

## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 Kajian Pustaka

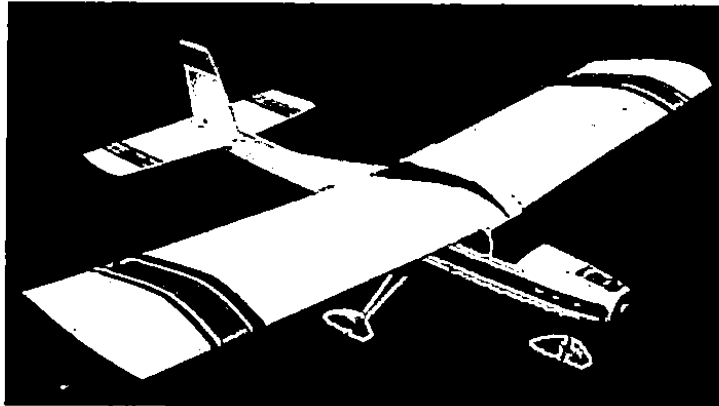
Yogyakarta yang terletak pada ( $\pm 7^\circ$  LS) posisi kemiringan modul terhadap yang dihasilkan perolehan energi tahunan terbaik adalah  $15^\circ$  menghadap utara (Duffie, 1980).

Untuk menghasilkan efisiensi tinggi (21%) diperlukan Sebuah span sayap sepanjang 7 m dan panel *array* silikon mono-kristal  $2 \text{ m}^2$  tipis terikat di atas kulit sayap, dalam penerbangan daya yang diperlukan diperoleh dari sistem sel surya yang menutupi sayap, dan dengan cara ini daya tahan jauh lebih tinggi hingga 10 jam dapat diperoleh selama bulan Juni dan Juli (Romeo, 2006).

Peningkatan efisiensi modul dengan pemasangan *reflector* dengan sudut  $35^\circ$  menghasilkan efisiensi perolehan energi lebih baik daripada variasi lain. Peningkatan efisiensi pada tiap posisi pemasangan *reflector* disebabkan oleh perolehan energi yang sampai dipermukaan modul, kenaikan efisiensi ini akan meningkatkan daya keluaran modul (Nadjib, 2002).

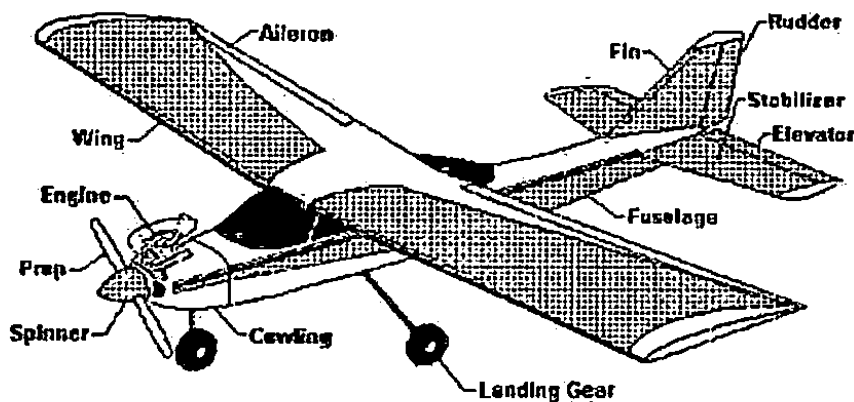
#### 2.2 Pesawat Model

Pesawat model adalah pesawat terbang yang tidak dikendalikan atau dikendarai langsung oleh manusia (Budi, 1991). Pesawat model biasanya hanya digunakan pada misi-misi tertentu dan percobaan yang akan dilakukan. Pesawat model dapat juga berupa konsep, model, prototipe dan rancangan dari pesawat sebenarnya. Pada prinsipnya pesawat model sama dengan pesawat terbang sungguhan tetapi dalam penggunaannya dijadikan sebagai pengujian pesawat terbang seperti yang terlihat pada gambar 2.1



Gambar 2..1. Pesawat Model ([www.indonetwork.net](http://www.indonetwork.net))

Bagian utama pesawat model dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2. Komponen utama pesawat model ([www.clasensation.com](http://www.clasensation.com))

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

1. Sayap (*wing*) merupakan komponen pesawat yang terpenting dan bertujuan untuk menghasilkan gaya angkat yang optimum dengan gaya tahan yang sekecil-kecilnya. Sayap sering dilengkapi dengan *aileron*, *flap*, *slat*, ataupun *spoiler* seperti yang terlihat pada gambar 2.2. . *Flap* adalah bagian belakang sayap yang dapat digerakkan untuk memperbesar gaya angkat. *Slat* adalah komponen kecil yang diletakkan di muka sayap dengan jarak tertentu sedemikian rupa sehingga semburan udara pada celah antara *slat* dan sayap akan dapat mencegah terjadinya *stall* pada saat sayap bekerja dengan sudut serang yang besar. *Aileron* adalah kemudi

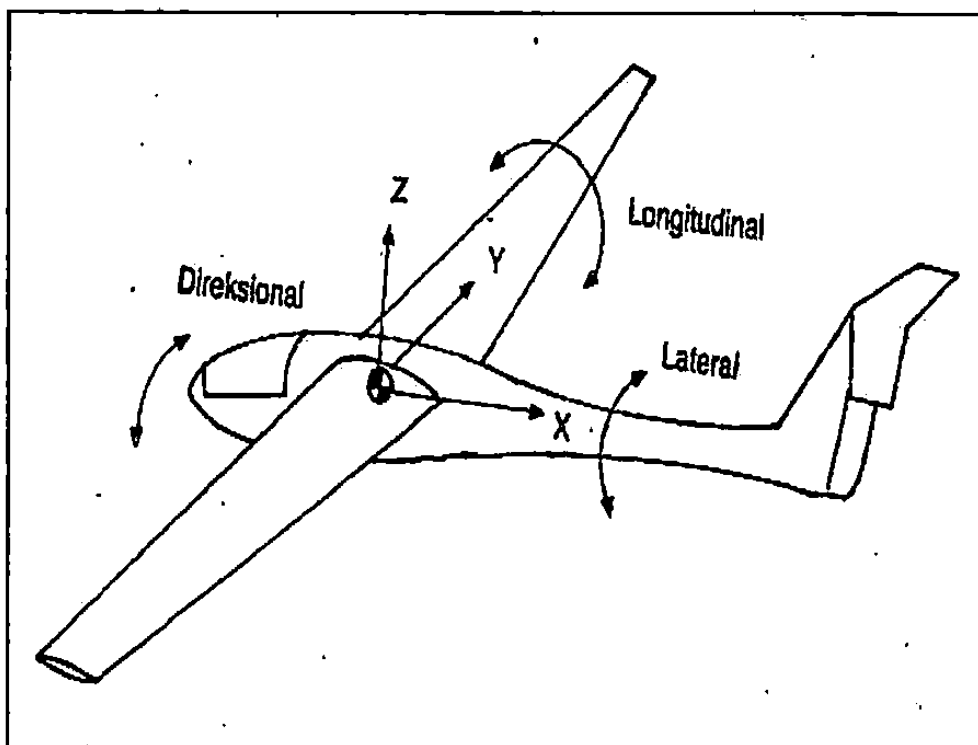
guling merupakan bagian sayap yang dapat digerakkan dan terletak di sisi belakang sayap serta ditujukan untuk dapat memiringkan tubuh pesawat ke kiri atau ke kanan. *Aileron* pada suatu sisi akan bergerak berlawanan dengan *Aileron* pada sisi sayap lainnya. *Aileron* biasanya diletakkan di tepi sayap. *Spolier* berfungsi sebagai rem diletakkan pada permukaan atas sayap difungsikan untuk merusak aliran udara bagian atas sayap sehingga menghilangkan gaya angkat pada sayap.

2. Body (*fuselage*) seperti pada gambar 2.2 merupakan komponen pesawat yang menghubungkan sayap dengan ekor pesawat, tempat meletakkan peralatan kendali, serta komponen yang bertugas sebagai badan yang menyentuh permukaan tanah pada saat *landing*. Maka dibuatlah body pesawat dengan struktur kaku (*rigid*), kuat dan tahan gesekan. Pada badan pesawat terdapat *central of gravity* (CG). Titik berat ini pada prinsipnya merupakan titik tempat resultan gaya berat yang bekerja pada seluruh bagian pesawat.
3. Ekor (vertikal dan horisontal) adalah komponen pokok yang ditujukan untuk memperoleh kestabilan terbang baik dalam arah *longitudinal* (angguk) ataupun *direksional* (geleng). Untuk perangkat kestabilan *longitudinal* menggunakan ekor horisontal (*horizontal stabilizer*) yang dikenal sebagai *stabilo* pada bagian belakang *stabilo* terdapat elevator sebagai perangkat yang dapat menaik-turunkan pesawat. Kemudian ekor vertikal (*vertical stabilizer*) yang sering disebut dengan *fin*. Ekor vertikal sebagai perangkat kestabilan arah (*direksional*) sering dilengkapi dengan kemudi arah (*rudder*) di bagian belakang.

### 2.3 Mekanika Terbang Pesawat

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

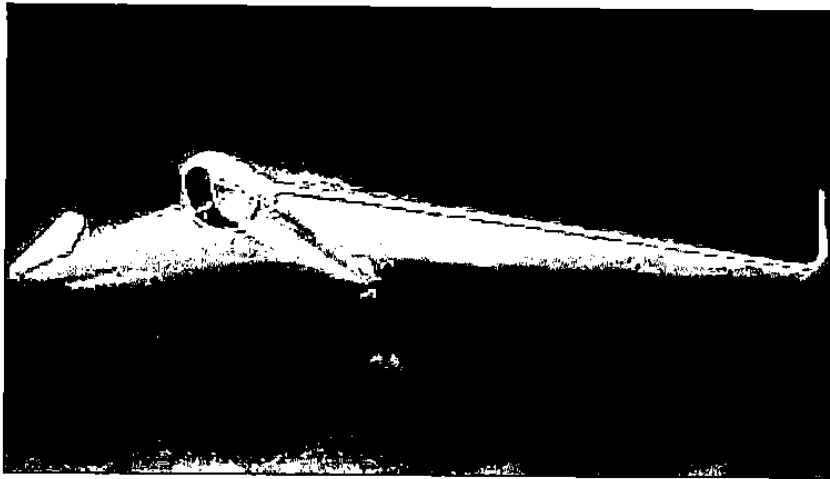
- a. Dinamika lateral-direksional, gerak yang menggambarkan dinamika gerakan pesawat terbang untuk gerakan mendatar yang meliputi gerakan berbelok. Pada gerak lateral-direksional hanya dua kontrol defleksi yang berpengaruh pada respon gerak pesawat yaitu *aileron* (lateral) dan *rudder* (direksional).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



Gambar 2.3. Mekanika terbang pesawat (Atmoko,1991)

#### 2.4 Pesawat Unmanned Aerial Vehicle (UAV)

*Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) seperti gambar 2.4 atau dalam bahasa Indonesia disebut Pesawat Tanpa Awak adalah sebuah pesawat terbang yang berfungsi dengan kendali jarak jauh oleh pilot atau mampu mengendalikan dirinya sendiri, dapat digunakan untuk membawa muatan baik senjata maupun muatan lainnya. Penggunaan terbesar dari pesawat tanpa awak ini adalah di bidang



Gambar 2.4. Pesawat UAV ([www.atjehcyber.net](http://www.atjehcyber.net))

Kontrol pesawat tanpa awak ada dua jenis utama, variasi pertama yaitu dikontrol melalui pengendali jarak jauh dan variasi kedua adalah pesawat yang terbang secara mandiri berdasarkan program yang dimasukkan kedalam pesawat sebelum terbang.

Saat ini pesawat tanpa awak mampu melakukan misi pengintaian dan penyerangan. Pesawat tanpa awak juga semakin banyak digunakan untuk keamanan non militer atau pemeriksaan jalur pemipaan dan keperluan sipil (non militer) seperti pemadam kebakaran. Pesawat tanpa awak sering melakukan tugas yang dianggap terlalu berbahaya untuk pesawat berawak.

Pesawat UAV memiliki komponen utama, yaitu (Beard, 2005):

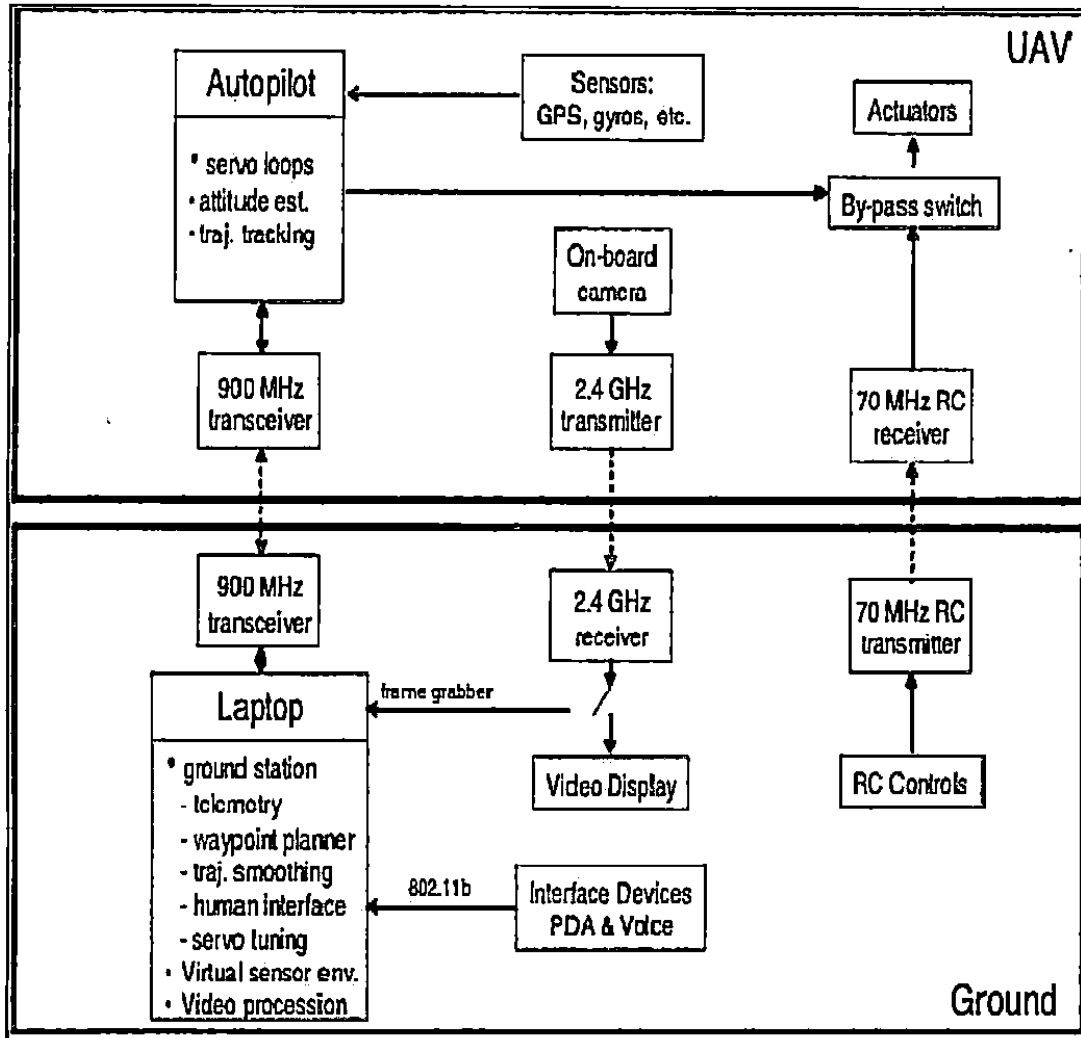
1. Komponen UAV (pada pesawat model)

Komponen UAV terdiri dari *Autopilot/transceiver* (GPS, sensor Gyro, sensor magneto), *on board* kamera/kamera *transmitter* dan *By pass switch/receiver*.

2. Komponen GCS (*Ground Control Station* di darat)

Komponen GCS terdiri dari *Laptop/transceiver* (video proses, *waypoint*, *telemetri* *serupa tuning*), *video display/receiver* dan *PC kontrol/receiver*.

Berikut adalah gambar skema sistem UAV dapat dilihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.5. Skema komponen pesawat UAV (Beard,2005).

Setiap UAV memiliki fungsi yang berbeda satu dengan yang lainnya, fungsi atau kegunaan UAV yaitu :

1. Pengindraan jarak jauh UAV, fungsi penginderaan jauh pada UAV mencakup sensor spektrum elektromagnetik, sensor biologis, dan sensor kimia. Sebuah UAV dengan sensor elektromagnetik biasanya mencakup spektrum visual, inframerah, atau kamera dengan inframerah dan juga sistem radar. Detektor gelombang elektromagnetik lain seperti *microwave* dan sensor spektrum ultraviolet juga dapat digunakan, tapi tidak umum. Sensor sensor biologis mampu mendeteksi kehadiran

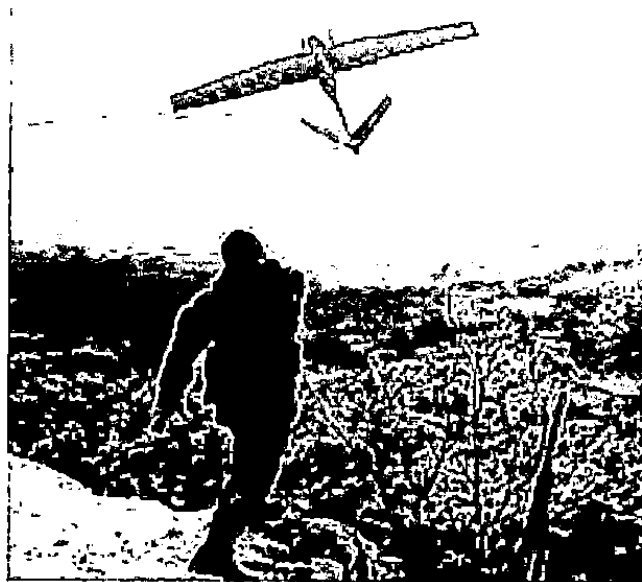
udara berbagai mikroorganisme dan faktor-faktor biologi lainnya. Sensor kimia menggunakan *spektroskopi* laser untuk menganalisis konsentrasi dari setiap elemen di udara.

2. Transportasi, UAV dapat mengangkut barang dengan menggunakan berbagai cara yang didasarkan pada konfigurasi dari UAV itu sendiri. Kebanyakan muatan disimpan dalam bagian pesawat, namun untuk UAV dengan bentuk helikopter dapat mengangkut dibagian luarnya, kebanyakan UAV digunakan untuk mengangkut kargo-kargo ringan yang membutuhkan kecepatan pengiriman dan memiliki resiko pengiriman tinggi.
3. Penelitian Ilmiah, UAV mampu menembus daerah-daerah berbahaya yang tidak memungkinkan bila menggunakan pesawat berpilot, misalnya daerah pusat badai, perburuan angin topan, penelitian terbang pada ketinggian tertentu yang berbahaya bagi manusia dan lain lain.
4. Penyerang Bersenjata, beberapa UAV seperti Predator RQ-1 telah dapat melakukan serangan ke target-target darat, bahkan Predator RQ-1 juga telah dapat digunakan untuk mengadakan pertempuran antar pesawat, kemampuan yang dimiliki UAV ini sangat menguntungkan bagi negara-negara maju karena resiko penggunaan pilot sebagai sandera atau tawanan perang telah dapat dihilangkan, dan juga dapat digunakan untuk misi misi rahasia dan yang bersifat sensitif dalam dunia politik internasional.
5. *Search and Rescue* (SAR), kemampuan UAV untuk terbang pada daerah berbahaya memungkinkan UAV dapat terbang bahkan dalam cuaca terburuk sekalipun, sehingga dapat meningkatkan efektifitas dalam pencarian korban kecelakaan ataupun korban cuaca buruk lainnya, dan daya terbang UAV yang tidak tergantung pada ketahanan pilot memungkinkan UAV terus menerus mencari korban tanpa

## 2.5. Pesawat *Handlaunch*

Pesawat *handlaunch* adalah pesawat model yang dilemparkan dengan tangan untuk mencapai ketinggian tertentu pada saat awal penerbangannya (Budi, 1991).

Pada pesawat jenis ini didesain dengan dimensi dan berat yang diharapkan mampu dilempar oleh kekuatan tangan manusia. Biasanya ukuran dari pesawat *handlaunch* kecil dan tidak terlalu besar. Pesawat model *handlaunch* ada yang menggunakan motor listrik sebagai penguat daya dorong dan ada yang tidak menggunakan motor listrik. (seperti pada gambar 2.6)



Gambar 2.6. Pesawat *Handlaunch* ([www.thefullwiki.org](http://www.thefullwiki.org))

## 2.6 ENERGI SURYA

Sejarah peradaban dunia mencatat bahwa tenaga surya sangat berpengaruh terhadap segala aspek kehidupan manusia dan lingkungan sejak awal kehidupan di dunia ini.

### 2.6.1 Radiasi Matahari

Fusi termonuklir pada inti dari matahari membaskan energi dalam bentuk radiasi gelombang elektromagnetik dengan frekuensi tinggi. Suatu teori yang akhir-akhir ini dapat diterima para ahli mengatakan bahwa radiasi gelombang elektromagnetik merupakan kombinasi dari gelombang elektrik arus bolak-balik



berkecepatan tinggi dengan gelombang medan magnetik yang menumbuhkan partikel-partikel energi dalam bentuk *foton*.

Gelombang energi yang memancar melalui ruang angkasa memberikan pancaran radiasi dengan panjang gelombang yang berbeda-beda. Radiasi gelombang elektromagnetik dikelompokkan berdasar panjang gelombang yang memberikan rangsangan energi yang lebih besar adalah semakin pendek panjang gelombangnya. Radiasi yang dipancarkan melalui permukaan matahari mempunyai variasi panjang gelombang dari yang paling panjang (gelombang radio) sampai yang paling pendek (gelombang sinar X dan sinar  $\gamma$ ).

Meskipun matahari memancarkan gelombang cahaya pada berbagai panjang gelombang, cahaya dari matahari yang tampak dari pandangan mata manusia hanya 46% dari cahaya total yang dipancarkan, dengan panjang gelombang berkisar antara 0.35 sampai 0.75 mikron. Cahaya violet mempunyai panjang gelombang 0.35 mikron yang merupakan sinar cahaya yang tidak tampak pandang. Demikian pula warna merah mempunyai panjang gelombang 0.75 mikron. Inframerah mempunyai panjang gelombang lebih besar yang juga tidak tampak pandang manusia. (Nursuhud 2008)

### **2.6.2 Sel Surya (*Solar Cell*)**

Sel surya dapat berupa alat semikonduktor penghantar aliran listrik yang dapat secara langsung mengubah energi surya menjadi bentuk tenaga listrik secara efisien. Alat ini digunakan secara individual sebagai alat pendeteksi cahaya pada kamera maupun digabung seri maupun paralel untuk memperoleh suatu harga tegangan listrik yang dikehendaki sebagai pusat tenaga listrik.

Hampir semua sel surya dibuat dari bahan silikon berkrystal tunggal. Bahan ini sampai saat ini masih menduduki tempat paling atas dari urutan biaya pembuatan bila dibanding energi listrik yang diproduksi oleh pesawat konvensional. Hal ini disebabkan oleh harga silikon murni yang masih sangat mahal. Meskipun berbahan dasar pasir silikat ( $\text{SiO}_2$ ), tetapi untuk membuatnya diperlukan biaya produksi yang sangat tinggi. (Nursuhud 2008)

### 2.6.3 Teknologi Fotovoltaik

Panel surya, Sel Surya, Sistem Photovoltaik, Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan istilah yang sering berkaitan, dan banyak dijumpai dalam penguasaan tenaga surya untuk pembangkit listrik. Unsur utama yang memungkinkan diperolehnya energi listrik dari cahaya matahari secara langsung adalah sel surya.

Energi fotovoltaik merupakan sumber tenaga listrik yang sangat sesuai untuk berbagai penggunaan, yang memerlukan dan memanfaatkan listrik yang relatif terbatas. Energi fotovoltaik merupakan energi listrik yang paling ekonomis untuk sistem aplikasi yang berdiri sendiri (*otonomik, stand alone applications*) apabila konsumsi tenaga listriknya mencapai 500 Watt/jam samapai 1 kWatt/jam per hari. Contohnya dalam penggunaan dalam kategori ini antara lain adalah lampu penerangan jalan, lampu luar, lampu penerangan di dalam ruangan, pengisian baterai dan sebagainya. Selain itu keandalan (*reability*) sistem fotovoltaik sangat tinggi dan memerlukan persyaratan dan upaya pemeliharaan yang sangat minimum. Dengan demikian untuk penggunaan yang sangat memerlukan tenaga listrik dalam jumlah yang lebih tinggi, sistem fotovoltaik juga merupakan pilihan yang sangat menarik.

Secara ringkas, sistem fotovoltaik memiliki berbagai keunggulan dibandingkan sistem konvensional antara lain :

1. Konversi energi cahaya matahari secara langsung menjadi energi listrik (tanpa peralatan yang bergerak, yang membuatnya sangat sederhana)
2. Karena tanpa peralatan yang bergerak, operasinya tidak bersuara, dan tidak terjadi keausan suku cadang.
3. Dapat dikemas sesuai kebutuhan penggunaan secara modular.
4. Penampilan dan pemasangan sistem fotovoltaik sangat sederhana.
5. Sistem fotovoltaik praktis, memerlukan pemeliharaan minimal.
6. Sistem fotovoltaik tidak memerlukan bahan bakar

Selain mempunyai kelebihan, sistem fotovoltaik ini memiliki beberapa keterbatasan, di antaranya :

1. Investasi awal untuk mendapatkan sistem ini membutuhkan biaya yang cukup tinggi.
2. Efisiensi dari sistem ini masih rendah.
3. Perolehan daya yang dihasilkan masih sangat tergantung keadaan cuaca.

Aplikasi lainya dari sistem fotovoltaik ini secara umum dapat dibagi menjadi dua :

1. Pengubah ke energi listrik
  - a. Penerangan jalan umum.
  - b. Lampu lalu lintas (*traffic light*).
  - c. Pengisian baterai.
  - d. Telekomunikasi.
  - e. Penerangan mercusuar.
2. Pengubah ke energi mekanik
  - a. Pompa air bersih sumur dangkal.
  - b. Pengering padi, tembakau, dan kayu.
  - c. Pompa air irigasi.

Konversi energi matahari yang dipancarkan oleh cahaya matahari secara langsung menjadi energi listrik tanpa menggunakan bagian struktur yang bergerak (tanpa mesin) dilakukan oleh proses yang memanfaatkan prinsip efek fotovoltaik, efek ini pertama kali ditemukan pada tahun 1839 oleh Ilmuan Perancis, Edmund Bequerel. Sel surya yang dapat dipergunakan untuk mengkonversikan cahaya listrik berdasarkan efek fotovoltaik ini, pertama kali dibuat dari bahan selenium, yang dipergunakan sebagai alat pengukur kekuatan cahaya, (*photography light meters*) untuk keperluan fotografi. Walaupun fotovoltaik sudah dikenal cukup lama, penciptaan dan perkembangan pesat motor bakar atau mesin pembakaran

dalam (*Internal Combustion Engine*) serta penemuan tambang minyak, teknologi bahan bakar minyak dapat dikatakan kurang mendukung pengembangan, dan pemanfaatan fotovoltaik.

Pengembangan fotovoltaik dapat dikatakan mulai digalakkan dalam era industri antariksa karena para Ilmuwan tidak menemuakan cara-cara mengalirkan energi listrik ke wahana Antariksa (satelit) yang ada di antariksa pada awal tahun 1950-an Para Ilmuwan Bell laboratories di Amerika Serikat menemukan dan meningkatkan efisiensi sel surya dari bahan silikon (*silicon solar cell*). Hal ini membuka perkembangan lebih lanjut pada penggunaan fotovoltaik untuk satelit antariksa sampai tahun 1960-an. Dengan adanya krisis minyak tahun 1973-1974, pendanaan secara sungguh-sungguh oleh pemerintah Amerika Serikat telah memungkinkan industri mengembangkan sel surya dengan harga yang lebih rendah yang memungkinkan terbukanya pasar sel surya.

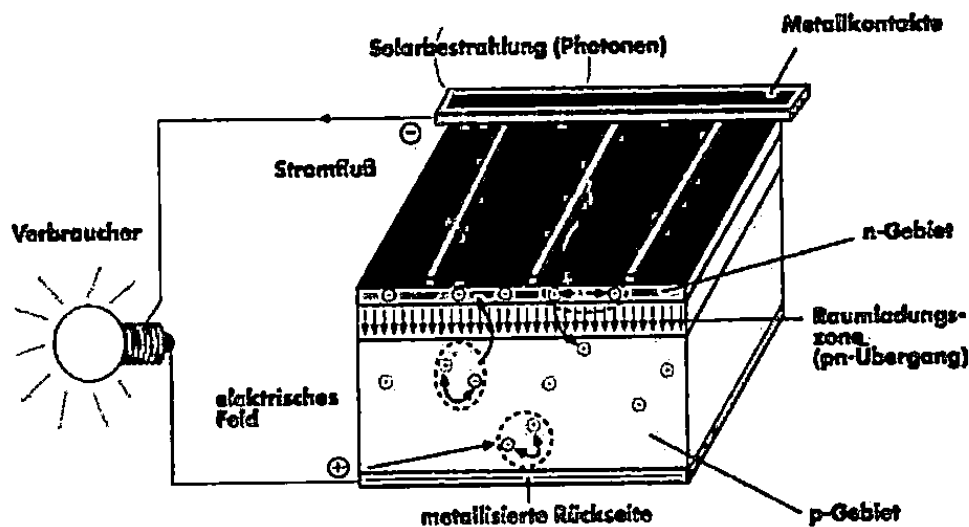
Berbagai teknologi telah dikembangkan untuk memanfaatkan energi yang telah dipancarkan oleh matahari. Dari berbagai teknologi ini, yang pasti paling sederhana, dan elegan adalah sel surya/fotovoltaik, yang dikembangkan berdasarkan kemajuan fisika material padat (*solid-state-physics*), dan dipengaruhi oleh perkembangan industri semikonduktor. Fotovoltaik menjadi sangat sederhana, dapat diandalkan, dan tidak memiliki bagian yang bergerak. Disamping itu, hal yang sangat menonjol adalah bahwa teknologi ini sangat ramah lingkungan, tidak bersuara dan tidak mencemari lingkungan.

#### **2.6.4 Prinsip Dasar Fotovoltaik**

Sel surya atau fotovoltaik adalah piranti semikonduktor yang dapat mengubah cahaya secara langsung menjadi tenaga listrik, prinsip atau efek menjadi dasar dari proses konversi energi secara langsung ini, dikenal dengan efek fotovoltaik. Oleh karena itu, sel surya yang disebut sel fotovoltaik. Cahaya dapat dipandang sebagai aliran partikel kecil energi yang disebut *Photon*.

Apabila *photon* yang bersal dari cahaya dengan panjang gelombang tertentu jatuh pada permukaan sel fotovoltaik ( pada umumnya dibuat dari bahan dasar semikonduktor jenis p-n), mengenai junction maka akan terbentuk pasangan elektron dan hole, masing-masing muatan akan bergerak menuju kutub masing-masing, semikonduktor tipe p, dengan satu sisi sel menjadi positif (p) dan sisi lainnya negatif (n), dan bila tiap sisi ini dihubungkan melalui sambungan diluar, terbentuklah suatu rangkain listrik (*electrical circuit*), dan sel tersebut menghasilkan (membangkitkan/generate). Ciri sel fotovoltaik demikian ini yang disbeut sambungan p-n (ilustrasi proses terlihat pada gambar 2.7 )

### Prinzip einer Solarzelle



Gambar 2.7 ilustrasi proses fotovoltaik ([www.ae-energie.de](http://www.ae-energie.de))

Sel surya tersebut selanjutnya dihubungkan sebagaimana pemasangan batu baterai pada lampu senter, yaitu positif ke negatif, dibangun untuk menghasilkan potensial atau daya listrik yang dikehendaki. Dalam praktek sel-sel surya ini dipasang pada kerangka aluminium dengan penutup dari bahan kaca transparan, yang dikenal sebagai modul surya.

Sel fotovoltaik adalah dasar yang membangun blok dari suatu fotovoltaik sistem. Satu sel dapat berubah-ubah ukuran dari sekitar 1 cm ( ½ inci ) ke 10 cm (4 inchi) ke seberang. Bagaimanapun, satu sel hanya menghasilkan 1 atau 2 watt,

keluaran, sel secara elektrik dihubungkan ke dalam suatu *packaged weather-tight* modul. Modul dapat lebih lanjut dihubungkan untuk membentuk suatu *array*. Istilah *array* mengacu pada seluruh pabrik pembangkit secara keseluruhan, apakah itu terdiri dari satu atau beberapa ribu modul. Sebanyak-banyaknya modul yang dibutuhkan, dapat dihubungkan untuk membentuk ukuran *array* yang diperlukan.

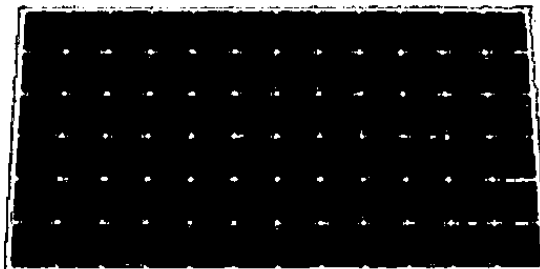
Performa dari suatu *array* fotovoltaik bergantung pada cahaya matahari. Kondisi iklim (awan, kabut) mempunyai suatu efek penting terhadap jumlah energi matahari yang diterima oleh suatu fotovoltaik *array*. Arus modul fotovoltaik ini hanya berperan 10% dalam mengubah cahaya matahari ke energi listrik.

### 2.6.5 Jenis-jenis Panel Surya

Berdasarkan jenis dan bentuk susunan atom-atom penyusunnya, *solar cell* dapat dibedakan menjadi 3 jenis, yaitu (Patel, 2006: 153):

#### a. Monokristal (Mono-crystalline)

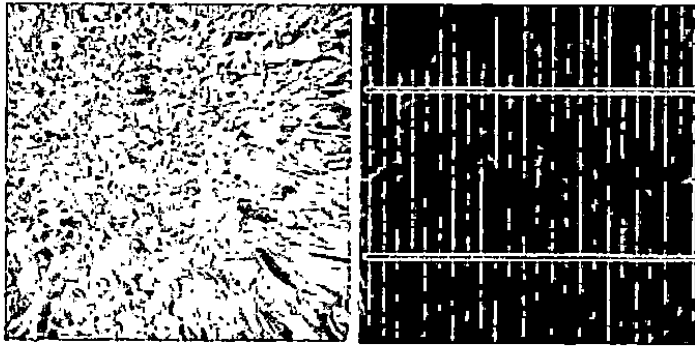
Modul surya yang terbuat dari sel surya monokristal merupakan panel yang paling efisien yang dihasilkan dengan teknologi terkini dan menghasilkan daya listrik persatuan luas yang paling tinggi. Monokristal dirancang untuk penggunaan yang memerlukan konsumsi listrik besar pada tempat-tempat yang beriklim ekstrim dan dengan kondisi alam yang sangat ganas. Memiliki efisiensi sampai dengan 14 - 18%. Kelemahan dari panel jenis ini adalah tidak akan berfungsi baik ditempat yang cahaya matahari kurang (teduh), sehingga efisiensinya akan turun drastis dalam cuaca berawan.



Gambar 2.8 monokristaline (www.pozitif solar.com)

### b. Polikristal (Poly-crystalline)

Modul surya yang terbuat dari sel polikristal merupakan panel surya yang memiliki susunan kristal acak karena dipabrikasi dengan proses pengecoran. Tipe ini memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan jenis monokristal untuk menghasilkan daya listrik yang sama. Panel suraya jenis ini memiliki efisiensi lebih rendah dibandingkan tipe monokristal, sehingga memiliki harga yang cenderung lebih rendah (Patel, 2006: 153).



Gambar 2.9 polycrystalline (www. Guessistemleri.com)

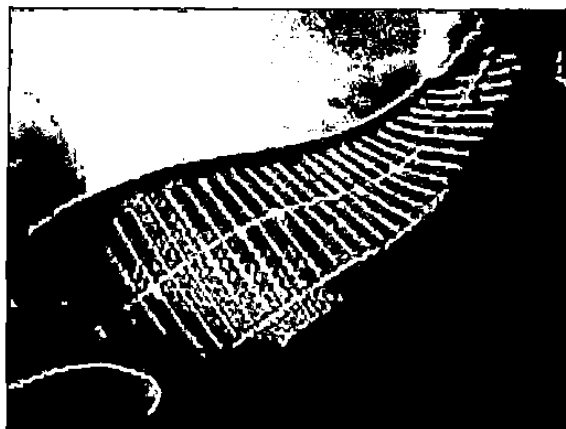
### c. Semi-Kristal (Semi-Crystalline)

Modul surya semi-monokristal memiliki struktur kristal, yang walaupun difabrikasi dengan proses pengecoran (*casting*), akan tetapi menghasilkan susunan kristal yang masih memiliki permukaan batas kristas yang sejajar dengan arah aliran listrik yang ditimbulkan oleh pasangan muatan positif dan negatif. Modul surya yang terbuat dari sel surya semi-kristal menghasilkan efisiensi konversi energi sekitar 11%, jadi berbeda relatif sedikit dengan modul surya monokristal. Sel surya silikon semi-kristal dimasa yang akan datang akan makin murah, karena pengembangan dalam bidang bahan semi kristalin yang cukup tekun (antara lain, penumbuhan lembar dan penggunaan bahan awal yang lebih murah), dan karena pengembangan proses fabrikasi sel surya semakin canggih efisiensinya akan maikn baik.

### d. Modul Lapis Tipis/*Thin Film* (*Amorf*)

Modul surya lapis tipis dapat difabrikasi secara otomatis, dan dapat dipasang/dimuat pada permukaan yang fleksible ataupun permukaan yang tidak

datar seperti permukaan plastik atau bahan fleksible industri lainnya, untuk menghasilkan modul surya yang fleksibel. Bahan baku sel surya amorf relatif tidak mahal, akan tetapi luas permukaan yang diperlukan per watt daya yang dihasilkan lebih besar dari modul surya monokristal maupun polikristal. Ditinjau berdasarkan perbandingan harga per watt, modul surya amorf memiliki harga yang lebih rendah, dan sangat menarik untuk dipergunakan pada bangunan baru. Harga modul surya yang lebih rendah harus disertai dengan pertimbangan harga bangunan. Modul surya amorf memiliki efisiensi konversi energi sampai 5%.

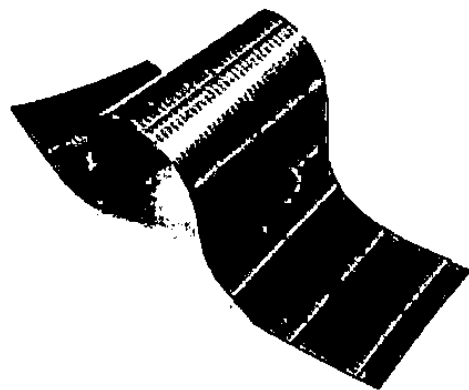


Gambar 2.10 thin film amorf ([www.solarnavigator.net](http://www.solarnavigator.net))

#### e. Modul Thin Film Triple Junction PV

Modul surya lapis tipis yang dapat berfungsi sangat efisiensi dalam udara yang sangat bervariasi. *Triple junction PV* modul surya sambungan triple dibuat dari tiga lapisan terpisah, satu diatas lainnya, dan disebut pula sebagai *multifunctions*. Tiap lapisan dipersiapkan untuk mengkonversi cahaya dengan spectrum tertentu yang berbeda dari lapisan lainnya. *Wide band junction* yang terletak paling atas menyerap energi dengan *photon* yang berenergi lebih tinggi. Sesudah lapisan ini ada lapisan yang menangkap energi yang dibawa oleh cahaya dengan frekuensi cahaya yang lebih rendah, dekat daerah hijau dan biru, dan dengan demikian memanfaatkan seluruh spektrum cahaya untuk menghasilkan listrik. Sehingga modul lapisan triple lebih sesuai untuk cuaca yang berawan, dan dapat menghasilkan daya listrik sampai 45% lebih tinggi dari panel jenis lain





Gambar 2.11 Thin film triple junction PV ([www.gotpowered.com](http://www.gotpowered.com))

#### 2.6.6. Perhitungan dasar modul surya

Panel PV yang terdiri dari bagian-bagian yang lebih kecil yang disebut sel surya. Sel surya dan baterai, masing-masing memiliki nilai tegangan dan arus listrik. Kekuatan total daya yang dapat dirumuskan sebagai berikut .

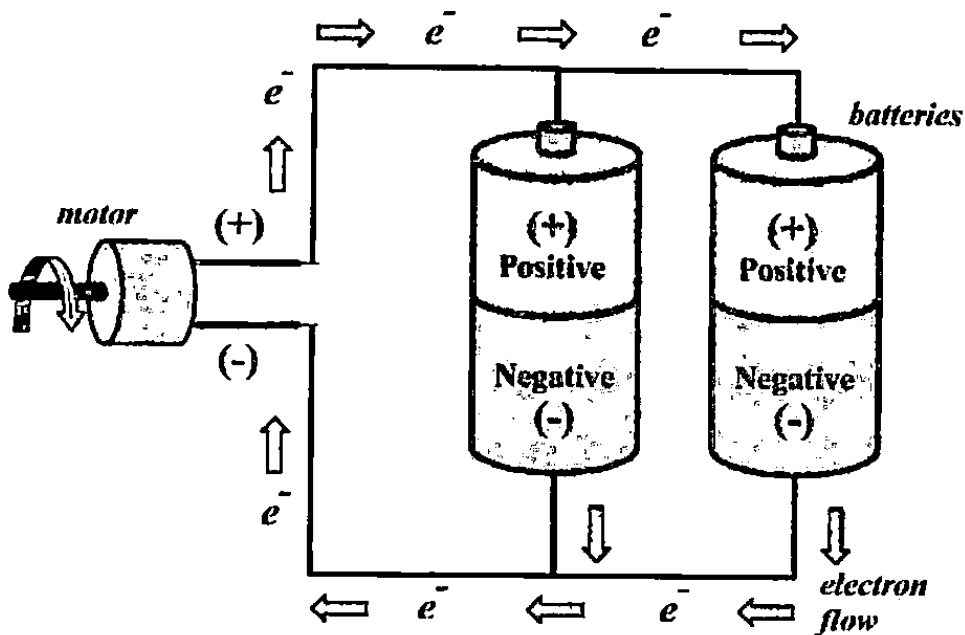
$$W = V \times A$$

Dimana :  $W$  = daya (watt)

$V$  = Tegangan (volt)

$A$  = arus ( Ampere )

Baterai rangkai secara paralel atau seri tergantung pada kebutuhan dari perangkat yang ingin digunakan. Baterai dirangkai secara Paralel (dapat lihat pada gambar 2.12) dengan motor dan aliran elektron, secara paralel arusnya bertambah dan tegangan konstan yang dapat dirumuskan sebagai berikut

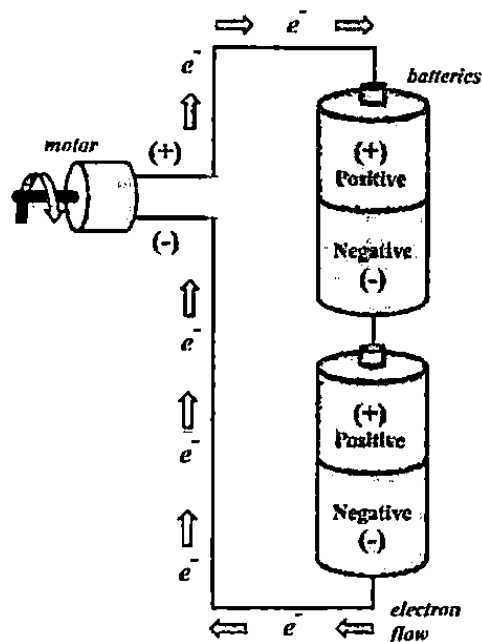


Gambar 2.12 rangkaian baterai paralel ([www.makeitsolar.com](http://www.makeitsolar.com))

Pada rangkaian seri (dapat dilihat pada gambar 2.13) baterai dengan motor dan aliran elektron, tegangan pada rangkain seri akan bertambah dan arus listriknya konstan.

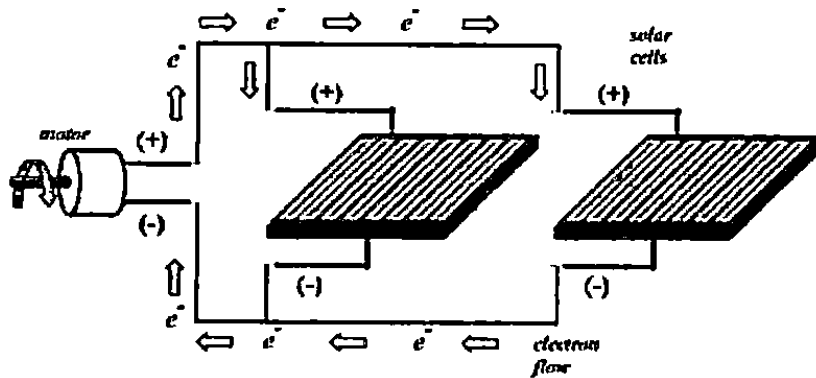
$$V_{\text{total}} = V_1 + V_2$$

$$\text{Daya} = V_t \times A$$

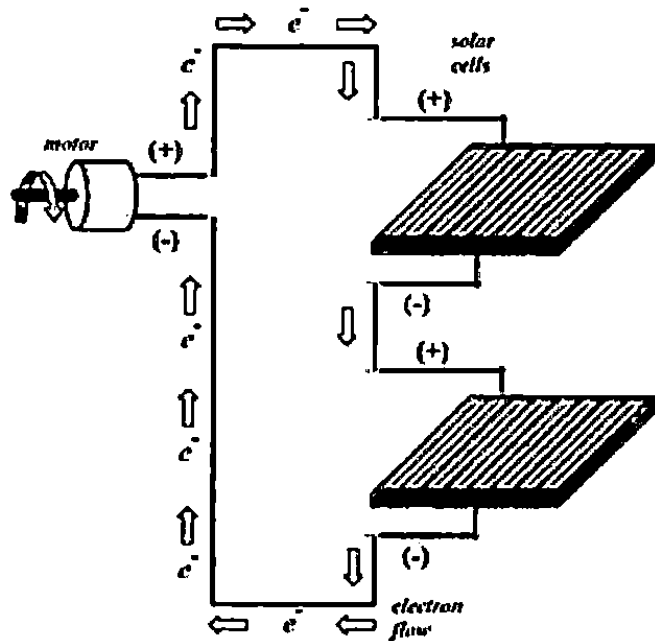


Gambar 2.13 Rangkaian baterai seri ([www.makeitsolar.com](http://www.makeitsolar.com))

*Solar Cells* Panel yang dirangkai secara seri (dapat dilihat pada gambar 2.14) atau paralel (dapat dilihat pada gambar 2.15) memiliki rumus perhitungan daya yang sama dengan rangkaian baterai seri dan paralel.



Gambar 2.14 Rangkaian *solar cell* paralel ([www.makeitsolar.com](http://www.makeitsolar.com))



Gambar 2.15 Rangkaian *solar cell* seri ([www.makeitsolar.com](http://www.makeitsolar.com))

## 2.7 Baterai

Baterai adalah alat listrik-kimiawi yang menyimpan energi dan mengeluarkan tenaganya dalam bentuk listrik. Sebuah baterai biasanya terdiri dari tiga komponen penting, yaitu:

- 1) batang karbon sebagai anode (kutub positif baterai)
- 2) seng (Zn) sebagai katode (kutub negatif baterai)
- 3) pasta sebagai elektrolit (penghantar)

### 2.7.1 Jenis-jenis baterai

Jenis- jenis baterai yang sering digunakan pada pesawat model ialah

#### a) Lithium Ion (Li-Ion)

Baterai ini menggunakan cairan organik sebagai elektrolit. Elektrolit ini bertanggung jawab terhadap pertukaran ion antar elektroda (anoda dan katoda) sama seperti yang berlaku pada baterai biasa. Pelarut organik ini bersifat sangat mudah terbakar dan alasan mengapa baterai jenis ini sangat sensitif adalah karena selain dapat terbakar baterai ini juga dapat meledak jika tidak diperlakukan secara benar. Baterai Li-Ion biasanya dibungkus oleh metal yang keras (sekali lagi sama seperti baterai biasa) yang mengakibatkan bertambahnya bobot dan hanya tersedia dalam bentuk yang terbatas.

#### b) Lithium Polymer (LiPo)

Baterai LiPo tidak menggunakan cairan sebagai elektrolit melainkan menggunakan elektrolit polimer kering yang berbentuk seperti lapisan plastik film tipis. Lapisan film ini disusun berlapis-lapis diantara anoda dan katoda yang mengakibatkan pertukaran ion. Dengan metode ini baterai LiPo dapat dibuat dalam berbagai bentuk dan ukuran. Diluar dari kelebihan arsitektur baterai LiPo, terdapat juga kekurangan yaitu lemahnya aliran pertukaran ion yang terjadi melalui elektrolit polimer kering. Hal ini menyebabkan penurunan pada *charging* dan *discharging rate*. Masalah ini sebenarnya bisa diatasi dengan memanaskan baterai sehingga menyebabkan pertukaran ion menjadi lebih cepat, namun metode ini dianggap tidak dapat untuk diaplikasikan pada keadaan sehari-hari. Seandainya para Ilmuwan dapat memecahkan masalah ini maka risiko keamanan pada baterai jenis lithium akan sangat berkurang.

#### c) NiCad

Baterai jenis ini merupakan generasi pertama. Berkapasitas besar, baterai ini cocok untuk ponsel lama yang bertenaga besar. Sesuai dengan ukuran dan kapasitasnya. Proses pengisian ulang pun cukup merepotkan, misalnya pengisian ulang harus dilakukan pada saat daya baterai benar-benar habis. Karena baterai

- c. Membatasi daerah tegangan kerja baterai.
- d. Menjaga/memperpanjang umur baterai.
- e. Mencegah beban berlebih dan hubungan singkat (*shortcircuit*).
- f. Melindungi sistem dari kekring pemasangan rangkaian dengan polaritas terbalik.
- g. Memeberikan informasi kepada pemakai tentang kondisi sistem (misalnya status muatan baterai dengan indicator lampu)

### 2.8.2 Kriteria pemilihan BCR yang baik

BCR yang baik akan memenuhi kriteria sebagai berikut :

- 1). Dapat melakukan fungsinya dengan baik
- 2). Penampilanya sederhana (mudah dipahami oleh pemakai)
- 3). Harganya memadai dan terjangkau.

### 2.8.3 Jenis-jenis BCR

BCR diklasifikasikan menurut cara pemutusan hubungan antara modul surya dengan baterai yaitu :

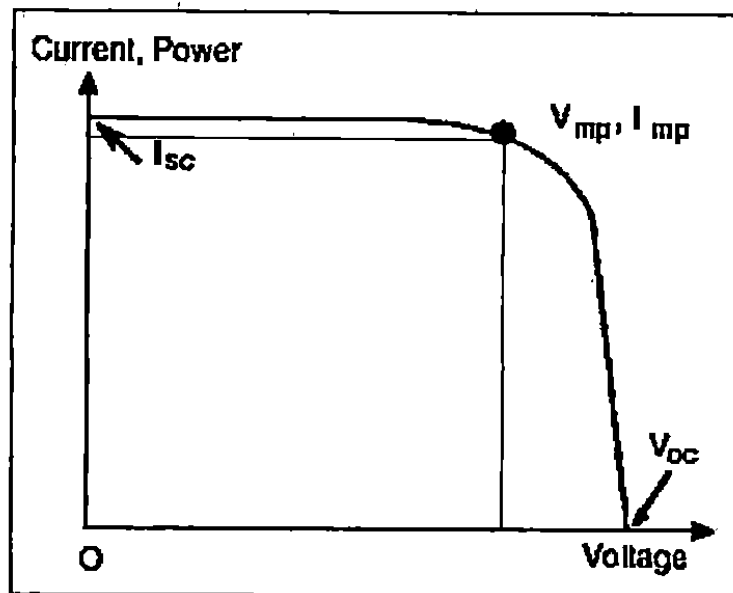
- 1) Sambungan langsung
- 2) Pengatur on-of (*on-off regulations*), secara seri secara paralel, dengan modulasi lebar pulsa atau PWM (*Puls Width Modulations*)
- 3) Regulasi dua langkah (*two step regulations*)
- 4) *Multistep*
- 5) MPPT (*Maksimum power point tracking*)

## 2.9 Pesawat *Solar Powered*

### 2.9.1 Performansi *Solar Cell Panel*

Total pengeluaran listrik (*wattage*) dari *solar cell* panel adalah sebanding dengan voltase/ tegangan operasi dikalikan dengan arus operasi saat ini. *Solar cell* panel dapat menghasilkan arus dari voltase yang berbeda-beda. Hal ini berbeda dengan baterai yang menghasilkan arus dari voltase yang relatif konstan

Karakteristik output dari *solar cell* panel dapat dilihat dari kurva performansi, disebut I-V curve. I-V curve menunjukkan hubungan antara arus dan voltase.



Gambar 2.16. Kurva Performansi *solar cell* (panelsurya.com,2012).

Gambar 2.16 di atas menunjukkan tipikal kurva I-V. Voltase (V) adalah sumbu horizontal. Arus (I) adalah sumbu vertikal. Kebanyakan kurva I-V diberikan dalam *Standar Test Conditions* (STC) 1000 watt per meter persegi radiasi (atau disebut satu matahari puncak/ one peak sun hour) dan 25 derajat Celcius/ 77 derajat Fahrenheit suhu *solar cell* panel. Sebagai informasi STC mewakili kondisi optimal dalam lingkungan laboratorium.

Kurva I-V terdiri dari 3 hal yang penting:

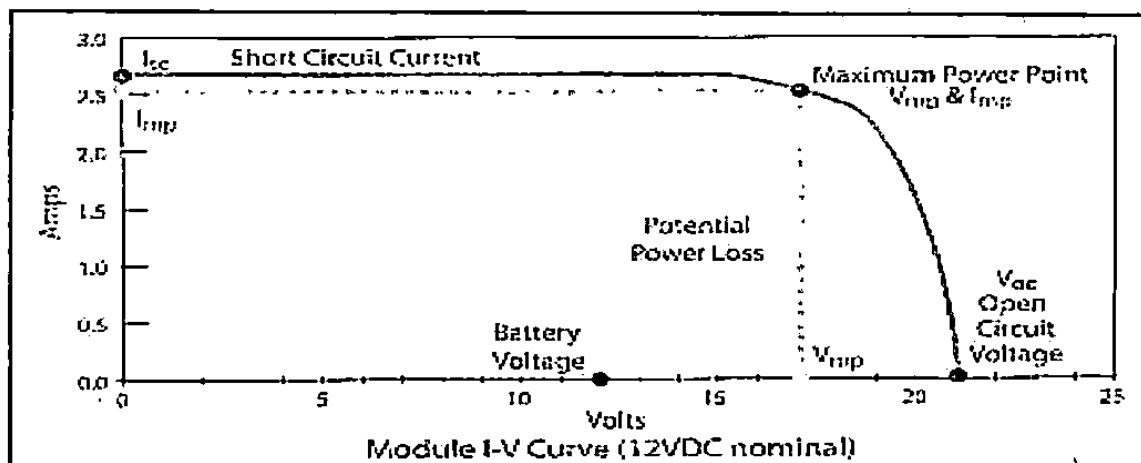
- i. *Maximum Power Point* ( $V_{mp}$  dan  $I_{mp}$ )
- ii. *Open Circuit Voltage* ( $V_{oc}$ )
- iii. *Short Circuit Current* ( $I_{sc}$ )

#### a. **Maximum Power Point ( $V_{mp}$ & $I_{mp}$ )**

Pada kurva I-V, *Maximum Power Point*  $V_{mp}$  dan  $I_{mp}$ , adalah titik operasi, dimana maksimum pengeluaran/ *output* yang dihasilkan oleh *solar cell* panel saat

kondisi operasional. Dengan kata lain,  $V_{mp}$  dan  $I_{mp}$  dapat diukur pada saat *solar cell* panel diberi beban pada 25 derajat Celcius dan radiasi 1000 watt per meter persegi. Pada kurva di atas voltase 17 volts adalah  $V_{mp}$ , dan  $I_{mp}$  adalah 2,5 ampere. Jumlah watt pada batas maksimum ditentukan dengan mengalikan  $V_{mp}$  dan  $I_{mp}$ , maksimum jumlah watt pada STC adalah 43 watt.

*Output* berkurang sebagaimana voltase menurun. Arus dan daya output dari kebanyakan modul *solar cell* panel menurun sebagaimana tegangan/ voltase meningkat melebihi *maximum power point*.



Gambar 2.17. Kurva Modul I-V (panelsurya.com,2012).

### b. Open Circuit Voltage ( $V_{oc}$ )

Open Circuit Voltage ( $V_{oc}$ ), adalah kapasitas tegangan maksimum yang dapat dicapai pada saat tidak adanya arus (current). Pada kurva I-V,  $V_{oc}$  adalah 21 volt. Daya pada saat  $V_{oc}$  adalah 0 watt.  $V_{oc}$  *solar cell* panel dapat diukur dilapangan dalam berbagai macam keadaan. Saat membeli modul, sangat direkomendasikan untuk menguji voltase untuk mengetahui apakah cocok dengan spesifikasi pabrik. Saat menguji voltase dengan multimeter digital dari terminal positif ke terminal negatif *Open Circuit Voltage* ( $V_{oc}$ ) dapat diukur pada pagi hari

### c. Short Circuit Current ( $I_{sc}$ )

*Short Circuit Current*  $I_{sc}$ , adalah maksimum *output* arus dari *solar cell* panel yang dapat dikeluarkan (*output*) di bawah kondisi dengan tidak ada resistansi atau *short circuit*. Pada kurva I-V diatas menunjukkan perkiraan arus 2,65 Ampere. Daya pada  $I_{sc}$  adalah 0 watt. *Short circuit current* dapat diukur hanya pada saat membuat koneksi langsung terminal positif dan negatif dari modul *solar cell* panel.

### 2.9.2 Solar Cell Sebagai Pengisian Baterai Pada Pesawat Model

Penggunaan *solar cell* sebagai suplai tenaga pada saat pesawat terbang memungkinkan digunakan karena pada bagian body pesawat yang ditempatkan *solar cell* terpapar langsung oleh sinar matahari pada saat penerbangan dilakukan siang hari.

Penggunaan *solar cell* tidak langsung digunakan untuk menggerakkan motor listrik tetapi sebagai pengisian baterai pada pesawat. Hal ini dikarenakan efisiensi *solar cell* yang masih rendah dan pancaran radiasi yang tidak menentu sehingga arus yang dihasilkan tidak konstan dan dapat mempengaruhi kinerja motor listrik.

Komponen-komponen penting pada pesawat model yang menggunakan modul *solar cell*, yaitu:

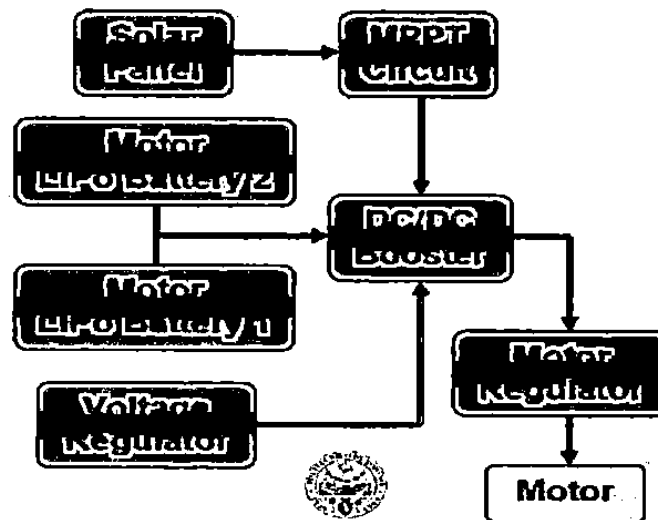
1. *Solar cell* sebagai alat yang mengkonversi energi pancaran sinar matahari menjadi energi listrik.
2. Baterai sebagai tempat penyimpanan energi listrik dan sumber tenaga listrik.
3. *Maximum Power point Tracking* (MPPT) sebagai alat yang digunakan untuk pemutusan hubungan antara modul surya dengan baterai.
4. Regulator Baterai sebagai pengatur transfer energi dari *solar cell* ke baterai dan ke motor listrik seoptimal mungkin.
5. Regulator motor adalah alat yang mengatur konsumsi daya pada motor listrik.

6. *Booster DC* sebagai penguat arus searah



7. Motor sebagai penggerak yang menghasilkan daya dorong pada pesawat dan mengkonversi energi listrik menjadi energi gerak.

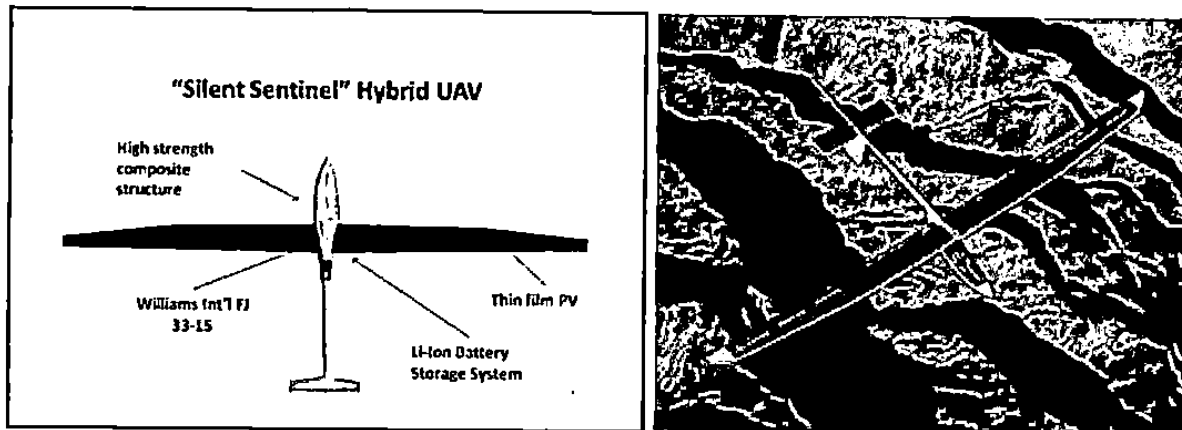
Berikut adalah diagram proses pengisian baterai menggunakan *solar cell*, dapat dilihat pada gambar 2.18.



Gambar 2.18. Diagram proses pengisian (Romeo 2001)

### 2.9.3. Penggunaan *Solar Cell* Pada Pesawat Model

Penggunaan *solar cell* sebagai sistem pengisian dan suplai tenaga pada saat pesawat terbang memungkinkan digunakan karena pada bagian body pesawat yang ditempatkan *solar cell* terpapar langsung oleh sinar matahari pada saat penerbangan dilakukan siang hari, pada gambar 2.19 memperlihatkan sebuah pesawat terbang menggunakan tenaga *solar cell* yang dipasangkan pada permukaan sayap. Tetapi penggunaan *solar cell* pada sayap harus sesuai sehingga tidak mempengaruhi aerodinamika pada saat penerbangan. *Solar cell* diharapkan berdimensi tipis, fleksibel, dan tidak terlalu berat sehingga tidak terindi



(a)

(b)

Gambar 2.19. (a) Pesawat UAV Menggunakan *Solar Cell Silent*

*Sentinel (The Hybrid UAV) (2011). (b) Solar Cell Storage System (2011).*