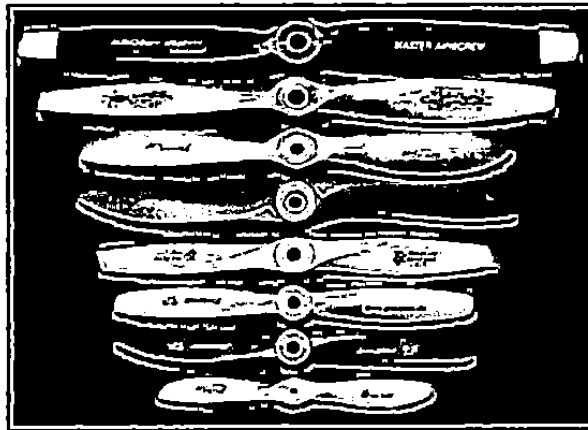
Gambar 2.24. Peristiwa *Stall* (Arismunandar, 2002).

#### d. Bilangan Reynolds

Bilangan Reynolds adalah besaran yang merupakan perbandingan gaya inersia terhadap gaya viskous suatu aliran fluida yang dalam hal ini adalah udara (Atmoko, 1991). Bilangan Reynolds tidak memiliki dimensi dan digunakan untuk menyatakan kondisi aliran udara yang melalui sebuah benda atau sayap pesawat apakah aliran laminar atau aliran turbulen. Bilangan Reynolds untuk pesawat model umumnya berkisar antara 20.000 – 60.000, sedangkan sayap pesawat sesungguhnya akan

### 2.5.5. *Propeller*

*Propeller* atau baling-baling adalah sayap yang berputar dalam bidang vertikal sehingga gaya angkat yang ditimbulkan adalah gaya dorong (Houghton, 2003). *Propeller* disebut juga sebagai alat yang berfungsi menghasilkan gaya dorong untuk menggerakkan pesawat terbang (Arismunandar, 2002). Faktor utama penerbangan adalah gerak maju, pesawat harus bergerak cukup cepat agar angin relatif menimbulkan gaya angkat pada sayap yang diperlukan agar pesawat tetap di udara. Pada gambar (2.25) dapat dilihat dari bentuk penampangnya *propeller* berbentuk seperti penampang sebuah *airfoil*, sehingga dapat menghasilkan gaya dorong. Jenis-jenis material *propeller* dapat berupa kayu, plastik, dan sebagainya. Untuk motor listrik biasanya menggunakan *propeller* plastik atau paduan plastik.



Gambar 2.25 Jenis-Jenis *Propeller* (Johnson, 2003)

Ukuran dari diameter *propeller* model dapat dirumuskan sebagai berikut (Atmoko, 1991):

$$D = 100 \sqrt{Pt} \quad (2.7)$$

*Pitch* merupakan langkah baling-baling dapat maju dalam satu putaran baling-baling (Windsor, 2013). Ukuran dari *propeller* dapat berupa inchi, cm dan mm.

*Pitch propeller* dapat dirumuskan :

$$\text{FEET PER SECOND (ft/s)} = \text{RPM} \times \text{diameter in inches} \times 0.00426 \quad \dots(2.8)$$

Sebagai contoh ukuran *propeller* 10 x 6 artinya diameter 10" dan *pitch* nya 6" , jadi *propeller* tersebut dalam satu kali putaran dapat maju sejauh 6". Ada berbagai jenis *propeller* yang digunakan oleh pesawat model dari *propeller* elektrik untuk motor listrik dan ada juga untuk *propeller engine* untuk *propeller* motor pembakaran dalam.

#### 2.4.7. Perhitungan Dasar Pesawat Model

Perhitungan dasar pesawat model, yaitu (Atmoko, 1991) :

##### a. Perhitungan Spesifikasi Pesawat Model

##### i. Perhitungan Luas Sayap

$$L_{\text{sayap}} = p \times l \quad \dots\dots\dots(2.9)$$

##### ii. Perhitungan Luas Ekor Horizontal

$$L_{\text{ekor horizontal}} = \text{rasio volume ekor horizontal} \times L_{\text{sayap}} \quad \dots\dots\dots(2.10)$$

##### iii. Perhitungan Luas Ekor Vertikal

$$L_{\text{ekor vertikal}} = \text{rasio volume ekor vertikal} \times L_{\text{ekor horizontal}} \quad \dots\dots\dots(2.11)$$

##### iv. Perhitungan Kelangsingan atau *Aspect Rasio* ( $A_R$ ) Sayap

$$A_{R\text{sayap}} = \text{panjang} / \text{lebar} \quad \dots\dots\dots(2.12)$$

##### v. Menghitung Perubahan Koefisien Gaya Angkat terhadap Perubahan Sudut Serang Sayap ( $K$ )

$$K_{\text{sayap}} = 0,1 / (1+(2/A_{R\text{sayap}})) \quad \dots\dots\dots(2.13)$$

##### vi. Menghitung Efisiensi Sayap

$$\dots\dots\dots(2.14)$$



b. Perhitungan Parameter Aerodinamika Pesawat Model

Massa jenis udara ( $\rho$ ) : 1,225 kg/m<sup>3</sup>

Viskositas udara ( $\mu$ ) : 1,8 x 10<sup>-5</sup> kg/m.s

i. Persamaan Bilangan Reynolds

$$Re = \frac{\rho \times V \times c}{\mu} \dots\dots\dots(2.15)$$

ii. Menghitung Kecepatan Jelajah ( $V_{\text{jelajah}}$ )

$$V_{\text{jelajah}} = 60 / (w \times 9,81 / \rho \times L_{\text{sayap}} \times C_L) \dots\dots\dots(2.16)$$

iii. Menghitung *Chord* Rata-Rata Sayap

$$C_{\text{rata-rata}} = L_{\text{sayap}} / \text{Wing span} \dots\dots\dots(2.17)$$

iv. Menghitung Parameter *Airfoil Turbulator*

$$\text{Koefisien } C_f = 1,4 \times (L_{\text{sayap}} / Re^{0,2}) \dots\dots\dots(2.18)$$

v. Menghitung Koefisien Daya Tahan ( $C_{D0}$ )

$$C_{D0} = C_f + 5 \times 10^{-4} \times 2^{f-2} + t \times 10^{-4} + 0,1 \times t^2 \dots\dots\dots(2.19)$$

vi. Menghitung Koefisien Gaya Angkat Sayap Aktual

$$C_{L\text{sayap}} = \sqrt{C_{D0} \times \pi \times A_{R\text{sayap}} \times Ef} \dots\dots\dots(2.20)$$

vii. Menghitung Koefisien Gaya Tahan Aktual

$$C_D = C_{D0} + (C_{L\text{sayap}}^2 / \pi \times A_{R\text{sayap}} \times Ef) \dots\dots\dots(2.21)$$

viii. Menghitung *Glide Rasio*

$$C_L / C_D \dots\dots\dots(2.22)$$

Menghitung sudut luncur (*glide angle*)

$$\gamma = \tan^{-1}(C_D / C_L) \dots\dots\dots(2.23)$$

ix. Menghitung Sudut Serang Sayap

$$\alpha_{\text{sayap}} = C_{L\text{sayap}} / K_{\text{sayap}} \dots\dots\dots(2.24)$$

x. Menghitung  $\alpha_0$  *Airfoil*

$$\alpha_0 = 1,1 \times f (\%) \dots\dots\dots(2.25)$$

xi. Menghitung Sudut Pasang Sayap

$$\alpha_{\text{pasang sayap}} = \alpha_{\text{sayap}} - \gamma - \alpha_0 \dots\dots\dots(2.26)$$

xii. Menghitung Kecepatan Turun

$$\dots\dots\dots(2.27)$$

### xiii. Perhitungan Struktur Pesawat Model

Menghitung perbandingan berat dan luas sayap.

$$\frac{w}{s} < 55 \text{ g/dm}^2 \quad \dots\dots\dots(2.28)$$

Dimana :

s : *wing area* (dm<sup>2</sup>)

w : beban (g)

### xiv. Perhitungan Daya yang Dibutuhkan

$$P_{\text{req}} = C_D \times \frac{1}{2} \times \rho \times V^3 \times S \text{ (Watt)} \quad \dots\dots\dots(2.29)$$

Dimana :

P<sub>req</sub> : daya yang dibutuhkan

C<sub>D</sub> : koefisien *drag*

ρ : massa jenis udara

V : kecepatan relatif

S : luas sayap

P<sub>t</sub> > P<sub>req</sub>

### xv. Perhitungan Kecepatan Terbang Optimum.

$$V = \sqrt{(2 \times w \times g) / (\rho \times s \times CL)} \quad \dots\dots\dots(2.30)$$

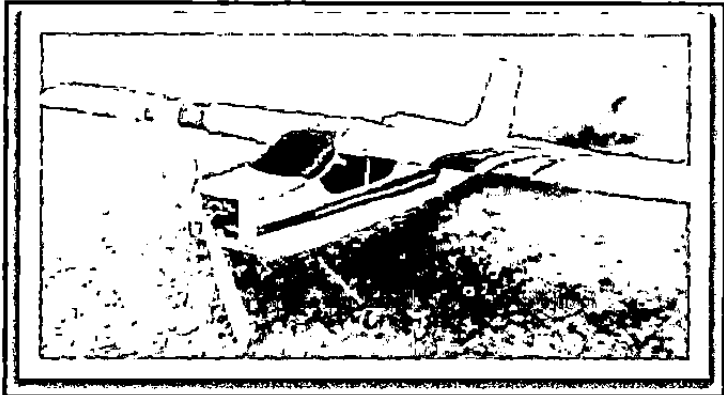
## 2.6. Jenis Pesawat Model

Pesawat model dibagi dalam beberapa jenis, secara garis besar ada pesawat model menggunakan motor sebagai gaya dorong dan tidak menggunakan propulsi. Berikut beberapa jenis pesawat model, yaitu :

### 2.6.1. Pesawat Model Bermotor

Pesawat model bermotor adalah pesawat model yang memerlukan bantuan motor penarik baik dari jenis motor pembakaran dalam, motor karet, motor listrik ataupun jet selama penerbangannya (Atmoko, 1991). Berikut gambar 2.26 yang

.....



Gambar 2.26. Pesawat Model Bermotor (Yaurie, 2013).

Pada pesawat model bermotor khususnya pesawat model dengan penggerak motor listrik memerlukan baterai dan pengaturan arus sebagai sumber listrik. Berikut adalah komponen pesawat model dengan penggerak motor listrik, yaitu :

a. Motor Listrik

Motor listrik digunakan sebagai gaya dorong pada pesawat model (gambar 2.27). Penempatan motor listrik dapat ditempatkan pada sayap, hidung, atau belakang *body* pesawat sesuai dengan desain yang telah dibuat. Sebelum dipasang pada pesawat sebaiknya dilakukan perhitungan daya pada motor tersebut.

Perhitungan daya masukan motor listrik :

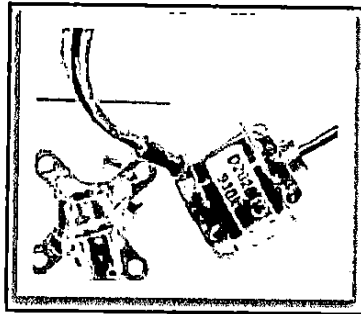
$P_i = V \times I$  (Watt) .....(2.31)

Kemudian asumsikan efisiensi daya masukan sebesar 75% yang dapat diubah sebagai gerak mekanik pada poros motor. Daya efektif dapat dihitung :

$P_o = 75\% \times P_i$  .....(2.32)

Gaya sebesar  $P_o$  yang akan menggerakkan propeller dengan efisiensi sebesar 60% sehingga dapat dihitung daya tarik sebesar :

$P = 60\% \times P_o = 45\% \times P_i = V \times I$  .....(2.33)



Gambar 2.27. Motor DC *Brushless* (aliexpress.com, 2013).

b. Baterai

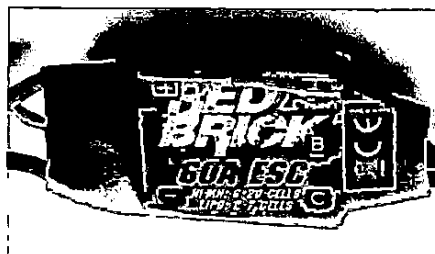
Baterai merupakan sumber daya untuk menggerakkan motor listrik yang memutar *propeller*. Baterai yang sering digunakan pada pesawat model adalah tipe LiPo atau NiCd (gambar 2.28).



Gambar 2.28. Baterai LiPo

c. *Electronic Speed Control* (ESC)

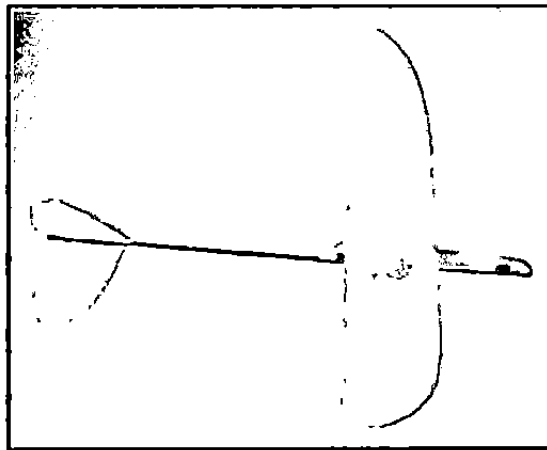
ESC merupakan modul pengontrol yang menghubungkan *receiver* dengan *remote* kontrol, baterai dan motor listrik (gambar 2.29). Alat ini berfungsi untuk mengontrol arus listrik yang masuk dari baterai ke motor listrik.



Gambar 2.29. Modul *ESC*

### 2.6.2. Pesawat Model Tidak Bermotor

Pesawat jenis ini merupakan pesawat model yang selama penerbangan tidak memerlukan bantuan motor pendorong atau penarik, walaupun pada awalnya memakai motor pendorong atau penarik untuk memulai penerbangan mencapai ketinggian tertentu (Atmoko, 1991). Jenis pesawat ini juga biasa disebut sebagai pesawat layang atau *glider*. Contoh pesawat jenis ini dapat dilihat pada gambar 2.30.



Gambar 2.30. Pesawat Model Tidak Bermotor Tipe *OHLG*.

### 2.7. Mekanisme Penabur Benih

Berdasarkan fungsinya pesawat model penabur benih harus mampu terbang dengan beban benih tertentu dan melepaskan benih dari udara dengan bantuan gaya gravitasi. Mekanisme penabur benih ini sangat sederhana yaitu sebelum penerbangan, benih yang akan ditaburkan dimasukkan kedalam *box* penyimpanan di dalam *body* pesawat. Setelah pesawat pada posisi yang diinginkan, pintu bak penampungan dibuka dengan menggerakkan servo ke arah yang telah diatur menggunakan radio kontrol.

Perancangan *box* penampung benih pada pesawat model untuk menampung benih dalam jumlah tertentu sesuai kebutuhan. Untuk itu diperlukan ruang dalam *body* pesawat yang terletak di bawah sayap agar sesuai dengan