

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Penerbangan pertama yang menggunakan tenaga surya pada 4 November 1974. Penerbangan perdana yang dilakukan oleh Sunrise 1 tersebut berlangsung selama 20 menit dengan ketinggian 100 meter. Sunrise 1 memiliki lebar sayap dari 9,76 m, beratnya 12,25 kg dan output daya dari 4.096 sel surya sebesar 450 W. Setelah penerbangannya perdananya tersebut Sunrise 1 melakukan beberapa penerbangan lain yang beberapa darinya dapat mencapai tiga jam penerbangan (Noth, 2008).

Sunrise II yang merupakan pengembangan Sunrise I melakukan penerbangan perdana pada tahun 1975. Sunrise II lebar sayap yang sama dengan Sunrise I, akan tetapi bobotnya dikurangi menjadi 10,25 kg dan sel surya sebanyak 4480 kali ini mampu memberikan 600 W (Klesh, 2007).

Helios yang merupakan *solar powered UAV* yang dikembangkan oleh NASA, melakukan penerbangan perdananya pada tahun 1999,. Suatu hal yang membedakan Helios dari pendahulunya adalah pertimbangan perencanaan jalur optimal ketika merancang penerbangan Helios. Desain Helios sudah mulai mempertimbangkan aspek angin dalam perencanaan jalur penerbangannya, namun belum memberikan solusi analitis umum untuk masalah perencanaan jalur (Klesh, 2007).

Penerbangan pertama dengan hanya energi matahari tanpa penyimpanan apa pun dicapai oleh Dr. Paul B. McCready dan AeroVironment Inc,. Demonstrasi pertama dilakukan pada 1977 penerbangan berpilot manusia dengan pesawat Condor Gossamer kemudian pada 12 Juni 1979 dilakukan penerbangan menyeberangi Selat Inggris dengan Gossamer Albatross (Noth, 2008).

Sky-Sailor yang dirancang oleh Andre Noth pada tahun 2005 yang merupakan pesawat yang dirancang untuk eksplorasi planet dan didanai oleh

Badan Antariksa Eropa menggunakan 216 sel surya dengan output daya sebesar 90 watt. Dengan lebar sayap 3,2 m dan panjang *fuselage* 1,82 m pesawat ini memiliki berat 2,5 kg. sky-Sailor menggunakan MPPT sebagai SCC dan menggunakan baterai jenis Lithium Ion (Li-On). Hasilnya Sky-Sailor mampu terbang lebih dari 27 jam.

Lammers dalam laporan *internship* program *master mechanical engineering*-nya melakukan analisa CFD terhadap pesawat experimental pada tahun 2015. Analisa dilakukan untuk menganalisa efek dari posisi mesin terhadap aerodinamika pesawat eksperimental tersebut. Hasil dari analisa CFD Ansys Fluent menunjukkan bahwa tidak terjadi pola aliran yang berdampak negatif akibat posisi mesin (Lammers, 2015) .

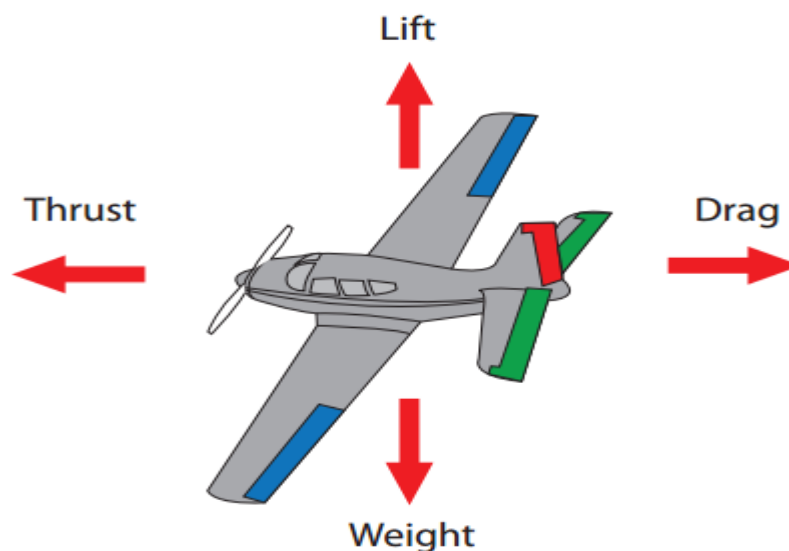
Lammers merupakan beberapa contoh penelitian aerodinamika pesawat secara utuh menggunakan CFD Ansys Fluent. Analisa aerodinamika dengan CFD yang sering dilakukan dalam penelitian adalah penggunaannya untuk menganalisa suatu jenis airfoil tertentu atau baru. Penelitian tersebut seperti yang dilakukan oleh Faik Hamad pada 2017. Penelitian tersebut bertujuan untuk menghasilkan dan memvalidasi model simulasi aliran eksternal di sekitar NACA 2412 menggunakan ANSYS Fluent (Hamid, 2017). Selain menggunakan ANSYS Fluent simulasi numerik (*numerical*) juga dapat dilakukan menggunakan *software* lain seperti yang dilakukan oleh Haryadi, dkk. Penelitian tersebut berupa analisis aerodinamika pada sayap airfoil NACA 43018 dengan tambahan *Forward and Rearward Wingtip Fence* (Hariyadi, 2016). Penelitian serupa lainnya adalah analisis desain winglet dengan airfoil PSU yang dilakukan menggunakan CFX dari Ansys. Hasil yang dicari adalah desain yang memiliki *vortices* lebih sedikit sehingga memiliki *drag* yang lebih rendah (Arul, 2014)

Penelitian-penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya menggunakan desain dengan dimensi yang besar termasuk pada sayapnya. Penelitian kali ini berfokus kepada efek aerodinamika pesawat jika menggunakan dimensi yang lebih kecil baik dari badan maupun sayapnya. Analisa aerodinamika tersebut dilakukan menggunakan ANSYS Fluent dalam pengerjaannya.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Aerodinamika

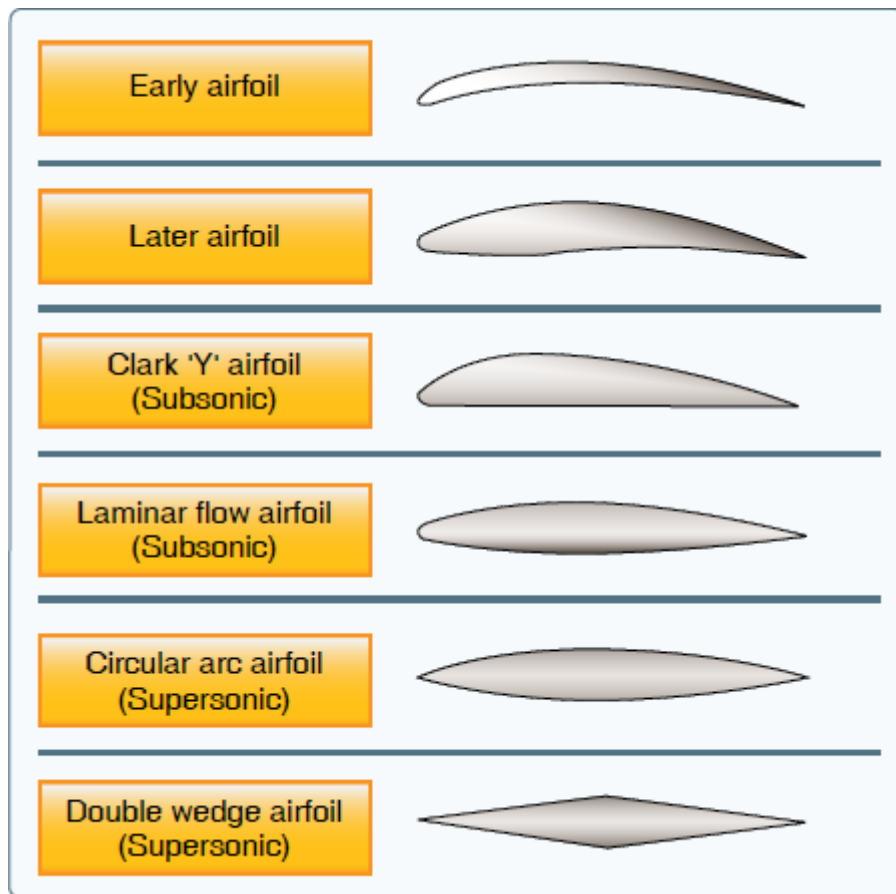
Terdapat empat gaya yang selalu bekerja pada pesawat yang sedang terbang,. Gaya ini adalah gaya angkat, berat (atau gravitasi), seret/gesek dan dorong. Gaya angkat merupakan gaya utama yang membuat pesawat tetap mengudara. Gaya ini merupakan gaya yang melawan gaya berat. Gaya berat merupakan gaya yang menarik benda menuju pusat bumi atau dengan kata lain menarik benda jatuh kembali ke tanah. Berat suatu benda mengendalikan seberapa kuat tekanan (gaya angkat) dibutuhkan. Gaya seret adalah kekuatan mekanik yang dihasilkan oleh interaksi dan kontak dari benda padat, seperti pesawat terbang, dengan cairan (cairan atau gas). Dan terakhir, gaya dorong adalah gaya yang dihasilkan oleh mesin dari suatu pesawat agar pesawat bergerak maju. Gaya-gaya tersebut dapat digambarkan posisi dan vektornya terhadap pesawat seperti pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Empat gaya penerbangan (Gipson , 2017)

Gaya angkat (*lift*) yang merupakan salah satu komponen paling penting untuk menjaga pesawat mengudara dihasilkan oleh airfoil. Airfoil merupakan penampang melintang objek yang memanfaatkan hukum bernouli sehingga dapat menghasilkan *lift*. Airfoil dibentuk sedemikian rupa sehingga bentuknya

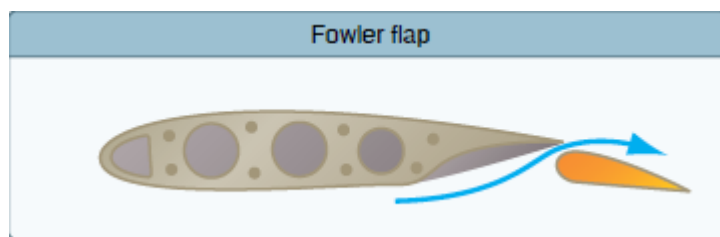
mendapatkan reaksi dari udara berdasarkan hukum fisik tertentu. Ini menghasilkan dua reaksi dari udara yaitu tekanan angkat positif dari udara di bawah sayap, dan tekanan negatif dari tekanan di atas sayap yang menurun. Jika sayap pesawat dibentuk sedemikian rupa sehingga menyebabkan gaya angkat lebih besar dari berat pesawat maka pesawat akan terbang. Airfoil memiliki beragam jenis seperti pada Gambar 2.2



Gambar 2. 2 Jenis-jenis airfoil (Duncan dkk, 2016)

Tiap bentuk airfoil yang berbeda memiliki karakteristik penerbangan yang berbeda. Ribuan airfoil telah diuji di terowongan angin dan penerbangan yang sebenarnya, tetapi tidak airfoil yang dapat memenuhi setiap persyaratan penerbangan dari jenis pesawat yang berbeda. Bobot, kecepatan, dan penggunaan dari masing-masing pesawat menentukan bentuk airfoilnya. Airfoil yang paling efisien untuk menghasilkan daya angkat terbesar adalah airfoil dengan permukaan bawah cekung. Akan tetapi, jenis airfoil ini mengorbankan kecepatan untuk

menghasilkan daya angkat dan tidak cocok untuk penerbangan berkecepatan tinggi. Kemajuan teknologi telah memungkinkan jet jaman sekarang untuk memanfaatkan karakteristik lift tinggi dari airfoil cekung. *Leading edge flaps* dan *Trailing edge flaps*, bila diperpanjang dari struktur dasar sayap dapat mengubah bentuk airfoil menjadi bentuk cekung, sehingga menghasilkan daya angkat yang jauh lebih besar selama kondisi penerbangan yang lambat. Efek dari *flaps* terhadap bentuk airfoil pesawat dapat dilihat seperti pada Gambar 2.3



Gambar 2.3 *Flaps* pada airfoil pesawat (Duncan dkk, 2016)

Jumlah lift yang dihasilkan oleh airfoil adalah sebanding dengan total sirkulasi diperlukan aliran untuk terpisah pada *trailing edge*. Besar lift dapat diperhitungkan menggunakan persamaan 2.1. Sedangkan koefisien lift adalah kuantitas non-dimensional didefinisikan seperti pada persamaan 2.2

$$l = \rho U \Gamma \quad (2.1)$$

dimana:

$$l = \text{lift} \quad (\text{N})$$

$$\rho = \text{densitas udara} \quad (\text{kg/m}^3)$$

$$U = \text{kecepatan udara (airspeed)} \quad (\text{m/s})$$

$$\Gamma = \text{circulation}$$

$$c_l = \frac{l}{\frac{1}{2} \rho U^2 c} \quad (2.2)$$

dimana:

C_l = koefisien *lift*

c = *chord* (m)

Semua benda dalam aliran udara nyata terkena gaya seret (*drag*). Tidak ada pengekspresian perhitungan sederhana untuk *drag*. Ada banyak faktor yang menyebabkan *drag* dan hanya beberapa dari mereka mudah untuk dimodelkan. Perhitungan untuk koefisien *drag* sendiri dapat menggunakan persamaan 2.3

$$c_d = \frac{d}{\frac{1}{2}\rho U^2 c} \quad (2.3)$$

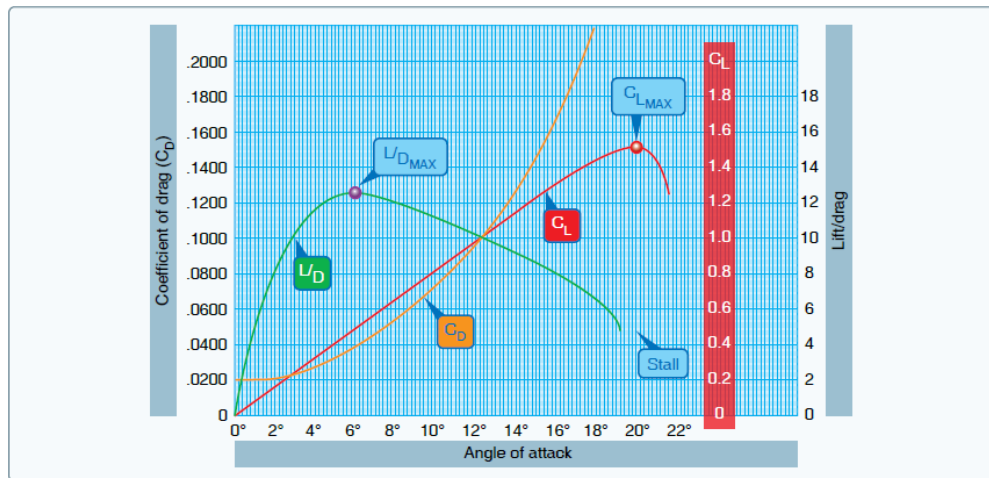
dimana:

c_d = koefisien *drag*

d = *drag* (N)

Rasio *lift-to-drag* (L / D) adalah jumlah *lift* yang dihasilkan oleh sayap atau airfoil dibandingkan dengan *drag*. Rasio L / D menunjukkan efisiensi airfoil. Pesawat dengan rasio L / D lebih tinggi berarti lebih efisien dibandingkan dengan rasio L / D yang lebih rendah. Pada penerbangan tanpa percepatan dengan data *lift* dan *drag* yang *steady*, proporsi koefisien *lift* (C_l) dan koefisien *drag* (C_d) dapat dihitung untuk AOA (*angle of attack*) tertentu.

Rasio L / D ditentukan dengan membagi C_l dengan C_d , yang sama dengan membagi persamaan *lift* dengan persamaan *drag*. Pada Gambar 2.4 kurva koefisien *lift* (merah) mencapai maksimum khusus pada contoh sayap ini di 20° AOA dan kemudian dengan cepat berkurang. Oleh karena itu 20° AOA adalah sudut serangan kritis pada kasus ini. Kurva koefisien *drag* (oranye) meningkat sangat cepat dari 14° AOA dan sepenuhnya melewati kurva *lift* pada 21° AOA. Rasio L / D (hijau) mencapai maksimum pada 6° AOA, artinya pada sudut ini, diperoleh *lift* paling banyak untuk jumlah seret *drag* paling sedikit.

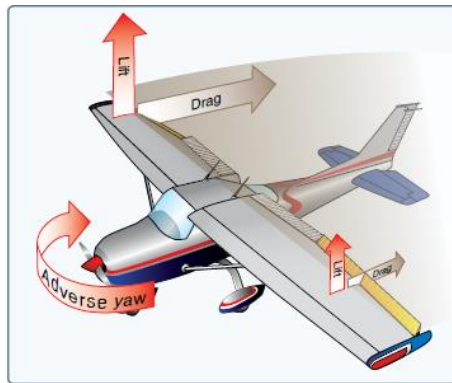


Gambar 2.4 Kurva *lift* dan *drag* terhadap AOA (Duncan dkk, 2016)

2.2.2 Sistem Kontrol Penerbangan

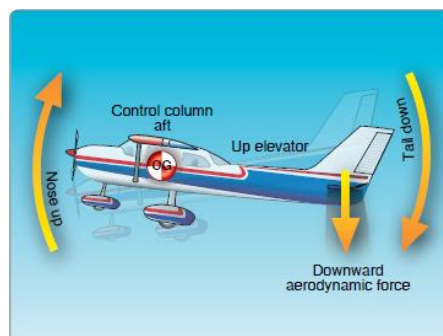
Sistem kontrol penerbangan pesawat terdiri dari sistem primer dan sekunder. Ailerons, elevator (atau stabilator), dan *rudder* merupakan sistem kontrol primer dan pengendali utama dalam penerbangan sebuah pesawat dengan aman selama penerbangan. *Wing flaps*, perangkat *leading edge*, *spoiler*, dan sistem trim merupakan sistem kontrol sekunder dan meningkatkan kinerja karakteristik pesawat terbang atau meringankan pekerjaan pilot yang berlebihan dalam mengontrol pesawat.

Ailerons mengontrol gerakan roll pesawat pada sumbu longitudinal. Ailerons berada pada *trailing edge* dari masing-masing sayap dan bergerak ke arah yang berlawanan satu sama lain untuk menghasilkan gerakan *roll*. Walaupun bagian aileron yang dibelokkan ke bawah menghasilkan lebih banyak gaya angkat sehingga bagian sayap tersebut dapat terangkat, bagian ini juga menghasilkan lebih banyak *drag*. *drag* tambahan ini menyebabkan sayap sedikit melambat. Ini mengakibatkan pesawat berbelok (*yawing*) menuju bagian sayap mengangkat. Dari perspektif pilot, *yaw* berlawanan arah *bank*. *Adverse yaw* adalah hasil dari perbedaan *drag* dan sedikit perbedaan dalam kecepatan antara sayap kiri dan kanan. Fenomena ini dapat diperlihatkan oleh Gambar 2.5



Gambar 2.5 Fenomena *adverse yaw* (Duncan dkk, 2016)

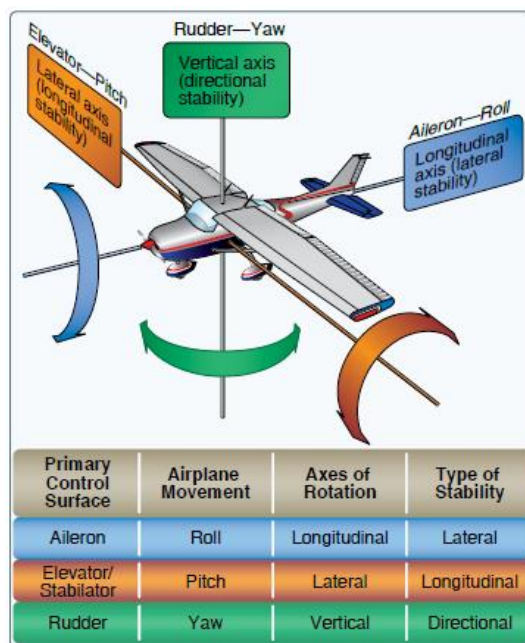
Elevator mengontrol gerakan *pitch* pesawat pada sumbu lateral. Ketika *elevator* pada posisi naik atau ke atas terjadi penurunan *camber elevator* dan tercipta gaya aerodinamis ke bawah, yang lebih besar dari kekuatan *tail-down* normal pada penerbangan lurus dan *level*. Efek keseluruhannya menyebabkan ekor pesawat bergerak ke bawah dan hidung pesawat naik. Momen *pitching* terjadi disekitar pusat gravitasi (*Center of Gravity/CG*). Besar dari momen *pitching* ditentukan oleh jarak antara CG dan permukaan ekor horizontal, serta oleh efektivitas aerodinamis dari permukaan ekor horizontal. Memajukan kolom kontrol memiliki efek sebaliknya. Dalam hal ini, *camber elevator* meningkat, menciptakan lebih banyak lift (kurang gaya *tail-down*) pada *stabilizer / elevator* horisontal. Hal ini menggerakkan ekor ke atas dan menurunkan hidung. Gerakan ini diilustrasikan pada Gambar 2.6



Gambar 2.6 Gerakan *pitch* (Duncan dkk, 2016)

Rudder mengontrol gerakan pesawat pada arah sumbu vertikal. Gerakan ini disebut *yaw*. Seperti permukaan kontrol primer lainnya, *rudder* adalah

permukaan yang bisa digerakkan dan berengsel pada permukaan dalam kasus ini, ke stabilizer atau sirip vertikal. Kemudi dikendalikan oleh pedal kemudi kiri dan kanan. Ketika *rudder* dibelokkan terhadap aliran udara, gaya horisontal diberikan pada arah yang berlawanan. dengan mendorong pedal kiri, *rudder* bergerak ke kiri. Hal ini mengubah aliran udara di sekitar *stabilizer / rudder* vertikal dan menciptakan *lift* ke samping yang menggerakkan ekor ke kanan dan hidungnya pesawat ke kiri. Efektivitas kemudi meningkat dengan meningkatnya kecepatan; Oleh karena itu, defleksi besar pada kecepatan rendah dan defleksi kecil pada kecepatan tinggi diperlukan untuk mendapatkan reaksi yang diinginkan. Pada pesawat yang digerakkan baling-baling, semua *slipstream* yang mengalir di atas *rudder* meningkatkan efektivitasnya. Semua pergerakan pesawat yang diakibatkan oleh permukaan kontrol primer dan sumbu pergerakannya diilustrasikan oleh Gambar 2.7



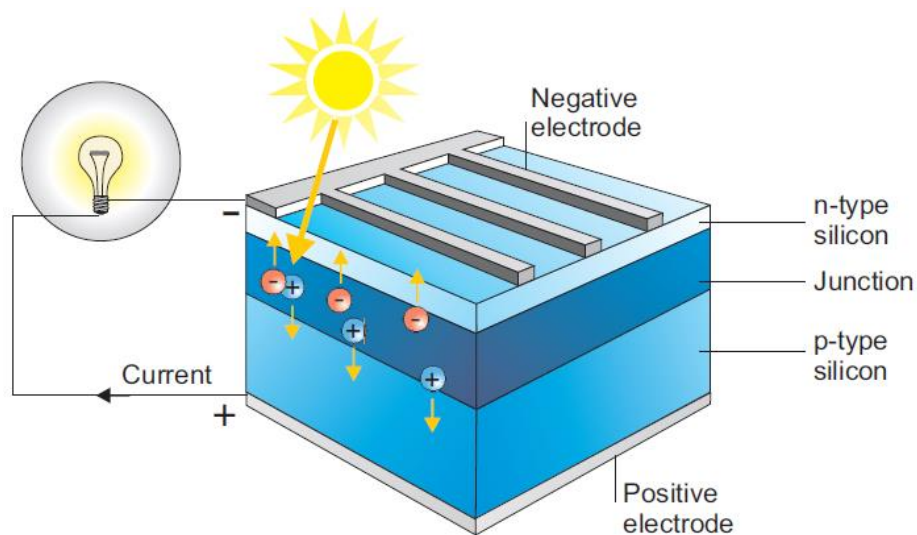
Gambar 2.7 Gerakan pada permukaan kontrol primer (Duncan dkk, 2016)

2.2.3 Sel Surya

Sel surya atau sel fotovoltaik adalah perangkat yang mengubah energi matahari menjadi listrik menggunakan efek fotovoltaik. Perangkat ini sangat

banyak digunakan dalam aplikasi luar angkasa karena memungkinkan sumber energi bersih, tahan lama dan hampir tanpa perawatan. Sel surya terdiri dari berbagai bahan semikonduktor, yang terdiri dari satu atau lebih lapisan. Silikon sangat sering digunakan karena merupakan elemen paling melimpah kedua di kerak bumi sehingga harganya murah.

Pada Gambar 2.8, sebuah sel surya silikon sederhana diwakili dengan dua lapisan semikonduktor yang disambungkan, yaitu lapisan tipe-p dan tipe-n. Ketika sinar matahari mengenai permukaan sel surya, sel tersebut menciptakan pembawa muatan sebagai elektron dan *hole*. Medan internal yang dihasilkan oleh persimpangan memisahkan beberapa muatan positif (*hole*) dari muatan negatif (elektron). *hole* bergerak ke sisi positif atau lapisan-p dan elektron tersapu ke lapisan negatif atau lapisan-n. Ketika rangkaian yang menyambungkan lapisan dibuat, elektron bebas akan bergerak melewati beban untuk bergabung kembali dengan *hole* positif, Pergerakan inilah yang menghasilkan arus.



Gambar 2.8 Prinsip kerja sel surya (Noth, 2008)

Sel silikon kristalin merupakan bahan yang paling umum untuk sel surya sejauh ini. Silikon kristal (disingkat sebagai c-Si), juga dikenal sebagai "silikon kelas solar ". Silikon dipisahkan menjadi beberapa kategori sesuai dengan kristalinitas dan ukuran kristal dihasilkan. Misalnya, silikon polikristalin, silikon

monokristalin (c-Si), atau multicrystalline (poli-Si atau mc-Si). Sel surya kristalin dihubungkan secara seri untuk menghasilkan panel surya. Setiap sel menghasilkan tegangan antara 0,5 dan 0,6 Volts. Oleh karena itu, 36 sel diperlukan untuk menghasilkan tegangan rangkaian terbuka sekitar 20 Volt. Ini cukup untuk isi daya baterai 12 Volt dalam berbagai kondisi. *Monocrystalline* terbuat dari kristal tunggal. Paling efisien, tetapi juga paling mahal. Polikristalin yang sedikit lebih baik dalam kondisi cahaya rendah, pada dasarnya dibentuk dari balok silikon yang mengandung banyak kristal kecil. Jenis ini mungkin adalah jenis yang paling umum saat ini. Sedikit kurang efisien daripada kristal tunggal, tetapi setelah digabungkan menjadi 36 atau lebih sel-sel lain, perbedaan yang sebenarnya dalam watt per kaki persegi tidak banyak. Jenis sel surya lainnya adalah: Sel *Thin films*, sel tembaga indium gallium selenide, *Gallium arsenide multijunction*, *light absorbing dyes* (DSSC), *Quantum Dot Solar Cells* (QDSCs), Sel surya organik / polimer, *Silicon thin films*.

2.2.3 Baterai

Sebagian besar UAV menggunakan baterai untuk memberi daya pada sistem kontrol penerbangan listrik dan motor. Konfigurasi yang paling umum digunakan untuk UAV sipil kecil adalah kombinasi baterai Lithium Polymer dan motor listrik *brushless* yang terhubung langsung ke baling-baling. Keuntungan dari sistem ini adalah tidak adanya emisi lokal, tingkat kebisingan berkurang, dan kontrol dorong yang mudah. Selain Lithium Polymer terdapat juga berbagai jenis baterai konvensional seperti baterai timbal-asam, baterai nikel-kadmium (Ni-Cd) dan baterai nikel-logam hidrida (Ni-MH).

Tabel 2.1 menunjukkan perbandingan antara baterai Li-ion dengan jenis baterai lainnya. Baterai Li-ion lebih unggul dalam hal efisiensi energi dan kepadatan kapasitas dayanya, yang memungkinkan baterai dirancang lebih ringan dan ukurannya lebih kecil. Selain itu, keunggulan lain dari baterai Li-ion termasuk *range* suhu operasi yang luas, kemampuan pengisian daya yang cepat, siklus hidup yang relatif lama, laju pengisian dan *discharge* yang rendah, dan efisiensi

tegangan. Karena karakteristik yang menguntungkan ini, baterai Li-ion mendominasi pasar baterai komersial untuk mendayai perangkat bio-implan, instrumentasi medis, dan perangkat portabel. Karakteristik *discharge* dari baterai isi ulang yang tersedia secara komersial, yaitu, lithium-ion (Li-ion), asam timbal, nikel-seng (Ni-Zn), kadmium nikel (Ni-Cd), hidrida logam nikel (Ni-MH) dan seng-mangan oksida (Zn-MnO₂), hampir semua sumber baterai ini memiliki tingkat energi dan daya tertentu; Namun, baterai Li-ion memiliki karakteristik *discharge* yang sedikit lebih linier.

Tabel 2.1 Perbandingan karakteristik beberapa macam baterai (Khofiyah dkk, 2019)

<i>Battery Type</i>	<i>Lead-Acid</i>	<i>Ni-Cd</i>	<i>Ni-MH</i>	<i>Zn-Br</i>	<i>Fe-Cr</i>	<i>Li-Ion</i>
<i>Energy Density (Wh/kg)</i>	30 -50	45 - 80	60 - 120	35 - 54	20 - 35	110 - 160
<i>Power Density</i>	180	150	250 - 1000	-	70 - 100	1800
<i>Nominal Voltage</i>	2 V	1.25 V	1.25 V	1.67 V	1.18 V	3.6 V
<i>Operating Temperature</i>	-20 – 60 °C	-40 – 60 °C	-20 – 60 °C	-20 – 60 °C	-40 – 60 °C	-20 – 60 °C
<i>Cycle Life</i>	200 - 300	1500	300 - 500	>2000	-	500 – 1000
<i>Charge Efficiency %</i>	79	-	-	-	-	100
<i>Energy Efficiency %</i>	70	60 - 90	75	80	66	80
<i>Voltage Efficiency %</i>	-	-	-	-	82	-
<i>Overcharge Tolerance</i>	<i>High</i>	<i>Moderate</i>	<i>Low</i>	<i>High</i>	<i>Moderate</i>	<i>Very Low</i>
<i>Self-Discharge</i>	<i>Low</i>	<i>Moderate</i>	<i>High</i>	<i>Low</i>	<i>high</i>	<i>Very Low</i>
<i>Thermal Stability</i>	<i>Least Stable</i>	<i>Least Stable</i>	<i>Least Stable</i>	<i>Least Stable</i>	<i>Stable</i>	<i>Most Stable</i>

2.2.4 ANSYS Fluent

ANSYS Fluent merupakan salah satu *software* simulasi numerik yang menyediakan kemampuan pemodelan yang komprehensif untuk berbagai masalah

aliran fluida *incompressible* dan *compressible*, laminar dan turbulen. Analisis *steady-state* atau *transient* bisa dilakukan dilakukan. Dalam ANSYS Fluent, berbagai model matematika untuk fenomena *transport* (seperti perpindahan panas dan reaksi kimia) dikombinasikan dengan kemampuan untuk memodelkan geometri kompleks. Contoh aplikasi ANSYS Fluent seperti aliran non-Newtonian laminar dalam peralatan; mengkonjugasikan perpindahan panas pada komponen *turbomachinery* dan mesin otomotif; pembakaran batubara bubuk dalam *utility boiler*; aerodinamika eksternal; aliran melalui kompresor, pompa, dan kipas; dan aliran multifase.

Model turbulensi yang akurat adalah komponen vital dari rangkaian model ANSYS Fluent. Model turbulensi yang disediakan memiliki jangkauan penerapan yang luas, contohnya termasuk efek fenomena fisik lainnya, seperti daya apung dan kompresibilitas. Perhatian khusus telah dikhususkan untuk mengatasi masalah akurasi *near-wall* melalui penggunaan fungsi dinding yang diperluas dan model zona

ANSYS Fluent menggunakan penyelesaian persamaan konservasi untuk massa dan momentum. Untuk aliran yang melibatkan perpindahan panas atau kompresibilitas, persamaan tambahan untuk konservasi energi ditambahkan. Untuk aliran yang melibatkan pencampuran atau reaksi spesies, persamaan konservasi spesies diselesaikan atau, jika model pembakaran non-premixed digunakan, persamaan konservasi untuk fraksi campuran dan variannya ditambahkan. Persamaan transportasi tambahan juga ditambahkan ketika alirannya turbulen.