

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Penggunaan energi listrik pada sistem propulsi pesawat bukan merupakan hal baru. Pada tahun 1957 tepatnya tanggal 30 Juni Colonel H. J. Taplin dari United Kingdom tercatat untuk yang pertama kali menggunakan energi listrik untuk mengontrol pesawat *radio control* yang diberi nama Radio Queen. Pesawat ini menggunakan motor dengan jenis *permanent-magnet* serta menggunakan baterai jenis Silver-Zinc. Sayangnya pesawat eksperimen ini belum dapat terbang (Noth, 2008).

Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Fred Militky dari Jerman. Fred Militky tercatat sebagai orang pertama yang berhasil menerbangkan pesawat model bertenaga listrik pada Oktober 1957. Sejak saat itu penelitian dan pengembangan pesawat bertenaga listrik terus dilakukan terutama dalam bidang motor penggerak dan baterai (Noth, 2008).

Teknologi fotovoltaik tercatat sudah ada tiga tahun sebelum Fred Militky melakukan penelitiannya yaitu pada tahun 1954 di Bell Telephone Laboratories. *Solar cell* dari bahan *silicon* pertama kali dikembangkan oleh Darly Chapin, Calvin Fuller dan Gerald Pearson. *Solar cell* ini pada awalnya hanya memiliki efisiensi 4%. Namun penelitian terus dilakukan hingga mendapatkan efisiensi mencapai 11%. (Noth, 2008). 20 tahun kemudian *solar cell* mulai dilirik untuk digunakan pada pesawat model sebagai sumber energi motor penggerak propulsi.

Sunrise I merupakan *solar powered plane* pertama yang tercatat terbang dengan menggunakan 100% energi dari *solar cell*. Sunrise I memiliki daya 450 watt dari 4096 *solar cell* yang terpasang pada permukaan sayap. Pesawat ini dapat terbang tanpa menggunakan baterai selama 20 menit pada ketinggian 100 m (Mehta dkk, 2013). Sunrise I memiliki *design* yang cukup besar dengan bentang sayap (*wing span*, WS) 9,75 m dan panjang badan (*fuselage*, FS) 4,8 m dan berat 12,25 kg.

Sunrise I merupakan pesawat model yang terbang pertama kali menggunakan sistem *radio control* (Noth, 2008). Pengembangan pesawat ini terus dilakukan hingga menghadirkan versi terbaru yaitu sunrise II pada tahun 1975. Sunrise II memiliki bentang sayap yang sama, namun memiliki berat yang lebih ringan yaitu 10,21 kg dengan penambahan *solar cell* sebanyak 384 unit. *Solar cell* ini menghasilkan daya sebesar 600 watt dengan efisiensi sebesar 14% (Noth, 2008).

Penelitian terus berkembang seiring berkembangnya teknologi *solar cell*, *radio control*, dan UAV. Mulai tahun 1974 hingga tahun 2007 tercatat sudah ada 91 riset mengenai *solar powered airplane* (Noth, 2008). Pada tahun 1999 NASA membuat sebuah *solar powered airplane* dengan nama Helios, ini merupakan *solar powered airplane* pertama yang menggunakan baterai jenis Lithium Polimer (Li-Po) sebagai salah satu sumber energi lainnya. Helios menggunakan 62.120 *solar cell* yang terpasang pada pesawat dengan WS 75,3 m dan FS sepanjang 3,6 m (Klesh & Kabamba, 2007).

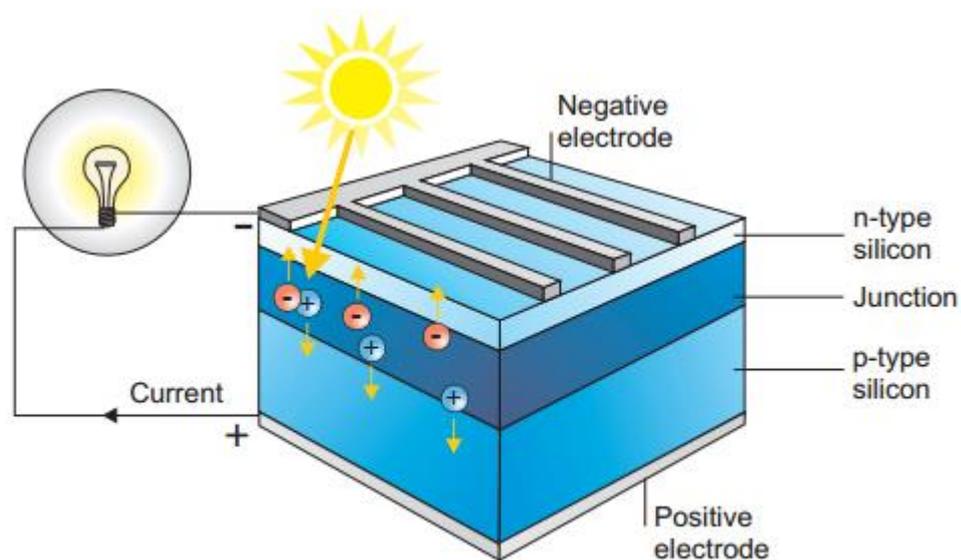
Pada tahun 2005, Andre Noth membuat rancangan *solar powered plane* dengan nama Sky-Sailor. Sky-Sailor menggunakan 216 *solar cell* dengan *output* daya sebesar 90 watt. Sky-Sailor memiliki WS 3,20 m dan FS 1,82 m dengan berat 2,5 kg. Sky-Sailor menggunakan *maximum power point tracker* (MPPT) sebagai *solar charger controller* (SCC) dan menggunakan baterai jenis Lithium Ion (Li-On). Hasilnya Sky-Sailor mampu terbang lebih dari 27 jam.

Penelitian ini berfokus pada peningkatan mobilitas UAV dengan perancangan UAV dengan ukuran yang lebih kecil. Penelitian ini juga membuat rancangan sistem pengisian (*charge*) dan pengurasan (*discharge*) baterai untuk memaksimalkan umur pakai baterai.

2.2. Landasan Teori

Solar cell merupakan sebuah alat konversi energi berupa radiasi matahari menjadi energi listrik. *Solar cell* terbuat dari material *semikonduktor* salah satunya *silicon* (Mehta dkk, 2013). *Solar cell* memiliki tiga bagian utama yang ditunjukkan oleh Gambar 2.1 yakni *n-type silicon*, *p-type silicon* dan *p/n junction*. Lapisan *n* memiliki kelebihan *electron* pada struktur atom *silicon*, sehingga *electron* ini dapat bergerak bebas. Lapisan *p* memiliki kekurangan *elektron* pada struktur atom *silicon*

atau kelebihan tempat kosong untuk *electron* yang disebut *hole*. Sedangkan *p/n* adalah lapisan pertemuan antara lapisan *p* dan lapisan *n* dimana terdapat lapisan bermuatan negatif dan lapisan bermuatan positif. Ketika matahari bersinar, cahaya akan membawa sejumlah energi yang disebut *photon*. Ketika *solar cell* terpapar cahaya matahari maka *photon* akan menabrak lapisan *n* yang menyebabkan *electron* bebas akan bergerak menuju lapisan bermuatan positif melalui plat konduktor. Pergerakan inilah yang akan menyebabkan aliran listrik searah atau *direct current* (DC)



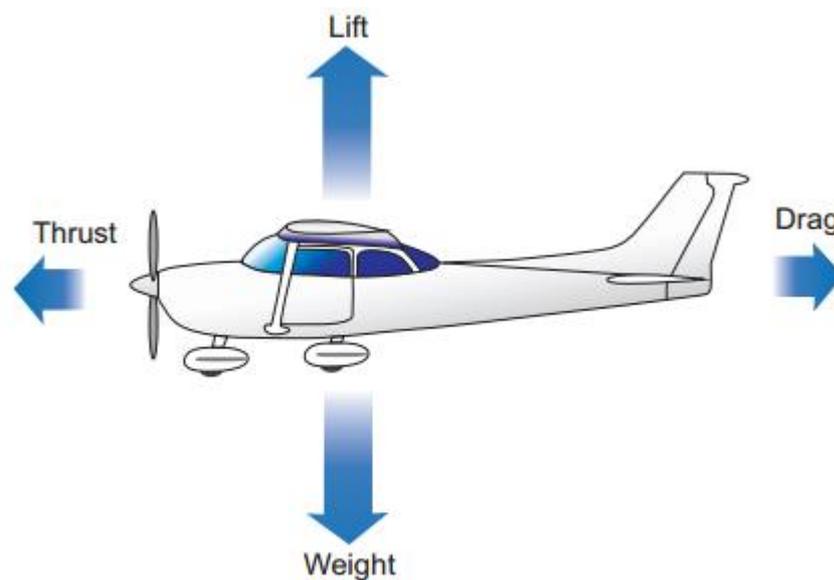
Gambar 2.1 Bagian-bagian *solar cell* (Noth, 2008)

Silicon (c-Si) merupakan material umum yang digunakan untuk membuat *solar cell* (Mehta dkk, 2013). *Solar cell* dengan material semikonduktor berupa *silicon* dibagai menjadi dua tipe, yaitu *monocrystalline silicon* (c-Si) dan *polycrystalline silicon* (poly-Si) atau *multicrystalline silicon* (mc-Si). *Monocrystalline silicon* (c-Si) merupakan *solar cell* yang dibuat dari satu *crystal silicon* utuh. *Solar cell* jenis ini memiliki efisiensi yang tinggi walaupun dalam kondisi cahaya yang minim namun harganya cukup mahal. Sedangkan *polycrystalline silicon* (poly-Si) merupakan *solar cell* yang terbuat dari beberapa *crystal silicon* kecil yang kemudian dijadikan satu kesatuan. *Solar cell* tipe ini

memiliki efisiensi yang lebih rendah dibandingkan jenis *monocrystalline* namun harganya lebih rendah dibandingkan jenis *monocrystalline*.

2.3. Aerodinamika

Sebuah pesawat dapat terbang akibat adanya gaya aerodinamis dari pesawat itu sendiri. Sederhananya ada empat gaya yang timbul pada pesawat saat terbang seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.2 yakni *lift*, *weight*, *thrust* dan *drag*.



Gambar 2.2 Arah gaya-gaya pada pesawat (Noth, 2008)

Lift merupakan gaya angkat yang timbul akibat dari gaya aerodinamis pada sayap pesawat. *Weight* merupakan gaya berat dari pesawat. *Thrust* merupakan gaya dorong yang timbul akibat adanya sistem propulsi. Sedangkan *drag* merupakan hambatan atau gaya yang timbul akibat bentuk aerodinamika dari suatu pesawat. Sebuah pesawat dapat terbang apabila *lift* yang timbul lebih besar atau sama dengan *weight* dan *thrust* lebih besar dari *drag*.

2.4. Airfoil

Airfoil merupakan suatu bentuk penampang lintang suatu objek, dimana ketika dilewati oleh fluida akan menghasilkan gaya aerodinamis. Sebuah pesawat dapat terbang akibat gaya aerodinamis berupa *lift* dari airfoil sayap pesawat seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.3. Semua airfoil memanfaatkan prinsip hukum

Bernoulli tentang hubungan antara laju aliran gas dan tekanan. Seperti pada persamaan berikut;

$$P + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh = k \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana;

P = tekanan (Pa)

ρ = densitas (kg/m^3)

v = kecepatan (m/s)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

h = jarak dari titik referensi (m)

k = konstan



Gambar 2.3 Gaya aerodinamis pada sayap (Mehta dkk, 2013)

Terdapat beberapa jenis airfoil yaitu *chamber*, *symmetrical*, *semy-symmetrical* dan *flat-bottom*. Tabel 2.1 menunjukkan jenis dan karakteristik Airfoil.

2.5. Sayap

Sayap atau *wings* merupakan suatu bagian terpenting dalam menghasilkan gaya angkat atau *lift*. Sayap memerlukan struktur yang kuat hal ini dikarenakan gaya-gaya terbesar bekerja pada sayap yakni *lift* dan *weight*. Secara umum pesawat dapat dikategorikan menjadi tiga berdasarkan letak sayapnya yakni, *high wing*, *middle wings* dan *low wings*. Tabel 2.2. akan membandingkan karakteristik dasar dari ketiga jenis pesawat tersebut

Sayap pesawat akan menerima beban berupa berat total pesawat persatuan luas atau disebut beban sayap (*wing loading*). *Wing loading* akan menentukan jenis

pesawat dan karakteristiknya. Nilai *wing loading* yang kecil membuat pesawat dapat terbang pada kecepatan yang rendah. Tabel 2.3 menunjukkan nilai *wing loading* pada beberapa jenis pesawat.

Tabel 2.1 Jenis dan karakteristik airfoil

Jenis airfoil	Bentuk airfoil	Karakteristik airfoil
<i>chamber</i>		<ul style="list-style-type: none"> • Kecepatan terbang rendah • Mudah terpengaruh dengan angin • Tidak bisa terbang berbalik • <i>High lift</i>
<i>symetrical</i>		<ul style="list-style-type: none"> • Kecepatan terbang tinggi • Bisa untuk terbang berbalik • Untuk aerobatik
<i>semy-symetrical</i>		<ul style="list-style-type: none"> • Kecepatan terbang sedang • Lebih stabil bila terkena angin • Bisa untuk bermanuver • Sukar untuk terbang berbalik
<i>flat-bottom</i>		<ul style="list-style-type: none"> • Kecepatan terbang rendah • Mudah terpengaruh dengan angin • <i>High lift</i> • <i>Drag</i> besar

Tabel 2.2 Karakteristik pesawat berdasarkan letak sayap

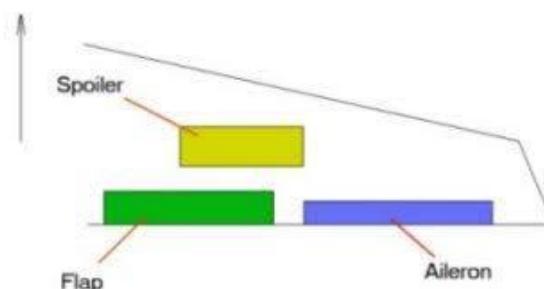
<i>High wing</i>	<i>Middle wing</i>	<i>Low wing</i>
Letak <i>center of gravity</i> (CG) dibawah sayap sehingga pesawat lebih stabil.	Letak <i>center of gravity</i> (CG) tepat ditengah FS sehingga pesawat lebih lincah.	Letak <i>center of gravity</i> (CG) diatas sayap sehingga kestabilan lebih rendah.
Sudut hedral kecil	Perlu sudut hedral cukup besar atau 0	Sudut hedral besar
Aerodinamis FS rendah	Aerodinamis FS tinggi	Aerodinamis FS cukup tinggi

Tabel 2.3 *Wing loading* berdasarkan jenis pesawat

Jenis pesawat	<i>Wing loading</i>
<i>Glider</i>	3,051 $\frac{kg}{m^2}$
<i>Trainer</i>	4,577 $\frac{kg}{m^2}$
<i>Sport</i>	6,103 $\frac{kg}{m^2}$
<i>Aerobatic</i>	7,628 $\frac{kg}{m^2}$

2.6. Bidang Kendali

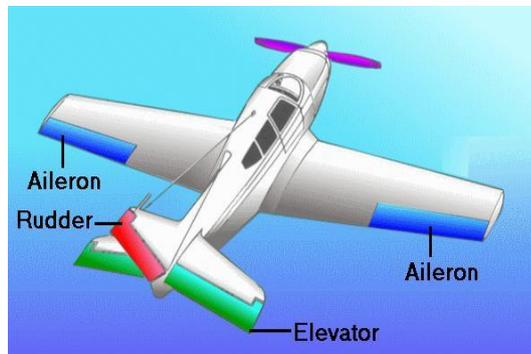
Sayap memiliki beberapa bidang kendali atau *control surface* diantaranya, *flaperon*, *spoiler* dan *aileron* seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.4. *Flaperon* atau biasa disebut *flap* memiliki fungsi menanamkan *chamber* pada sayap. *Chamber* ini menyebabkan aliran fluida di atas sayap semakin tinggi yang menimbulkan naiknya gaya angkat. *Spoiler* merupakan bidang kendali di bagian atas sayap. Fungsinya untuk memecah aliran fluida di atas sayap. Hasilnya kecepatan fluida diatas sayap berkurang yang mengakibatkan turunnya gaya angkat. *Aileron* merupakan bidang kendali yang berfungsi menghasilkan gerakan *roll*. Selain itu *aileron* juga bisa digunakan pesawat untuk berbelok atau *yaw* dengan bantuan elevator.



Gambar 2.4 Bidang kendali pada sayap (Steve, 2019)

Selain pada sayap, bidang kendali juga terdapat pada ekor pesawat seperti pada Gambar 2.5 yakni *elevator* dan *rudder*. *Rudder* berfungsi menghasilkan

gerakan *yaw* atau berbelok sedangkan *elevator* akan menghasilkan gerakan *pitch* atau menukik.



Gambar 2.5 Bidang kendali pada pesawat aeromodelling (Oktavia, 2019)

2.7. Aturan Umum Pembuatan Pesawat Aeromodelling

Dalam pembuatan pesawat model atau pesawat *aeromodelling* terdapat beberapa kalkulator baik *offline* maupun *online* ataupun dalam bentuk aplikasi android. Kalkulator dan aplikasi tersebut dijadikan sebagai acuan dalam penentuan awal dimensi pesawat. Secara umum penentuan dimensi pesawat mengikuti aturan sebagai berikut;

1. Menentukan jenis pesawat berdasarkan beban sayap atau *wing loading* seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.3. dengan memperkirakan berat total pesawat.
2. Menentukan jenis airfoil berdasarkan kebutuhan dan jenis pesawat yang dipilih berdasarkan Tabel 2.1.
3. Asumsikan lebar sayap yang akan dibuat.
4. Perbandingan antara lebar sayap (*Chord*) dan bentang sayap (WS) yaitu;

$$WS = (5 \text{ sampai } 6) \times \text{Chord}$$
5. Tebal Sayap

$$\text{Tebal Sayap} = (12\% \text{ sampai } 15\%) \times \text{Chord}$$
6. Luas *Aileron*

$$\text{Luas Aileron} = (10\% \text{ sampai } 12\%) \times \left(\frac{1}{2} \text{ Luas sayap}\right)$$

7. Panjang *Aileron*

$$\text{Panjang Aileron} = 40\% \times \frac{1}{2} \text{WS}$$

8. Luas *Stabilizer*

$$\text{Luas Stabilizer} = 25\% \times \text{Luas sayap}$$

9. Luas *Elevator*

$$\text{Luas Elevator} = 25\% \text{ Luas stabilizer}$$

10. Luas *Vertical Stabilizer*

$$\text{Luas Vertical Stabilizer} = 10\% \times \text{Luas sayap}$$

11. Luas *Rudder*

$$\text{Luas Rudder} = 10\% \times \text{Luas vertical stabilizer}$$

12. Panjang badan pesawat (FS)

$$\text{FS} = (70\% \text{ sampai } 75\%) \times \text{WS}$$

13. Jarak *Trailing Edge* (TE) ke ujung ekor

$$\text{Jarak TE ke ujung ekor} = 0,7 \times \text{panjang badan pesawat}$$

2.8. Baterai dan Sistem Pengisian

UAV membutuhkan sumber daya berupa listrik arus DC. Terdapat dua jenis baterai yang umum digunakan pada UAV yakni Li-Po dan Li-On seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.6. Kedua baterai ini memiliki karakteristik yang berbeda walaupun memiliki tegangan maksimum yang sama yakni 4,2 Volt (V) per *cell*. Li-Po memiliki kemampuan *charge* dan *discharge* yang tinggi. Baterai jenis Li-Po banyak digunakan pada UAV dengan kebutuhan *supplly* arus yang tinggi seperti pesawat *pylon electric* F5D. Baterai jenis Li-On memiliki kemampuan *charge* dan *discharge* yang rendah. Umumnya baterai jenis ini lebih hemat karena kemampuan *discharge* yang rendah. UAV untuk pemetaan, pemantauan serta misi-misi tertentu banyak menggunakan baterai jenis ini karena tidak membutuhkan *power* yang tinggi melainkan membutuhkan *endurancenya*.



Gambar 2.6 Baterai Lithium Polimer dan Lithium Ion (Madurai, 2019)

Waktu *charging* atau pengisian baterai jenis Li-On umumnya lebih lama dibanding jenis Li-Po. Baterai jenis Li-On hanya boleh di *charge* dengan arus maksimum 1C. C menunjukkan kapasitas baterai yang dimiliki, ketika baterai 2.400 mAh akan di *charge* maka arus maksimum yang diizinkan adalah 2.400 mA atau 2,4 A. Jika arusnya melebihi batas tersebut akan terjadi kerusakan pada baterai, penurunan daya serta dapat meledak. Li-Po maupun Li-On tidak boleh diisi dan dikuras dalam waktu yang bersamaan. Pengisian dan pengurasan yang dilakukan dalam waktu yang bersamaan akan membuat temperatur baterai meningkat, menurunkan kapasitasnya serta dapat membuat baterai mengalami kerusakan bahkan meledak.

2.9. *Maximum Power Point Tracker*

Maximum Power Point Tracker atau MPPT merupakan salah satu jenis *solar charger controller* (SCC). MPPT digunakan untuk membaca dan menggunakan *power maximum* yang dihasilkan *solar cell*. Prinsip kerja MPPT pada dasarnya sama dengan *DC to DC converter* dimana *input* dan *output* dapat di atur pada nilai tertentu. MPPT sudah dilengkapi *chip* algoritma yang presisi dibandingkan *DC to DC Converter*. Tegangan dan arus akan dibaca oleh *chip* dan akan disesuaikan dengan tegangan batrai yang digunakan.

2.10. *Sistem Autopilot*

Autopilot atau pilot otomatis merupakan serangkaian alat yang digunakan untuk mengendalikan pesawat udara, pesawat luar angkasa, kapal laut, misil atau

peluru kendali serta kendaraan lain tanpa campur tangan manusia secara konstan. Terdapat tiga sistem *autopilot* yakni *single-axis autopilot*, *two-axis autopilot* dan *three-axis autopilot*. Ketiga sistem ini dibedakan berdasarkan jumlah *axis* atau sumbu yang dapat dikendalikan, *single-axis autopilot* berarti hanya ada satu dari tiga sumbu saja yang dikendalikan *autopilot*. Umumnya yang dikendalikan adalah *aileron*, *autopilot* ini menjaga sayap pesawat tetap stabil. *Two-axis autopilot* berarti *autopilot* akan mengendalikan dua sumbu pada pesawat. *Autopilot* ini akan mengendalikan *aileron* dan *elevator*. *Three-axis autopilot* ini akan mengendalikan tiga sumbu gerak pada pesawat. *Autopilot* akan mengendalikan tiga bidang kendali yakni *elevator*, *rudder* serta *aileron* sehingga pesawat akan dapat terbang dengan sangat stabil dan dapat mengendalikan dirinya.

Autopilot ini bekerja dengan bantuan beberapa sensor yang bekerja bersamaan yakni *accelerometer*, *gyroscope* serta *magnetometer*. Sistem *autopilot* juga menggunakan bantuan *global positioning system* atau GPS untuk membaca lokasi serta *telemetry* untuk mentransfer data dari armada menuju *ground control station* atau GCS maupun sebaliknya.

Terdapat beberapa *mode* penerbangan atau *flight mode* pada sistem *autopilot* yakni:

a. *Manual*

Manual merupakan salah satu mode penerbangan dimana seluruh kendali pesawat pada *mode* ini dipegang oleh pilot melalui *radio control*. *Autopilot* tidak akan memproses data yang diterima pada *mode* ini.

b. *Stabilize*

Stabilize yang berasal dari kata stabil merupakan *mode* penerbangan dimana pilot dapat mengendalikan pesawat melalui *radio control* namun data yang dikirimkan *radio control* akan di proses oleh *autopilot* agar pesawat dapat terbang dengan stabil.

c. *Return To Launch (RTL)*

RTL adalah salah satu mode penerbangan dimana *autopilot* akan memberikan sinyal agar pesawat bergerak menuju titik *home* atau titik awal

penerbangan. Mode ini dapat aktif ketika pesawat mengalami kendala ataupun GCS mengaktifkan mode ini.

d. *Auto*

Auto merupakan mode penerbangan dimana seluruh kendali pesawat dikendalikan oleh *autopilot*. Pilot melalui *radio control* hanya bisa merubah *mode* tanpa bisa mengendalikan pesawat. Pada *mode* ini pesawat akan membaca dan memproses data yang dibuat GCS sebelum dilakukan penerbangan. *Autopilot* juga membaca berbagai sensor yang terpasang serta membaca titik koordinat melalui GPS.

e. *Loiter*

Loiter mode adalah *mode* penerbangan dimana pesawat akan mengelilingi titik koordinat terakhir atau titik awal peluncuran atau titik *home*. *Mode* ini dapat diaktifkan menggunakan *radio control* atau pada tahap awal pembuatan *flight path*.