

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini, hal-hal yang dibahas yaitu penjelasan secara umum tentang pesawat terbang, penjelasan tentang bahan-bahan dan komponen aeromodeling, serta rumus-rumus perencanaan aeromodeling.

2.1 Pesawat Terbang

Dalam pembuatan pesawat terbang, terdapat berbagai teori-teori serta pengetahuan umum yang harus diketahui dan digunakan agar pesawat bisa berfungsi dengan baik. Berikut hal-hal penting yang harus diketahui sebelum mendesain dan membuat pesawat terbang.

2.1.1 Bagian – Bagian Utama Pesawat

a. *Fuselage*

Fuselage (badan pesawat) memiliki beberapa fungsi. Selain menjadi titik tambahan umum untuk komponen utama lainnya, *fuselage* ini memiliki kokpit tempat awak pesawat mengoperasikan pesawat dan area kabin untuk penumpang atau kargo.



Gambar 2.1 *Fuselage* Pesawat Cessna 180 Skywagon
(Sumber: Lit. 3)

b. *Wing*

Wing di sebuah pesawat merupakan sebuah bidang yang dirancang untuk menghasilkan gaya angkat saat bergerak dengan cepat di udara.

Konfigurasi *wing* tergantung pada karakteristik penerbangan yang diinginkan. *Wing* dibuat di dalam beberapa bentuk dan ukuran.

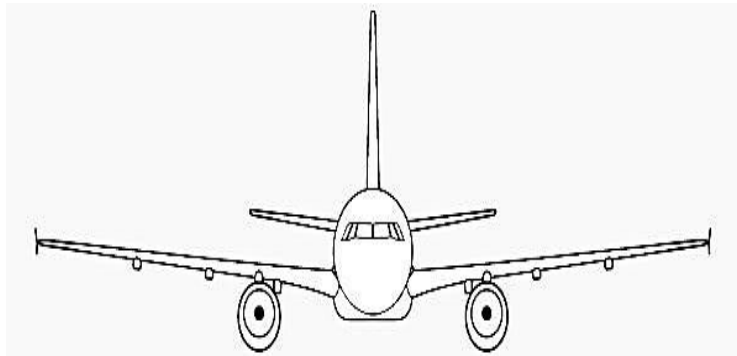


Gambar 2.2 *Wing* Pesawat Cessna 180 Skywagon
(Sumber: Lit. 3)

Secara umum bentuk desain *wing* dibedakan letak, konstruksi, *aspect ratio*, jumlah, variasi *chord* serta kecondongan *wing*.

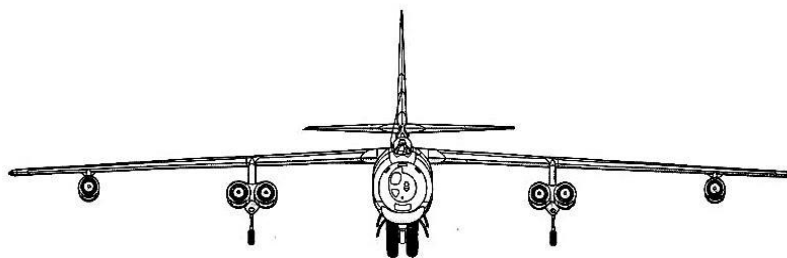
Jenis *wing* berdasarkan konstruksinya yaitu dibedakan menjadi.

1. *Dihedral* merupakan *wing* dengan kedudukan ujung *wing* lebih tinggi dari pangkal *wing*. Tujuan pembuatan *wing* ini untuk mendapatkan *speed* yang tinggi serta mendapatkan stabilitas lateral yang baik.



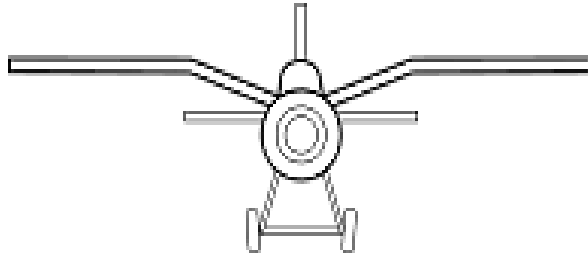
Gambar 2.3 *Dihedral*
(Sumber: Lit. 4, Hal. 27)

2. *Anhedral* merupakan *wing* dengan kedudukan ujung *wing* lebih rendah daripada pangkal *wing*.



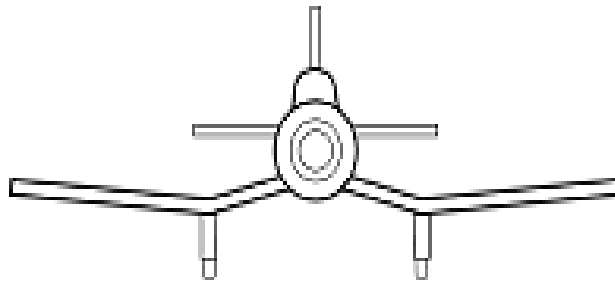
Gambar 2.4 *Anhedral*
(Sumber: Lit. 4, Hal. 27)

3. *Gull wing* merupakan *wing* yang menyerupai sayap burung camar laut. Tujuan pembuatan *wing* ini untuk mendapatkan *lift* yang besar.



Gambar 2.5 *Gull Wing*
(Sumber: Lit. 4, Hal. 27)

4. *Interved gull wing* merupakan *wing* yang bentuknya mirip dengan *gull wing*, hanya kedudukannya dibawah dan terbalik. Tujuan pembuatan *wing* ini untuk mendapatkan *speed* yang cukup.



Gambar 2.6 *Interved Gull Wing*
(Sumber: Lit. 4, Hal. 27)

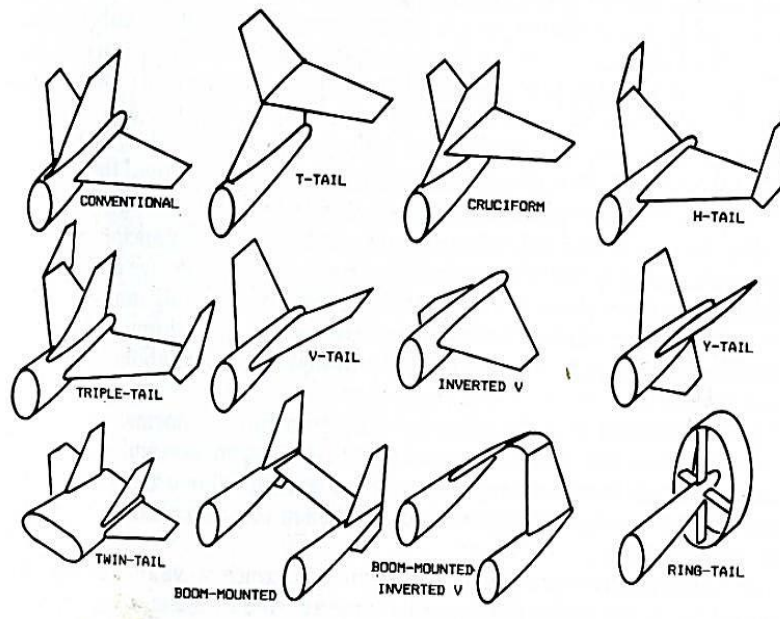
c. *Empennage*

Empennage disebut juga *tail section*, sebagian besar pesawat dirancang terdiri dari *tail cone*, *fixed surfaces*, dan *movable surfaces*. *Tail cone* adalah penutup bagian ujung belakang *fuselage*, yang strukturnya dibuat sama seperti *fuselage* dalam bentuk kerucut. Sedangkan *fixed surfaces* adalah *horizontal* dan *vertical stabilizer*. Serta yang dimaksud *movable surfaces* adalah *rudder* dan *elevator*. Tegangan yang terjadi di *empennage* juga sama seperti yang dialami *wing*, seperti *bending*, *torsion*, dan *shear*.



Gambar 2.7 *Empennage* Pesawat Cessna 180 Skywagon
(Sumber: Lit. 3)

Pemilihan geometri *empennage* didasarkan pada kebutuhan misi, misalkan kondisi *take-off* dan *landing*, *maneuver*, konfigurasi *propeller*, hingga aspek estetika. Berikut ini merupakan gambar dari beberapa tipe *empennage* yang umum digunakan pada pesawat terbang.



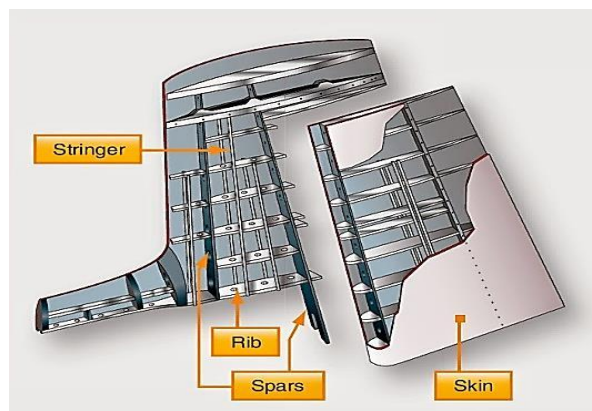
Gambar 2.8 Tipe *Empennage*
(Sumber: Lit. 3)

d. *Stabilizer*

Bidang-bidang untuk men-stabilkan sebuah pesawat udara terdiri dari bidang *airfoil vertical* dan bidang *airfoil horizontal*, keduanya disebut *vertical stabilizer* atau *fin* dan *horizontal stabilizer*. Di bidang *vertical stabilizer* dipasang

bidang kontrol yang disebut *rudder*, dan di bidang *horizontal stabilizer* dipasang bidang kontrol yang disebut *elevator*.

Fungsi utama dari *stabilizer* adalah untuk menjaga pesawat udara agar selalu dalam kondisi terbang lurus dan mendarat atau *level flight*. *Vertical stabilizer* menjaga stabilitas pesawat udara dengan tumpuan sumbu *vertical* untuk mempertahankan *directional stability*. *Horizontal stabilizer* menjaga stabilitas pesawat udara dengan tumpuan sumbu *lateral* untuk mempertahankan *longitudinal stability*.



Gambar 2.9 *Vertical Stabilizer*
(Sumber: Lit. 2, Hal. 1-24)

e. *Engine*

Pesawat bisa terbang karena ada gaya dorong dari mesin penggerak (*Engine*) yang menyebabkan pesawat memiliki kecepatan, dan kecepatan inilah yang di terima sayap pesawat berbentuk *aerofoil* sehingga pesawat dapat terangkat/terbang. Pemilihan *engine* didasarkan pada besar kecilnya ukuran pesawat terbang. Adapun jenis-jenis mesin *engine* pesawat terbang adalah sebagai berikut:

1. *Turbojet*

Turbojet adalah mesin jet yang paling awal, mesin ini banyak diaplikasikan pada pesawat tempur karena mampu menghasilkan kecepatan lebih dari kecepatan suara. Contoh pesawat yang menggunakan mesin *turbojet* adalah *Northrop F-5* yang dimiliki TNI Angkatan Udara.



Gambar 2.10 *Northrop F-5*
(Sumber: Lit. 6)

2. *Turbofan*

Turbofan adalah turunan mesin *turbojet*, komponennya sama dengan mesin *turbojet* tetapi yang membedakan adalah mesin *turbofan* ditambahkan *fan* di depan *inlet* nya. Kelebihan mesin ini adalah lebih efisien dari segi tenaga yang dihasilkannya karena *thrust* yang dihasilkan bukan hanya dari pembakaran tetapi juga *thrust* dingin dari *fan* yang di *bypass* pada *engine* atau dengan kata lain udara *bypass/cold air* adalah udara yang tidak ikut terbakar dalam ruang pembakaran. Pesawat yang menggunakan *engine* ini yaitu pesawat berpenumpang seperti *Boeing 737*, *Airbus A-320*, dan lainnya.



Gambar 2.11 *Engine Airbus A-320*
(Sumber: Lit. 6)

3. *Turboprop*

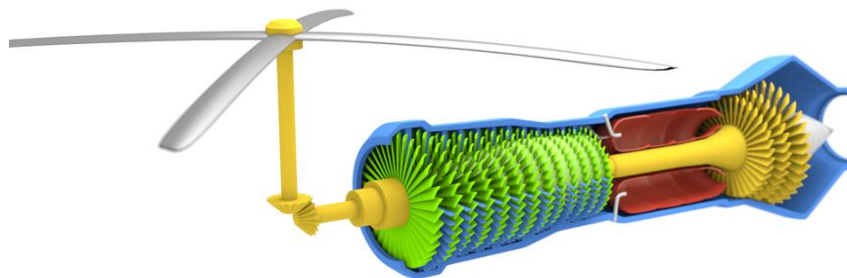
Turboprop adalah turunan dari mesin *turbojet*, yang membedakannya adalah di depan *turboprop* ini diberi *propeller*. Kelebihan mesin ini adalah efisiensi tenaga yang dihasilkan cukup tinggi dan pesawat yang menggunakan *turboprop* tidak membutuhkan landasan panjang untuk *take-off*. Pesawat yang menggunakan *turboprop* adalah *Hercules C-130*, *Airbus A-400 Military*, dan lainnya.



Gambar 2.12 *Engine Hercules C-130*
(Sumber: Lit. 6)

4. *Turboshaft*

Turboshaft merupakan mesin *turbojet* yang ditambahkan *shaft*. Di dunia penerbangan *turboshaft* biasanya digunakan untuk menggerakkan *helicopter*, yakni menggerakkan rotor utama maupun rotor ekor (*tail rotor*) selain itu juga digunakan dalam sektor industri dan maritim termasuk untuk pembangkit listrik, stasiun pompa gas dan minyak, *hovercraft*, dan kapal.



Gambar 2.13 *Turboshaft*
(Sumber: Lit. 6)

5. *Ramjet*

Ramjet merupakan suatu jenis mesin (*engine*) dimana apabila campuran bahan bakar dan udara yang dipercikkan api akan terjadi suatu ledakan, dan apabila ledakan tersebut terjadi secara kontinyu maka akan menghasilkan suatu dorongan (*thrust*). Teknologi *ramjet* ini umumnya dikembangkan pada roket/pesawat ulang alik. Pesawat tanpa awak X-43A ini memanfaatkan mesin *scramjet* yang di masa mendatang akan dipakai juga pada pesawat ulang alik.



Gambar 2.14 *Ramjet*
(Sumber: Lit. 6)

f. *Landing Gear*

Landing gear merupakan adalah bagian dari pesawat yang berfungsi sebagai penopang pesawat ketika *landing*, *take off*, parkir, dan *taxiing*. *Landing gear* terdiri dari tiga roda, dua roda utama dan roda ketiga yang bisa berada di depan atau di belakang pesawat. Namun pada pesawat sekarang, *landing gear* terdiri lebih dari tiga roda. *Landing gear* terdiri dari beberapa jenis, yaitu sebagai berikut.

1. *Landing gear conventional*

Landing gear conventional adalah posisi dua roda utama di bagian depan pesawat yang terletak dekat *center of gravity* yang menopang sebagian besar berat pesawat dan satu roda yang lebih kecil di bagian *empennage* pesawat.



Gambar 2.15 *Landing Gear Conventional*
(Sumber: Lit. 7)

2. *Tricycle landing gear*

Tricycle landing gear yaitu dua roda bagian utama berada di belakang bagian bawah *fuselage* yang terletak di belakang *center of gravity* dan satu roda tambahan berada di dekat *nose*.



Gambar 2.16 *Tricycle Landing Gear*
(Sumber: Lit. 7)

3. *Bicycle landing gear*

Desain *landing gear* yang relatif jarang adalah *bicycle landing gear*. Susunan ini memiliki dua roda utama yang terletak sepanjang garis tengah pesawat, satu roda terletak di depan dan satu roda lainnya di belakang. Dan kedua roda tersebut terletak dari tengah *center of gravity*. Untuk mencegah pesawat miring ke samping, sepasang *outrigger gear* disepanjang *wing*.



Gambar 2.17 Pesawat *Martin XB-51*
(Sumber: Lit. 7)

4. *Single main landing gear*

Desain ini adalah subkategori khusus dari *bicycle undercarriage* yaitu, *single main landing gear*. Susunan ini memiliki satu unit roda terbesar yang terletak di bagian depan pesawat dekat dengan *center of gravity* dan satu unit roda tambahan yaitu, *tailwheel* atau roda belakang yang jauh lebih kecil yang terletak di bagian belakang pesawat, tepatnya di bawah *vertical stabilizer*. Dan dua unit *outriggers gear* yang terletak di bawah *wing* yang berfungsi untuk menambah stabilitas pesawat.



Gambar 2.18 Pesawat Tempur *Dragon 55*
(Sumber: Lit. 7)

5. *Quadracycle landing gear*

Quadracycle landing gear sangat mirip dengan desain *bicycle gear*, kecuali dalam susunan *quadracycle gear* ada empat main *landing gear* yang secara kasat mata sama dalam ukuran dan dipasang di sepanjang *lower fuselage*. Dan juga

susunan *quadracycle landing gear* tidak terdapat *outriggers gear* di bawah *wing*. *Quadracycle gear* biasanya digunakan pada pesawat kargo.



Gambar 2.19 Pesawat B-52 *Stratofortress*
(Sumber: Lit. 7)

6. *Multi-Bogey landing gear*

Posisi roda pada *multi-bogey* ini sama seperti *tricycle landing gear*, namun dalam penggunaannya roda *multi-bogey* lebih banyak dibandingkan dengan *tricycle landing gear*. Hal ini sangat umum untuk menempatkan dua roda pada *nose strut* dalam susunan *tricycle gear* untuk memberikan keamanan dalam kasus ledakan ban. Ban tambahan ini sangat berguna pada pesawat berbasis kapal induk kesua *nosewheels* adalah syaratnya. Beberapa roda juga sering digunakan pada unit *main landing gear* untuk keselamatan tambahan, terutama pada pesawat komersial.

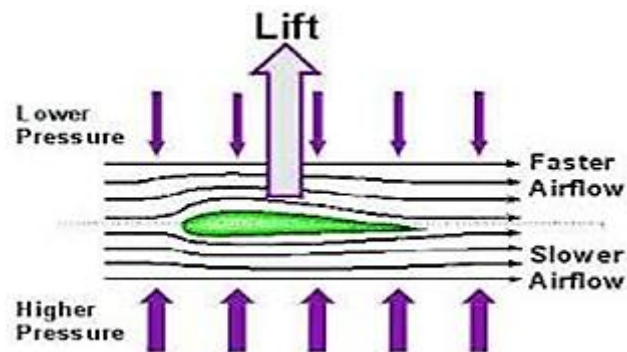


Gambar 2.20 *Airbus A380*
(Sumber: Lit. 7)

2.1.2 Aerodinamika

Aerodinamika diambil dari kata *aero* dan *dinamika* yang bisa diartikan udara dan perubahan gerak. Dari kata tersebut, aerodinamika juga bisa diartikan sebagai perubahan gerak dari suatu benda akibat dari hambatan udara ketika benda tersebut melaju dengan kencang. Benda yang dimaksud diatas dapat berupa kendaraan bermotor maupun transportasi udara yang erat hubungannya dengan perkembangan aerodinamika sekarang ini.

Dalam merancang suatu pesawat, hal terpenting adalah membuat perkiraan awal untuk karakteristik dasar aerodinamis (*drag* dan *lift*) dari suatu pesawat. Udara mengalir melewati pesawat terbang atau badan pesawat, harus dialihkan dari jalur aslinya. Hal tersebut menyebabkan perubahan kecepatan udara. Persamaan Bernoulli menunjukkan bahwa tekanan yang diberikan oleh udara di pesawat merubah aliran menjadi aliran yang mengganggu. Selain itu, viskositas udara juga menyebabkan gaya gesek yang cenderung menahan aliran udara. Menurut Houghton A. (2013), ada tiga penjelasan yang diterima untuk fenomena munculnya gaya angkat pada *wing*, Prinsip Bernoulli, Hukum III Newton, dan Efek *Coanda*. *Wing* pesawat memiliki kontur potongan melintang yang unik. Pada *airfoil*, permukaan atas sedikit melengkung membentuk kurva cembung, sedangkan permukaan bawah relatif datar. Bila aliran udara mengenai kontur *airfoil* ini, maka ada kemungkinan bahwa udara bagian atas akan memiliki kecepatan lebih tinggi dari bagian bawah. Hal ini disebabkan karena udara bagian atas harus melewati jarak yang lebih panjang (permukaan atas *airfoil* adalah cembung) dibandingkan udara bagian bawah. 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 *wing*. Hal inilah yang menciptakan gaya angkat (*lift*).



Gambar 2.21 Arah Aliran Fluida Pada *Airfoil*
(Sumber: Lit. 8, Hal. 2-5)

Penjelasan menggunakan Hukum III Newton menekankan pada prinsip perubahan momentum manakala udara dibelokkan oleh bagian bawah *wing* pesawat. Dari prinsip aksi reaksi, muncul gaya pada bagian bawah *wing* yang besarnya sama dengan gaya yang diberikan *wing* untuk membelokkan udara. Sedangkan penjelasan menggunakan Efek Coanda menekankan pada beloknya kontur udara yang mengalir di bagian atas *wing*. Bagian atas *wing* pesawat yang cembung memaksa udara untuk mengikuti kontur tersebut. Pembelokan kontur udara tersebut dimungkinkan karena adanya daerah tekanan rendah pada bagian atas *wing* pesawat (atau dengan penjelasan lain pembelokan kontur udara tersebut menciptakan daerah tekanan rendah). Perbedaan tekanan tersebut menciptakan perbedaan gaya yang menimbulkan gaya angkat (L).

2.1.3 *Airfoil*

Airfoil adalah suatu bentuk geometri yang dirancang sedemikian rupa untuk mendapatkan reaksi terhadap aliran fluida yang dilaluinya. Gaya-gaya aerodinamika yang bekerja pada sebuah *airfoil* diperoleh dari sebuah hasil penjumlahan atau *integrasi* distribusi tekanan statik dan tegangan geser sepanjang permukaan atas dan permukaan bawah *airfoil*, sehingga diperoleh bilangan-bilangan tak berdimensi atau koefisien-koefisien seperti gaya angkat (*lift coefficient*) dan koefisien gaya hambat (*drag coefficient*). Koefisien - koefisien tersebut dan koordinat titik pusat tekan aerodinamika adalah nilai - nilai yang dibutuhkan untuk menentukan sifat-sifat dan karakteristik performa aerodinamika dari bentuk-bentuk *airfoil* sebagai fungsi sudut serangnya.

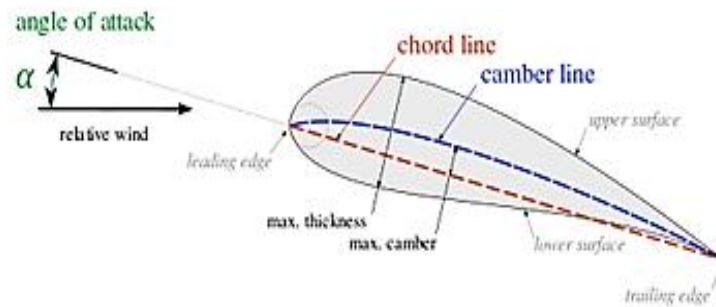
Untuk *airfoil* NACA, telah dikeluarkan standar data beserta karakteristik aerodinamika-nya yang dinyatakan dalam bentuk *serial number* yang terdiri dari empat digit angka, yang mana setiap digitnya mempunyai arti sebagai berikut:

- a. Angka pertama: menunjukkan nilai maksimum *chamber* dalam persentase terhadap *chord*.
- b. Angka kedua: menunjukkan lokasi dari maksimum *chamber* dalam persepuluh *chord*.
- c. Dua angka terakhir: menunjukkan maksimum *thickness* dalam persentase *chord*.

Berdasarkan bentuk *serial number* dari NACA tersebut, maka untuk *airfoil* simetris dua angka pertama adalah sama dengan nol, karena bentuk dari *airfoil* simetris tersebut tidak ber-*chamber*, dalam artian *chamber*-nya selalu nol, dan *airfoil* yang tidak simetris untuk angka yang pertama tidak dimulai angka nol.

Dengan pengertian variabel geometris *airfoil* sebagai berikut:

- a. *Leading edge* (LE) adalah tepi depan dari *airfoil*.
- b. *Trailing edge* (TE) adalah tepi belakang *airfoil*.
- c. *Chord* (c) adalah jarak antara *leading edge* dengan *trailing edge*.
- d. *Chord line* adalah garis lurus yang menghubungkan *leading edge* dengan *trailing edge*.
- e. *Chamber line* adalah garis yang membagi sama besar antara permukaan atas dan permukaan bawah dari *airfoil*.
- f. Maksimum *chamber* (z_c) adalah jarak maksimum antara *mean chamber line* dan *chord line*. Posisi maksimum *chamber* diukur dari *leading edge* dalam bentuk persentase *chord*.
- g. Maksimum *thickness* (t_{\max}) adalah jarak maksimum antara permukaan atas dan permukaan bawah *airfoil* yang juga diukur tegak lurus terhadap *chord line*.



Gambar 2.22 Bagian-Bagian *Airfoil*
(Sumber: Lit. 8)

2.2 Hal – Hal Utama dalam Aeromodeling

Terdapat beberapa hal penting yang harus diperhatikan dalam pembuatan pesawat aeromodeling.

2.2.1 Prinsip Kerja Aeromodeling

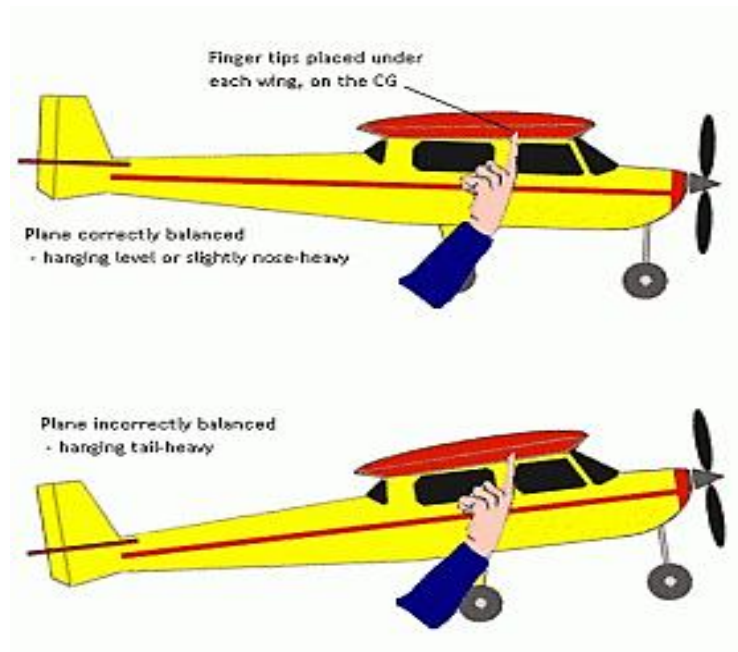
Prinsip kerjanya adalah, pilot mengirimkan sinyal dari *remote (transmitter)* ke *receiver* yang berada di dalam pesawat, kemudian *receiver* tersebut memberikan perintah ke servo dan motor yang ada di dalam pesawat untuk bergerak sesuai keinginan pilot. Prinsip untuk mengontrol gerakan pesawat adalah identik dengan kontrol pada pesawat konvensional, yaitu menggunakan *propeller* untuk mendorong/menarik pesawat sehingga bergerak maju, serta menggunakan *control surface* untuk ber-manuver.

2.2.2 *Center of Gravity* pada Aeromodeling

Center of gravity atau CG merupakan hal yang harus diperhatikan sebelum terbang. CG adalah titik berat atau massa, yang mana semua beban seakan-akan berada di titik tersebut, dengan kata lain, ketika kita mengangkat benda tersebut pada CG tersebut, maka benda tersebut akan seimbang.

Pada aeromodeling, CG menjadi titik tumpu dan titik acuan dari gerakan pesawat saat melakukan gerakan rotasi dan translasi, sehingga CG akan sangat menentukan *attitude* terbang pesawat, terutama stabilitas *longitudinal*. CG dapat diatur dengan mengatur posisi komponen elektronik di dalam pesawat, seperti menggeser posisi baterai. Baterai yang direkatkan dengan perekat yang tidak permanen bertujuan untuk meningkatkan fleksibilitas mengatur CG.

Berikut ini adalah cara menentukan CG pada aeromodeling. CG adalah titik dimana lokasi tangan atau jari yang kita gunakan untuk mengangkat pesawat dan pesawat tersebut seimbang seperti pada gambar berikut.



Gambar 2.23 Cara Menentukan CG pada Aeromodeling
(Sumber: Lit. 10)

2.2.3 Power Loading dan Wing Loading pada Pesawat Aeromodeling

Pada dasarnya, yang membedakan aeromodeling satu dengan yang lain adalah kategorinya. Kategori pesawat mewakili performanya, baik kecepatan, stabilitas, kemampuan *maneuver*, *endurance*, hingga beban yang dialami struktur pesawat. Sedangkan kategori tersebut secara kasar dapat diwakili oleh nilai *power loading* dan *wing loading*.

Power loading adalah perbandingan antara daya mesin pendorong pesawat terhadap berat pesawat. Semakin besar daya mesin, semakin besar pula *power loading*, sedangkan semakin berat pesawat, semakin kecil *power loading*. *Power loading* menggambarkan seberapa besar daya yang dimiliki pesawat dengan berat tertentu, semakin besar *power loading*, maka pesawat akan semakin *powerful* sehingga lebih mudah dikontrol dan tidak mudah terbawa angin serta secara umum dapat memiliki kecepatan yang tinggi.

Wing loading adalah perbandingan antara berat pesawat dengan luasan *wing*. Semakin berat pesawat, maka *wing loading* akan semakin besar, sedangkan semakin luas *wing*, *wing loading* akan semakin kecil. *Wing loading* yang besar menggambarkan pesawat yang lincah dan kurang stabil serta pada umumnya berkecepatan tinggi. Semakin besar *wing loading*, maka kekuatan struktur *wing* juga harus ditingkatkan.

2.2.4 Bahan - Bahan dan Komponen Aeromodeling

Untuk membuat sebuah model pesawat tentunya terdapat bahan - bahan dan komponen yang diperlukan. Adapun bahan dan komponen untuk membuat model pesawat yaitu:

a. Motor

Mengubah daya listrik dari baterai menjadi daya putar untuk memutar *propeller* (baling-baling), sehingga *propeller* tersebut menarik/mendorong pesawat baik di darat maupun di udara. Motor yang biasa digunakan adalah motor *brushless*.



Gambar 2.24 Motor *Brushless*
(Sumber: Lit. 12)

Dalam pemilihan motor ini, harus ditentukan terlebih dahulu performa yang diharapkan, apakah pesawat ingin ber-manuver seperti *aerobatic* atau *trainer* misalnya. Dari pemilihan tersebut kita dapat asumsikan *power loading* yang disarankan untuk kategori tersebut.

Untuk mendapatkan nilai aman, daya tersebut dibagi dengan efisiensi motor, efisiensi *propeller* dan kondisi persen *throttle* saat *cruise*.

b. *Electronic Speed Controller*



Gambar 2.25 *Electronic Speed Controller*
(Sumber: Lit. 12)

Electronic Speed Controller (ESC) adalah pengatur besar kecilnya daya yang dikeluarkan dari baterai dan digunakan oleh motor. Semakin besar daya yang disalurkan, semakin cepat motor berputar, dan gaya dorong yang dihasilkan semakin besar. ESC dikendalikan secara elektronik menggunakan *receiver*.

Hal yang penting yang harus diperhatikan dalam memilih ESC adalah maksimum *ampere* pada ESC. Nilai maksimum *ampere* yang kita pilih pada ESC harus lebih besar atau sama dengan *ampere* yang dibutuhkan oleh motor, jika nilai tersebut lebih rendah, ESC tersebut akan cepat panas dan kadang bisa terbakar. Namun maksimum *ampere* yang terlalu besar tentunya akan lebih berat dan pada umumnya jauh lebih mahal.

c. *Baterai*



Gambar 2.26 *Baterai*
(Sumber: Lit. 12)

Baterai adalah sumber daya dari pesawat. Baterai yang biasa digunakan adalah baterai *Lithium Polimer* atau LiPo. Pada umumnya baterai menjadi komponen paling berat pada pesawat *aeromodelling*. Baterai mudah rusak jika tidak dirawat dengan baik.

d. Receiver



Gambar 2.27 Receiver
(Sumber: Lit. 14)

Receiver merupakan penangkap sinyal dari perintah yang kita berikan dari *transmitter* sehingga dapat dikontrol sesuai keinginan kita tanpa kabel. *Receiver* berfungsi mengontrol ESC dan *servo* secara elektronik untuk menjalankan fungsinya.

e. Transmitter



Gambar 2.28 Transmitter
(Sumber: Lit. 14)

Transmitter atau *remote control* adalah komponen yang dipegang oleh pilot di darat untuk mengendalikan pesawat dengan cara mengirmkan sinyal ke *receiver*. Pada umumnya, *transmitter* bekerja menggunakan gelombang radio.

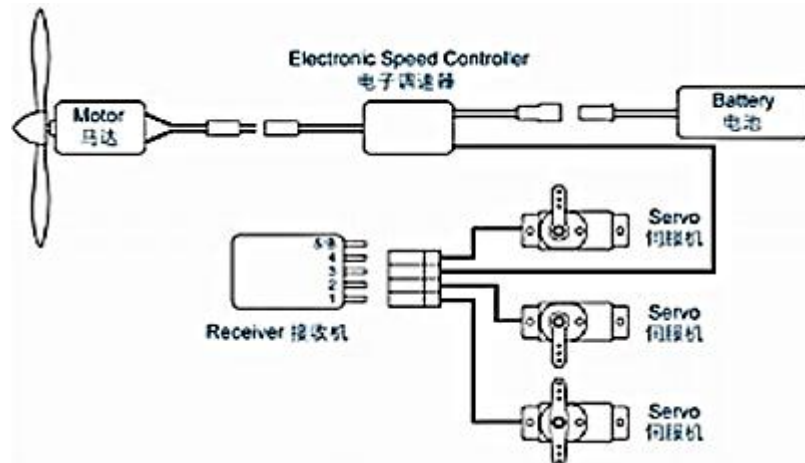
f. *Servo*



Gambar 2.29 *Servo*
(Sumber: Lit. 14)

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

Berikut ini adalah gambaran diagram rangkaian dasar elektronika pada pesawat aeromodeling:



Gambar 2.30 Diagram Rangkaian Dasar Elektronika pada *Aeromodelling*
(Sumber: Lit. 14)

g. *Polyfoam*

Polyfoam atau sering disebut *depron* pada dasarnya adalah *styrofoam* padat (densitas tinggi) yang tersedia pada ketebalan hingga 3 mm. *Polyfoam* biasa digunakan untuk insulasi ruangan agar panas/dingin tidak keluar dari ruangan. Bahan ini memiliki sifat yang sangat kaku namun cukup ringan serta mudah dipotong-potong sesuai kreatifitas sehingga ideal untuk bahan aeromodeling.

Polyfoam mudah untuk disambung dengan lem tembak (*glue gun*) atau dengan lem berbasis *epoxy* dan biasanya menggunakan rangka penguat berupa triplek (*polywood*). Pesawat aeromodeling dengan bahan ini dapat menghasilkan *airframe* yang sangat ringan. Kekurangan dari bahan *polyfoam* adalah sifatnya yang jika sekali patah, maka patahan akan sangat fatal dan melebar dengan cepat sehingga terkadang sudah tidak layak digunakan lagi dan harus membuat baru. Tingkat kekerasan *polyfoam* kurang tinggi, sehingga mudah tergores atau cacat pada permukaannya. Adapun kesulitan dalam mendesain pesawat *polyfoam* adalah dikarenakan *polyfoam* berupa lembaran, desain dengan hasil akhir yang berbentuk kotak-kotakan susah didapat. Kemudian, bahan ini tidak dapat dilem dengan sembarang lem, misalkan lem CA yang malah akan melelehkan bahan ini.

h. Propeller

Pemilihan *propeller* pada aeromodeling sebenarnya adalah hal yang fleksibel dan biasanya memerlukan *trial and error* serta pengalaman di lapangan. Pemilihan *propeller* sangatlah penting untuk menentukan performa terbang pesawat. Pemilihan *propeller* yang tepat adalah mengikuti rekomendasi dari motor yang disediakan oleh pembuat komponen tersebut. Dua hal paling penting yang harus diketahui dalam pemilihan *propeller* adalah ukuran diameter dan *pitch*.

Prinsip kerja *propeller* identik dengan *wing*, yaitu memanfaatkan *airfoil* yang bergerak secara berputar sehingga menghasilkan gaya aerodinamika yang mana gaya ini disebut *thrust* atau gaya dorong. Gerakan berputar dari *propeller* mengakibatkan kecepatan gerak *airfoil* pada ujung dan pangkal *propeller* berbeda, oleh karena itu *angle of attack* bilah *propeller* dari pangkal ke ujung dibuat semakin kecil, sehingga gaya yang dihasilkan sama.



Gambar 2.31 *Propeller* Pesawat Cessna 180 Skywagon
(Sumber: Lit. 3)

i. *Landing Gear*

Landing gear yang digunakan pada aeromodeling yang akan dibuat yaitu berjenis landing gear conventional. Alasan pemilihan jenis landing gear tersebut yaitu karena sesuai dengan landing gear pesawat Cessna 180 Skywagon. Selain itu karena dengan landing gear itu sudah terbentuknya sebuah sudut serang (*Angle of Attack*) pada saat pesawat di ground yang berfungsi untuk memudahkan take-off. Dan juga agar propeller tidak menyentuh ground pada saat pesawat di ground.

2.3 Rumus-rumus Perancangan Pesawat Aeromodeling

Pada rumus-rumus perancangan aeromodeling, rumus yang digunakan merupakan rumus empiris atau rumus yang didapat dari *trial and error* pada pengujian di lapangan.

a. *Wing*

Wing span dan *wing chord* merupakan bagian model pesawat yang pertama kali dihitung. *Wing span* merupakan jarak dari *wing tip* sampai *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 baik adalah 5:1 dan 6:1. *Ratio* 6:1 lebih umum digunakan untuk pesawat tipe *trainer*.

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

$$\text{Aspect ratio} = \frac{\text{Wing Span}}{\text{Chord}} \dots\dots\dots (2.1, \text{Lit. } 16)$$

Untuk *wing area*, dapat menggunakan rumus berikut.

$$\text{Wing Area} = \text{Wing Span} \times \text{Wing Chord} \dots\dots\dots (2.2, \text{Lit. } 16)$$

b. Fuselage

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

$$\text{Fuselage length} = 70\% \times \text{wing span} \dots\dots\dots (2.3, \text{Lit. } 16)$$

c. Empennage

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

Untuk menghitung *tail area* dapat menggunakan rumus berikut.

$$\text{Tail Area} = 20\% \times \text{Wing Area} \dots\dots\dots (2.4, \text{Lit. } 16)$$

Untuk menghitung *tail span* dapat menggunakan rumus berikut.

$$\text{Tail Span} = 2 \times \text{Wing Chord} \dots\dots\dots (2.5, \text{Lit. } 16)$$

Untuk menghitung *tail chord* dapat menggunakan rumus berikut.

$$\text{Tail Chord} = \frac{\text{Tail Area}}{2 \times \text{Wing Chord}} \dots\dots\dots (2.6, \text{Lit. } 16)$$

d. Flight Control Surface

Flight control surface terdiri dari salah satunya *primary control surface*. *Primary control surface* merupakan pengendali utama pesawat, yaitu *aileron*, *elevator* dan *rudder*.

Jenis *aileron* yang ditentukan adalah *barn door aileron*. Untuk menghitung *barn door aileron* dapat menggunakan rumus berikut.

$$\text{Aileron Chord} = 25\% \times \text{Wing Chord} \dots\dots\dots (2.7, \text{Lit. } 16)$$

$$\text{Aileron Span} = \frac{1}{4} \times \text{Wing Span} \dots\dots\dots (2.8, \text{Lit. } 16)$$

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

$$\text{Elevator Chord} = \frac{(35\% \times \text{Tail Area})}{\text{Tail Span}} \dots\dots\dots (2.9, \text{Lit. 16})$$

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

$$\text{Fin Area} = 40\% \times \text{Tail Area} \dots\dots\dots (2.10, \text{Lit. 16})$$

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

$$\text{Rudder Area} = 35\% \times \text{Fin Area} \dots\dots\dots (2.11, \text{Lit. 16})$$

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

$$\text{Fin Height} = \frac{\text{Rudder Area}}{\text{Rudder Chord}} \dots\dots\dots (2.12, \text{Lit. 16})$$

$$\text{Fin Width} = \frac{\text{Fin Area}}{\text{Fin Height}} \dots\dots\dots (2.13, \text{Lit. 16})$$

$$\text{Rudder Chord} = \text{Elevator Chord} \dots\dots\dots (2.14, \text{Lit. 16})$$

$$\text{Rudder Span} = \text{Fin Height} \dots\dots\dots (2.15, \text{Lit. 16})$$

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.

$$\text{CG} = (25\% - 30\%) \times \text{Chord} \dots\dots\dots (2.16, \text{Lit. 16})$$

f. **Power Loading dan Wing Loading**

Power loading merupakan perbandingan antara daya dengan berat pesawat. Nilai *power loading* yang umum digunakan sebagai acuan untuk pesawat *trainer* adalah 110 Watt/kg atau 0,11 Watt/gr. *Power loading* dapat dihitung secara manual menggunakan rumus berikut.

$$\text{Power Loading} = \frac{\text{Power}}{\text{Weight}} \dots\dots\dots (2.17, \text{Lit. 11})$$

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

$$\text{Wing Loading} = \frac{\text{Weight}}{\text{Wing Area}} \dots\dots\dots (2.18, \text{Lit. 11})$$

g. Motor

Berdasarkan acuan umum *power loading* yang bernilai 0,11watt/gr. Selanjutnya dapat dicari *power* motor dengan menggunakan rumus berikut.

$$Power\ Motor = \frac{Weight\ x\ Power\ Loading}{Motor\ Efficiency\ x\ Throttle\ Percent} \dots\dots\dots (2.19, Lit. 17)$$

Angka yang biasa digunakan pada efisiensi motor adalah 70%-85% dan persen *throttle* adalah 20%-50%. Angka tersebut tergantung pada keinginan pilot dan banyak faktor lainnya. Setelah mendapatkan nilai *power* motor, selanjutnya dapat ditentukan motor yang ada dalam kelas *power* tersebut.

h. Baterai

Adapun parameter yang harus diperhatikan dalam pemilihan baterai adalah jumlah sel (S), *discharge* (C) dan kapasitas (mAh). Jumlah sel menentukan voltase dari baterai tersebut pada keadaan kosong 1S = 3,7V. Kemudian *discharge* memperlihatkan seberapa besar *rating* atau kecepatan arus yang dapat dikeluarkan, dan kapasitas menunjukkan berapa lama baterai tersebut dapat bekerja pada *ampere* tertentu.

Pada umumnya, pada motor yang dipilih, terdapat rekomendasi baterai yang harus digunakan, misalkan 2S~3S. 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 juga harus lebih besar dari daya yang dibutuhkan oleh motor. Secara teoritis, rumus untuk mencari baterai yang sesuai, pertama harus konversi *mili Ampere hour* menjadi *Ampere hour*.

$$Ah = mAh/1000 \dots\dots\dots (2.20, Lit. 12)$$

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

$$Amp\ Baterai = Ah\ x\ C\ baterai \dots\dots\dots (2.21, Lit. 12)$$

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

i. *Electronic Speed Controller* (ESC)

Seperti pemilihan baterai, pada umumnya pemilihan *electronic speed controller* atau yang biasa disebut ESC juga diberikan rekomendasi oleh motor

yang dipilih. Hal yang penting yang harus diperhatikan dalam memilih ESC adalah maksimum *ampere* pada ESC. Nilai maksimum *ampere* yang dibutuhkan oleh motor, jika nilai tersebut lebih rendah, seperti baterai, ESC tersebut akan cepat panas dan terkadang bisa terbakar. Namun maksimum *ampere* yang terlalu besar tentunya akan lebih berat dan pada umumnya jauh lebih mahal.

Berikut perhitungan nilai maksimum *ampere* ESC yaitu.

$$\text{Heat Lost } 10\% = \text{Amp Motor} \times 10\% \dots\dots\dots (2.22, \text{ Lit. } 12)$$

$$\text{Amp} = \text{Amp Motor} + \text{heat lost } 10\% \dots\dots\dots (2.23, \text{ Lit. } 12)$$

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

$$\text{Amp ESC} = \text{Amp} + (\text{Amp} \times 10\%) \dots\dots\dots (2.24, \text{ Lit. } 12)$$

j. Propeller

Adapun secara teoritis, pemilihan *propeller* dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut

$$\text{Kecepatan sudut } \textit{propeller} \quad n = \text{Rps Motor} \times \textit{Pitch} \dots\dots\dots (2.25, \text{ Lit. } 15)$$

$$\textit{Thrust} \text{ yang dihasilkan} \quad T = C_T \times \rho \times n^2 \times D^4 \dots\dots\dots (2.26, \text{ Lit. } 15)$$

dengan

- D : Diameter *propeller*
- n : Kecepatan sudut *propeller*
- T : Gaya dorong *propeller*
- C_T : *Thrust coefficient* (0.1)
- ρ : Massa jenis udara (1.225 kg/m³)

Ukuran *propeller* yang digunakan biasanya dapat dilihat pada spesifikasi motor. Pada spesifikasi motor, umumnya akan ada rekomendasi ukuran *propeller* oleh pembuat motor.

k. Servo

Adapun pemilihan servo dapat ditentukan dengan menggunakan rumus berikut.

$$\text{Stall Torque} = \frac{\text{Aileron Weight}}{\text{Push Rod Length}} \dots\dots\dots (2.27, \text{ Lit. } 23)$$

2.4 Kontes Robot Terbang Indonesia

Kontes Robot Terbang Indonesia atau yang dikenal dengan KRTI merupakan suatu kompetisi yang diadakan oleh Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi melalui Direktorat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (Ditlitabmas) yang pertama kali diadakan pada tahun 2013 dengan Institut Teknologi Bandung (ITB) sebagai penyelenggara. KRTI melombakan empat divisi, yaitu *Racing Plane* (RP), *Fixed-Wing* (FW), *Vertical Take-off and Landing* (VTOL) dan *Tecnology Development*.

2.4.1 Divisi *Racing Plane* (RP)

Tema dari divisi ini adalah *fast and on track* yaitu tercepat dan pada lintasan. Salah satu kemampuan dasar wahana terbang type *fixed-wing* adalah dapat lepas landas pada area yang terbatas, terbang cepat mencapai lokasi yang diinginkan secara aman, akurat pada lintasan yang diinginkan dan dapat kembali ke *base* untuk mendarat dengan selamat. Misi-misi khusus seperti pertolongan dan pertahanan memerlukan wahana terbang yang memiliki kemampuan terbang cepat ini. Namun, performa tersebut biasanya harus dibayar dengan tingkat konsumsi energi yang besar. Divisi *racing plane* memberikan tantangan untuk merancang, membuat dan menerbangkan wahana terbang *fixed wing* yang dapat terbang cepat pada lintasannya namun dengan memperhatikan kualitas rancangan dan pembuatannya agar konstruksi serta konsumsi energinya tetap efisien.

Divisi ini hanya terdiri satu kelas, yaitu kelas bebas, dengan penggerak harus berbasis motor elektrik dan bilah *propeller* dari bahan non-logam. Pesawat harus dibuat sendiri. Dalam hal ini, ukuran motor dan kapasitas baterai tidak dibatasi. Wahana harus melakukan *take-off* menggunakan *launcher*. Tipe dan konstruksi *launcher* tidak dibatasi. Teknik pendaratan juga tidak dibatasi, namun arah pendaratan harus searah lintasan berangkat dan harus dapat mendarat pada area yang ditentukan serta dipastikan bahwa pesawat tidak mengalami kerusakan fatal pada bagian *airframe* utama. Pesawat harus dilengkapi dengan lampu navigasi yang sesuai.

Lintasan lomba berada dalam sebuah kolom dengan lebar 10 m dan panjang 500 m. Pesawat harus lepas landas di belakang garis *start*, berada dalam kolom

lintasan hingga garis 500 m, melakukan manuver berbalik arah dan *finish* dalam *gate* di garis *start*. Total panjang lintasan adalah 2 x 500 m. Setelah melintasi garis *finish*, pesawat harus dapat mendarat pada area yang ditentukan dalam waktu 1 menit.

Adapun spesifikasi wahana (aeromodeling) menurut divisi *racing plane* ini yaitu.

1. Wahana harus didesain dan dibuat berdasarkan kaidah aerodinamika dan struktur *airframe* yang benar. Hal ini harus dapat dibuktikan dengan menunjukkan bahwa wahana sudah pernah terbang dengan baik dan aman sebelumnya. Wahana yang digunakan dalam kontes tidak boleh berbeda dengan yang ditunjukkan dalam proses Evaluasi tahap II.
2. Wahana memiliki batasan maksimum TOW (*take-off weight*) 3000 g.
3. Wahana memiliki batasan dimensi *wing-span* maksimum 1,75m.
4. Desain struktur, dimensi dan material tidak dibatasi, namun penggerak harus menggunakan motor elektrik dengan *propeller/fan* bukan dari jenis logam.
5. Penggunaan baterai tidak dibatasi, baik jumlah sel, tegangan maupun daya.

2.5 Maintenance Management

Maintenance (perawatan) pada pesawat udara didefinisikan sebagai semua pekerjaan yang dilakukan untuk memepertahankan pesawat udara, komponen-komponen dan perlengkapan pesawat udara dalam keadaan laik udara.

A) Pengertian Laik Udara

Menurut undang-undang penerbangan, pengertian laik udara adalah terpenuhinya persyaratan minimum kondisi pesawat udara dan/atau komponennya untuk menjamin keselamatan penerbangan dan mencegah terjadinya pencemaran lingkungan.

Menurut *Federal Aviation Administration* (FAA) tertuang dalam *FAA order* No. 8300.9 *section* 15 terbitan 26 Juli 1985 pengertian laik udara adalah suatu pesawat udara dinyatakan dalam kondisi “Laik Udara” apabila memenuhi dua kondisi, yaitu pesawat udara harus memenuhi atau sesuai dengan *type design* atau *type certificate* dan pesawat udara harus dalam kondisi aman untuk dioperasikan.

Beberapa hal yang penting dan harus tercakup dalam sistem peraturan kelaikan udara setiap negara, yaitu sebagai berikut.

1. *Registration of aircraft*
2. *Aircraft type certification*
3. *Issue of certification of airworthiness*
4. *Approval of aircraft maintenance organization*
5. *Certification of operator*
6. *Licensing of personnel*

B) Sasaran dan *Responsibility for Maintenance*

Tiga sasaran dasar dari perawatan pesawat udara adalah:

1. Mengupayakan keselamatan penerbangan semaksimal mungkin artinya perawatan mampu menjamin bahwa setiap bagian atau perlengkapan memiliki tingkat performansi yang tinggi dengan demikian keselamatan penerbangan akan terjamin.
2. Mengoptimalkan ketersediaan pesawat udara artinya keberadaan *maintenance* mampu memenuhi persyaratan keselamatan dan mencegah terjadinya kerusakan-kerusakan. Dengan demikian akan semakin banyak pesawat yang siap untuk diterbangkan. Pesawat dapat dioperasikan secara optimal (efisiensi jam terbang) sehingga memberikan keuntungan.
3. Mengupayakan biaya perawatan (*maintenance cost*) serendah mungkin. Biaya perawatan antara lain meliputi pengadaan fasilitas, material, komponen-komponen dan sumber daya manusia diupayakan seefisien mungkin.

Adapun *responsibility* untuk *maintenance* yaitu:

1. Setiap organisasi yang mengoperasikan pesawat udara untuk pengangkutan penumpang atau kargo memiliki tanggung jawab utama untuk merawat pesawatnya dalam keadaan aman dan laik udara (*safe and airworthy*).
2. Terlepas apakah *maintenance* itu dilakukan oleh organisasi itu sendiri atau dikontrakkan ke organisasi lain maka penanggung jawab utama dari kelaikan udara adalah operator yang mengoperasikannya.

3. Semua pekerjaan *maintenance* dan *modification* pada pesawat udara, komponen-komponen dan perlengkapan pesawat udara hendaknya dilaksanakan, disahkan (disertifikasi) dan dicatat sesuai dengan persyaratan yang telah ditetapkan dalam CASR.
4. Operator hendaknya memiliki buku pedoman perawatan (*maintenance manual*) yang dapat dipergunakan sebagai pedoman/*guide* bagi setiap personil yang berkaitan dengan pelaksanaan perawatan pesawat udara.

Manual harus memuat informasi mengenai *approved aircraft specification*, prosedur inspeksi dan perawatan yang berlaku untuk pesawat yang dioperasikan, tanggung jawab personil inspeksi dan perawatan, dan daftar organisasi/kontraktor yang dikontrak untuk melakukan pekerjaan tertentu yang tidak diizinkan dikerjakan sendiri oleh operator.

C) Perawatan pesawat udara

Perawatan pesawat terbang harus memenuhi CASR Part 21, Part 23, dan Part 25. Perawatan pesawat udara diklasifikasikan menurut tempat pelaksanaan, jumlah waktu untuk perawatan dan konsep atau proses perawatan.

1. Menurut Tempat Pelaksanaan

Menurut tempat pelaksanaannya, perawatan pesawat dibagi menjadi dua. Yang pertama *line maintenance*. *Line maintenance* ini dilaksanakan di *line station* atau *flight line of an airlines base station*. Jenis pekerjaannya terdiri dari *routine task* dengan *low interval* dan *non routine task*. *Routine task* meliputi *servicing*, *cleaning*, *refueling*, dan inspeksi ringan. *Non routine task* seperti penggantian komponen sampai penggantian *engine*. Sifat pekerjaannya mengutamakan keberangkatan pesawat terutama menuju *base* dengan mengingat keterbatasan waktu, *manpower* dan fasilitas pada *line station*.

Yang kedua yaitu *base maintenance*. *Base maintenance* dilaksanakan di *airlines base maintenance*. Sifatnya adalah *fixed oriented*, karena memiliki *manpower* dan fasilitas yang memadai sehingga mampu melaksanakan semua macam pekerjaan perawatan.

2. Menurut Jumlah Waktu Untuk Perawatan

Yang pertama yaitu *minor maintenance*. Merupakan pekerjaan perawatan yang memerlukan *aircraft down time* kurang dari 24 jam. Pekerjaan yang dilakukan mencakup pekerjaan rutin seperti *pre flight check* sampai “B” *check work packages* serta pekerjaan tidak rutin lainnya seperti perbaikan ringan. Pelaksanaan pekerjaan *minor maintenance* dilakukan di *line station* atau *maintenance base*.

Yang kedua yaitu *major or heavy maintenance*. Merupakan semua pekerjaan yang memerlukan *aircraft down time* lebih dari 24 jam. Pekerjaan ini meliputi *structural inspection and repair, overhaul, cabin refurbishment, paint removal*, dan lainnya. Pelaksanaan *major maintenance* ini dilakukan di *maintenance base*.

3. Menurut Konsep/Proses Perawatan

Yang pertama yaitu *hard time maintenance*. Merupakan proses *preventive maintenance* agar suatu *part, component, assembly* tidak mengalami *failure* dan mengganggu keselamatan dengan cara diganti atau di *overhaul* pada *interval* waktu tertentu.

Yang kedua yaitu *on condition maintenance*. Merupakan proses *preventive maintenance* yang dilakukan pada unit-unit, sistem-sistem atau bagian dari struktur yang kondisinya dapat ditentukan melalui pemeriksaan (*inspection*) atau mengetes secara berulang-ulang pada interval waktu tertentu. Interval waktu pemeriksaan mula-mula pendek dan kemudian semakin bertambah bila telah ada *service experience*.

Yang ketiga yaitu *condition monitoring maintenance*. Digunakan pada parts atau sistem yang tidak memerlukan *preventive maintenance*, dalam proses ini kerusakan/*malfunction* diizinkan terjadi. Bila terjadi kelainan-kelainan dalam operasi atau penurunan *performance* yang diketahui dari hasil monitoring maka akan dilakukan pekerjaan tertentu. Dari hasil monitoring ini akan dianalisis untuk menentukan langkah-langkah tindakan yang tetap misalnya penyetelan, perbaikan atau pergantian.

D) *Maintenance Program*

Dalam penyusunan *maintenance program* perlu dipertimbangkan faktor-faktor berikut seperti *maintenance requirement*, komersial, operasional, geografis, ekonomis, *manpower* dan peraturan pemerintah.

Kerangka kerja dari suatu operator *manitenance program* yang disusun oleh airline umumnya memiliki pola yang sama, seperti uraian berikut ini.

A. *Service Check*

Pada akhir setiap penerbangan dan pada akhir setiap pengoperasian pesawat, beberapa pekerjaan perawatan harus dilaksanakan pesawat transport. Pekerjaan ini biasanya disebut *walk around check*, *preflight check*, *lay over check*, *over night check* atau *service check*.

B. *A, B, and C Check*

Dalam *maintenance check* tidak ada hirarki bahwa pekerjaan yang satu lebih penting dari pekerjaan yang lainnya. Semua pekerjaan (*task*) adalah penting untuk dikerjakan pada setiap *interval* waktunya. Tetapi ada hirarki untuk frekuensi pemeriksaan dan *ground time*. Dimulai dari *A-check*, *B-check* dan seterusnya, dimana semakin tinggi levelnya diperlukan *ground time* yang lebih tinggi dan frekuensi pelaksanaannya semakin menurun.

Maintenance check interval ground time terbagi menjadi berikut.

A-check after 50 to 200 flight hours in 2 to 6 hours

B-check after 300 to 800 flight hours in 6 to 12 hours

C-check after 1000 to 3000 flight hours in 24 to 48 hour

Interval waktu dan *ground time* berubah-ubah/berbeda tergantung pada tipe pesawat dan tipe operasinya.

C. *D Check atau Heavy Maintenance Visit*

Setelah pesawat dioperasikan selama tiga sampai lima tahun beberapa pekerjaan besar perlu dilakukan pada pesawat transport. Selama *aircraft down time* antara satu sampai empat minggu pekerjaan-pekerjaan besar dapat dilaksanakan seperti *paint removal*, *cabin refurbishment*, *control surface removal* dan *internal structure inspection*. Paket total disebut *D-check* atau jika isi paket berubah-ubah disebut *heavy maintenance*.

Non routine maintenance adalah pekerjaan-pekerjaan yang timbul karena adanya *malfunction*, keluhan-keluhan pilot atau temuan-temuan (*finding item*) pada pelaksanaan *routine maintenance*. Untuk memperkirakan jumlah waktu perawatan diasumsikan bahwa setiap satu jam *routine maintenance* akan menimbulkan satu jam *non routine maintenance*. Meskipun anggapan ini tidak selalu benar, tetapi dapat dipergunakan sebagai pendekatan yang baik untuk menghitung jumlah jam perawatan.

Modifikasi-modifikasi pada pesawat atau komponen-komponenya merupakan sumber lain dari *non routine maintenance*.