BAB II

TEORI PENUNJANG

Pada bab ini akan menerangkan teori-teori penunjang untuk merancang roket EDF dengan kendali untuk mencapai sasaran secara horisontal, adapun teori yang akan dipaparkan sebagai berikut.

1. **Roket dan Mekanik**

   Bagian Roket dan Mekanik yang akan menjelaskan tentang roket, komponen penyusun roket, perhitungan stabilitas roket, serta metode pengendalian roket yang digunakan.

2. **Elektronik**

   Bagian elektronik akan menjelaskan sensor inersia, GPS, mikrokontroler, baterai, komunikasi beserta aktuator penggerak yang digunakan.

3. **Sistem Kendali**

   Bagian kendali atau kontrol akan menjelaskan tentang pengontrol *Proportional integral dan Derivative* (PID) yang digunakan.

4. **Software**

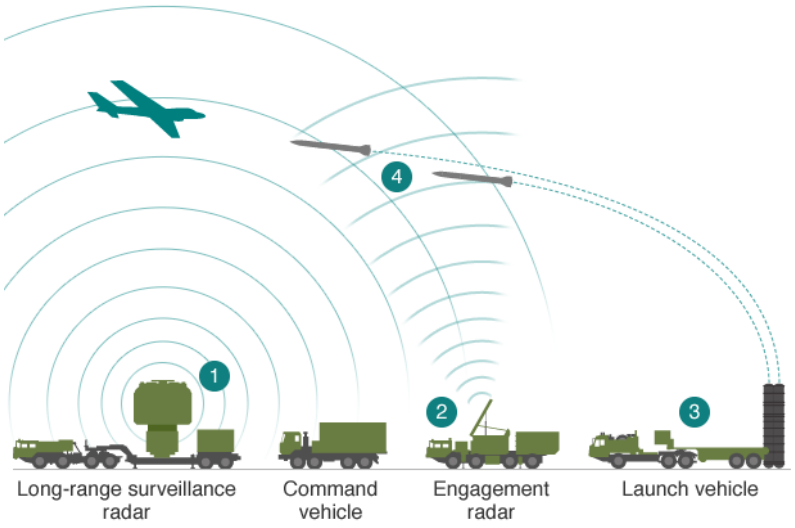
   Bagian *software* akan menjelaskan *software* antarmuka yang digunakan dalam perancangan roket EDF ini.

2.1 Roket dan Mekanik

Pada umumnya roket adalah sejenis sistem propulsi yang membawa bahan bakar dan oksigennya sendiri. Dorongan pada roket merupakan penerapan yang menarik dari hukum III Newton dan Kekekalan momentum yaitu dengan memancarkan aliran massa hasil pembakaran propelan. Roket memiliki tangki yang berisi bahan bakar hidrogen cair dan oksigen cair.

Bahan bakar tersebut dibakar dalam ruang pembakaran sehingga menghasilkan gas lalu dibuang melalui mulut pipa yang terletak dibelakang roket. Akibatnya terjadi perubahan momentum pada gas selama selang waktu tertentu. Jika ditinjau dari hukum ketiga Newton tersebut ketika suatu benda mengerjakan gaya pada benda lain, maka benda yang dikerjakan gaya akan mengerjakan gaya pada benda yang mengerjakan gaya padanya, gaya ini disebut gaya aksi-reaksi yang besarnya sama, namun arahnya berlawanan dan juga impuls dan momentum, dikatakan bahwa gaya eksternal yang bekerja pada suatu benda atau sistem akan mengakibatkan laju perubahan momentum benda tersebut.

Roket dapat meluncur secara vertikal keatas karena roket memiliki mesin pendorong yang dapat memberikan kecepatan pada roket. Gaya dorong roket bekerja berdasarkan impuls yang diberikan oleh mesin roket. Pada saat roket sedang bergerak, akan berlaku hukum kekekalan momentum. Mesin pendorong roket berbahan bakar hidrogen dan nitrogen cair. Kedua bahan bakar tersebut bercampur dalam sebuah ruang pembakar, kemudian akan menghasilkan gas panas yang keluar pada bagian ekor roket tersebut. Adapun roket berjenis peluru kendali atau misil adalah senjata roket militer yang bisa dikendalikan atau memiliki sistem pengendali otomatis untuk mencari target atau menyesuaikan arah, seperti yang diilustrasikan pada Gambar II-1.



Gambar II-1 Ilustrasi sebuah roket rudal

[sumber: foreignpolicyblogs.com]

Dalam penggunaan sehari-hari, istilah "misil" merujuk kepada roket dengan sistem Kendali. Salah satu contohnya yaitu Tomahawk seperti yang ditunjukan pada Gambar II-2, Peluru kendali jelajah jarak jauh dalam segala kondisi cuaca dan memiliki kecepatan subsonik. Pertama kali diperkenalkan pada tahun 1970 oleh General Dynamics, peluru kendali ini (misil) didesain untuk jarak menengah dan jauh, mampu terbang rendah dan juga dapat diluncurkan dari darat dan bawah air. Misil ini telah beberapa kali dikembangkan, saat ini diproduksi oleh Raytheon.



Gambar II-2 Roket Tomahawk

[sumber: navyrecognition.com]

Adapun roket yang akan dibahas pada tugas akhir ini yaitu roket EDF merupakan roket yang pendorongnya menggunakan motor elektrik BLDC dengan baling-baling berjenis *Ducted Fan* sebagai pengganti tenaga pendorong roket konvensional berupa bahan bakar *propellant*. Salah satu contoh roket EDF yaitu roket DIRK - BulletForce seperti yang ditunjukan pada Gambar II-3. Penelitian ini berfokus pada perancangan wahana roket dan sistem kontrol roket EDF yang mampu meluncur secara horizontal dengan mempertahankan sikap roket terhadap lintasan secara otomatis dengan kecepatan relatif rendah yaitu dibawah 25 m/s dengan sasaran sejauh 200 m dengan bidang sasaran selebar 15 m dikali tinggi 25 m.

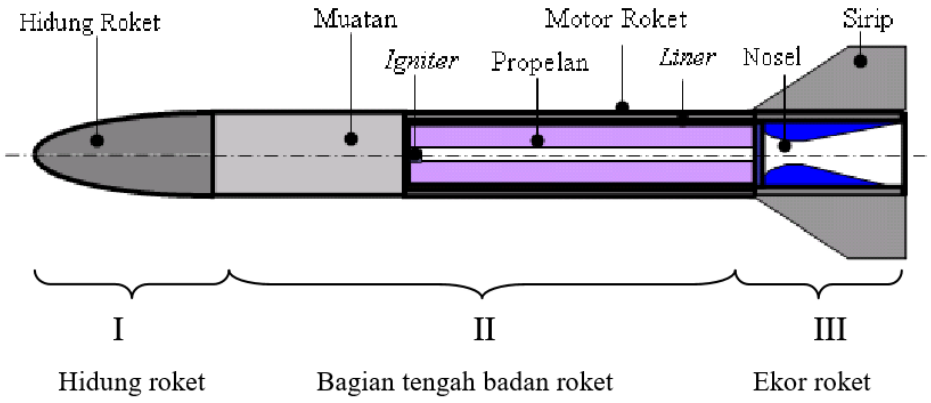


Gambar II-3 Roket DIRK - BulletForce

2.1.1 Bagian - bagian Roket

Bagian mekanik merupakan bagian terpenting dan utama pada perancangan roket *Electric Ducted Fan* (EDF) ini, karena sebelum memulai tahap selanjutnya diperlukan informasi untuk mengetahui tentang *airframe* roket, komponen penyusun roket, metode pengendalian roket serta dengan berbagai perhitungannya agar tahap selanjutnya dapat dilakukan dengan tepat dan efisien. Berikut ini

beberapa bagian yang umumnya ada pada roket, seperti yang diilustrasikan pada Gambar II-3.



Gambar II-4 Konfigurasi komponen roket
[sumber: Desain Konfigurasi Roket Padat, Atik Bintoro]

Berikut penjelasan dari setiap bagiannya

- Hidung roket *(Nose Cone)* biasanya berada di depan atau ujung roket berbentuk kerucut maupun busur untuk memecah angin, kemudian diikuti tabung muatan dibelakangnya.
- Muatan *(Payload)* merupakan tempat penyimpanan beban muatan yang dibawa oleh roket. Pada roket militer, *payload* biasanya berisikan hulu ledak. Sedangkan pada roket jelajah, *payload* biasanya berisikan manusia ataupun perangkat pemantau.
- *Igniter* merupakan bagian pemicu aktifnya roket atau pengontrol kecepatan roket. Pada umunnya *igniter* akan berupa suatu pematik atau penghasil api yang digunakan untuk pembakaran *propellant*.
- *Propellant* merupakan bahan bakar yang digunakan oleh roket untuk mendapatkan gaya angkat. *Propellant* biasanya berupa bahan bakar dalam

bentuk padat maupun cair yang dicampur dengan suatu zat pengoksidasi yang menghasilkan udara panas dengan tekanan.

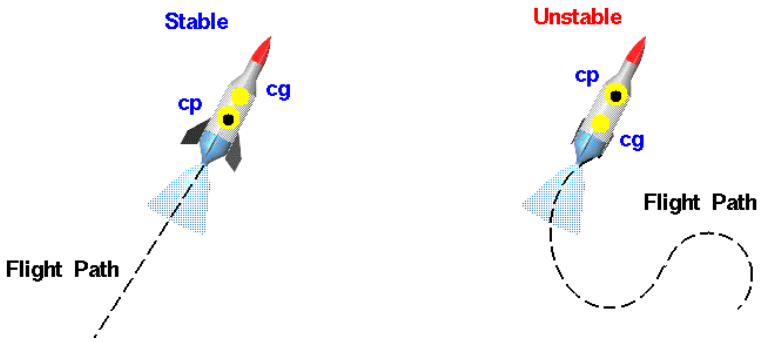
- Motor Roket merupakan tempat dimana terjadinya proses kimia pembakaran propellant pendorong roket.
- *Liner (Body tube)* merupakan bagian selubung yang melapisi inti roket.
- Nosel *(Nozzle)* merupakan bagian terbuka pada bawah roket yang membiarkan tekanan udara hasil pembakaran keluar. Tujuan dari *nozzle* adalah untuk meningkatkan akselerasi dari tekanan udara yang keluar dari roket. Perbedaan bentuk dan ukuran *nozzle* akan menghasilkan perbedaan daya dorong roket.
- *Sirip (Fin)* merupakan bagian ekor dari roket yang berfungsi sebagai pembentuk titik stabilisasi dari roket. Perbedaan dari bentuk fin akan menghasilkan perubahan dari pusat tekanan CP (*center of pressure*) pada roket. Jika pusat tekanan semakin mendekati pusat massa dari roket maka kestabilan roket akan semakin berkurang (catatan: pusat tekanan lebih bawah dari pusat massa roket).

2.1.2 Stabilitas dan Kontrol Roket

Suatu roket yang hendak diluncurkan harus dalam keadaan stabil, karena apabila roket tidak stabil akan sulit memprediksi arah geraknya seperti yang diilustrasikan pada Gambar II-4. Stabilitas roket bergantung pada pusat massa atau *Center of Gravity* (CG) dan pusat tekanan atau *Center of Pressure* (CP), CG adalah posisi dimana seluruh massa roket seimbang pada satu titik, dengan cara memberikan tali penyangga pada titik CG, maka roket tidak akan jatuh ke satu sisi badan roket. Adapun CP yang merupakan titik terjadinya tekanan, CP muncul

ketika adanya aliran udara pada badan roket, dengan posisi CP dibelakang CG, maka roket sudah di anggap stabil *Static margin* merupakan nilai yang digunakan pada perancangan stabilisasi wahana terbang, static margin terdapat dua kondisi utama, penjelasannya sebagai berikut.

- Nilai *static margin* negatif terjadi apabila CG berada dibelakang CP, dampak sistem yang memiliki nilai *static margin* negatif akan menghasilkan momen aerodinamis yang akan memperbesar gangguan masuk.
- Nilai *static margin* positif terjadi apabila CG berada didepan CP, dampak dari sistem yang memiliki nilai *static margin* positif akan merespon gangguan dengan menghasilkan momen aerodimanis yang mengembalikan arah wahana ke arah aliran berasal, semakin besar nilai *static margin*, maka akan meningkatkan kestabilan wahana, namun wahana akan lebih sulit dikendalikan, karena wahana lebih terpengaruh oleh aliran tekanan yang datang.



Gambar II-5 Pengaruh stabilitas pada lintasan gerak (trayektori) roket.
[sumber: spaceflightsystems.grc.nasa.gov]

Adapun pengelompokan nilai *static margin* roket ditunjukan pada Tabel II-1

Table II-1 Static margin

Nilai *Static margin*	Stabilitas
static margin < 1	Tidak Stabil
1 < *static margin* < 2,5	Relatif Stabil
2,5 < *static margin*	Sangat Stabil

Adapun persamaan untuk mencari nilai *static margin* dalam suatu wahana roket sebagai berikut.

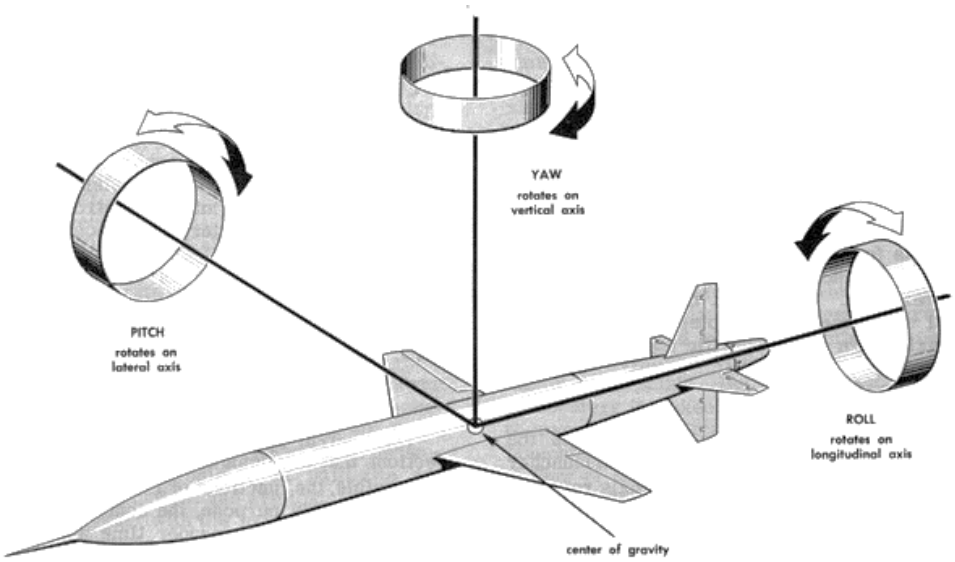
$$\text{Static Margin (SM)} = \frac{Pusat\ tekanan\ (CP)}{Pusat\ massa\ (CG)} \quad \text{..... 2.1}$$

2.1.3 Kendali Roket

Saat ini kebanyakan roket sudah menggunakan sistem kendali, hal ini dimaksudkan agar roket terbang menuju tujuan, dengan menambahkan sensor, sistem kendali dan aktuator roket dapat bergerak sesuai kehendak, seperti roket *Heat Seeker* yang terbang mencari suhu panas dari buangan pembakaran jet target, adapula roket yang terbang menuju koordinat tujuan seperti roket Tomahawk, atau roket pengangkut satelit untuk di-orbitkan diluar angkasa seperti roket Ariane dan Delta.

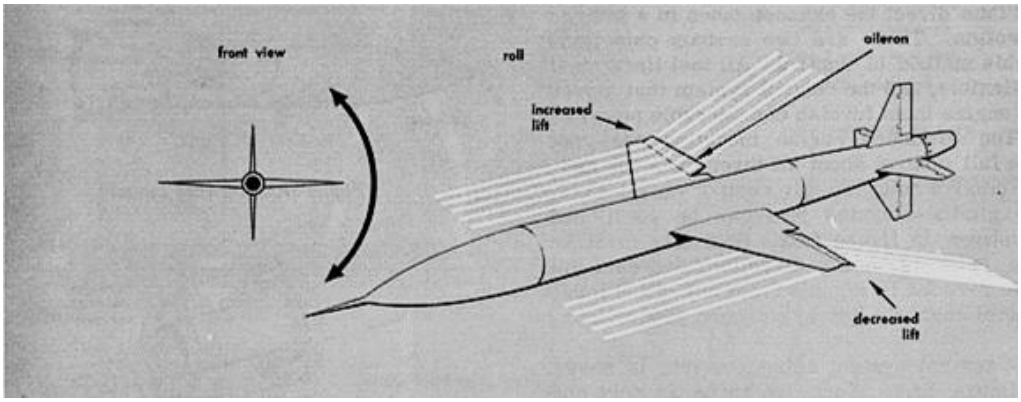
Metode penggerakan roket dibagi menjadi dua jenis yakni aerodinamik dan non-aerodinamik, pada penggunakan metode aerodinamik sepenuhnya mengandalkan aliran angin seperti pesawat terbang yang melesat cepat, sehingga metode ini hanya akan berfungsi apabila wahana bergerak cepat dan mendapatkan banyak angin, pada metode non aerodimanik wahana tidak memerlukan aliran angin sehingga wahana tetap dapat dikendalikan walaupun sedang bergerak lambat atau tidak adanya angin seperti saat diluar angkasa.

Roket dapat bermanuver dengan beberapa metode, sirip roket menghasilkan gaya aerodinamika. Kekuatan gaya aerodinamika ini diterapkan di CP roket yang biasanya terletak agak jauh dibelakang CG, CG juga bisa didefinisikan sebagai titik sumbu utama pada pergerakan roket. Torsi dari motor EDF biasanya menyebabkan roket berputar Karena adanya aksi dan reaksi. Sebagian besar roket menghasilkan gerakan *roll*, *pitch* dan *yaw* berikut ini adalah penjelasannya, seperti yang ditunjukkan pada Gambar II-5.



Gambar II-6 Tiga sumbu kendali roket
[sumber: maritime.org]

Kendali roll diperoleh dengan menggunakan aileron yang serupa dengan yang digunakan pada pesawat terbang, kontrol roll berarti mengendalikan pergerakan roket untuk berputar ke kanan dan ke kiri.



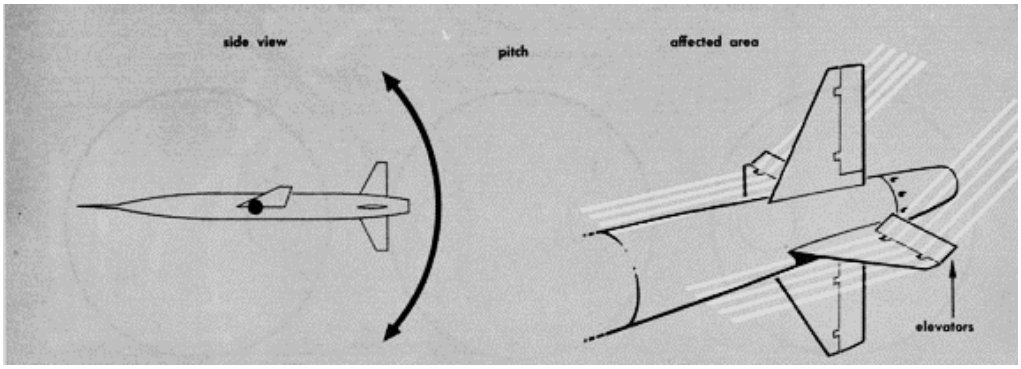
Gambar II-7 Kendali Roket Sumbu Roll

[sumber: maritime.org]

Tampilan Gambar II-6 menunjukkan bahwa aileron dapat mengendalikan putaran roll, bila salah satu aileron diturunkan maka aileron yang berlawanan dinaikkan. Aileron dilekatkan pada tepi sirip dari permukaan pengangkat utama roket. Biasanya, aileron digabungkan dengan permukaan siripnya sedemikian rupa sehingga kontrol roll yang baik dapat diperoleh.

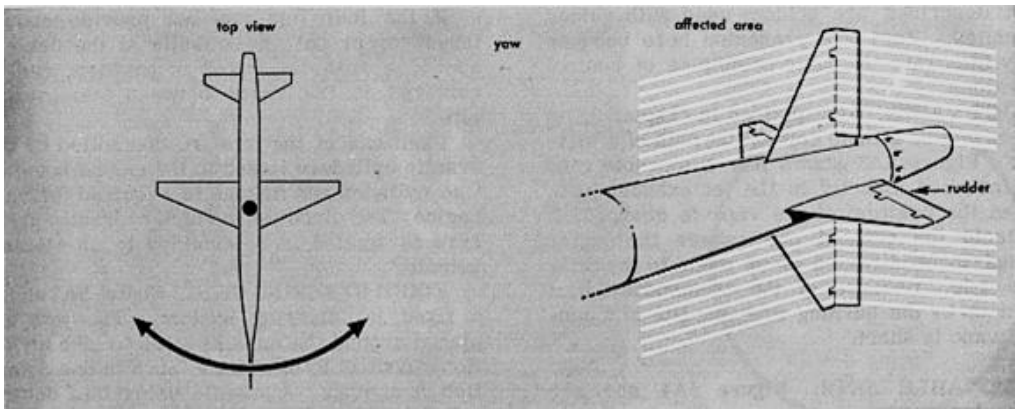
Kendali juga dipasang pada bagian ekor yang disebut stabilizer horizontal untuk memberikan kontrol *pitch*, Kedua elevator naik dan turun secara bersamaan seperti rudder yang mengendalikan gerak *yaw* roket.

Kendali pitch diperoleh dengan menggunakan elevator yang serupa dengan yang digunakan pada pesawat terbang, kontrol pitch berarti mengendalikan pergerakan roket ke atas dan ke bawah, seperti yang ditunjukkan pada Gambar II-7.



Gambar II-8 Kendali Roket Sumbu Roll
[sumber: maritime.org]

Kendali yaw yaitu gerakan roket pada sumbu yaw dengan mengendalikan pergerakan roket ke kanan dan ke kiri, kontrol yaw diperoleh dengan menggunakan rudder, seperti yang ditunjukkan pada Gambar II-8.



Gambar II-9 Kendali roket sumbu yaw
[sumber: maritime.org]

Penjelasan diatas yaitu menunjukkan bahwa kontrol diperoleh dari permukaan kontrol pada sirip menunjukkan penolakan terhadap aliran udara sedemikian rupa sehingga terjadinya sebuah gaya aerodinamik. Kekuatan ini, yang mendorong permukaan kendali sayap atau ekor, dimana permukaan sirip dilekatkan dengan *control surface* untuk bergerak ke arah yang diinginkan sesuai dengan ketentuan kontrol roket tiga sumbu.

Namun jenis kontrol aerodinamika ini tidak sesuai untuk digunakan pada ketinggian yang sangat tinggi, karena tekanan udara yang sangat kecil sehingga kekuatan pada permukaan sirip atau kontrol roket menjadi kecil. Kecepatan tinggi juga dapat menimbulkan masalah lain pada kontrol dasar roket.

Ada beberapa jenis pengendalian non-aerodinamis yang sangat populer yaitu *gimballed engine*, *jet vanes*, *attitude thrusters*, *reaction wheels*, *gimbal of hinge*, f*lexible laminated bearing*, *flexible nozzle joint*, *jetavator*, *jet tabs*, *side injection*, *small control thrust chambers* dan lain sebagainya.

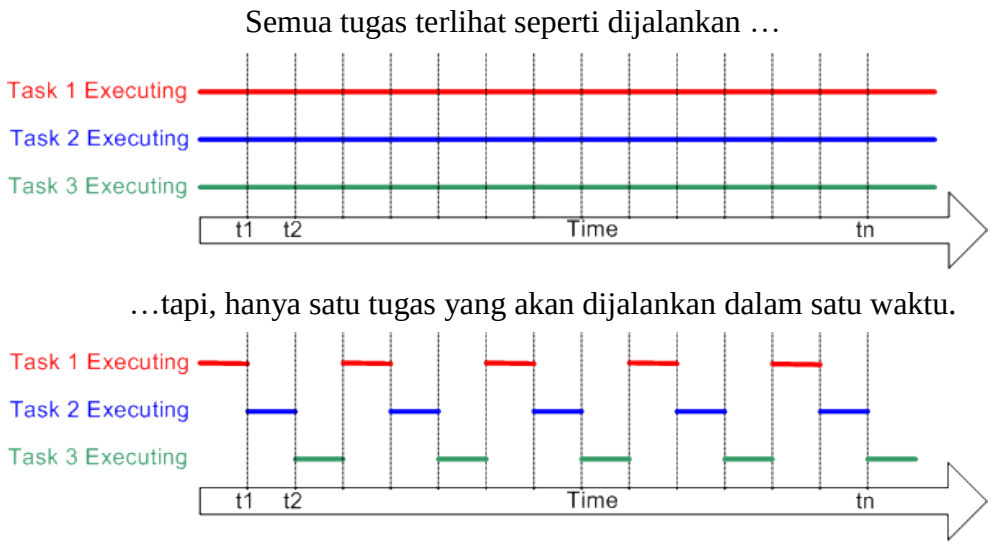
2.2 Elekronik

Pada topik bahasan perancangan sistem kendali roket, maka tidak akan luput dari penggunakan sistem elektronik yang berfungsi sebagai pengendali roket, pada sub bab ini akan dipaparkan tentang sensor sebagai masukan, mikokontroller sebagai bagian proses, komunikasi data dan baterai yang digunakan pada perancangan roket EDF ini.

2.2.1 *Real Time Operating System* (RTOS)

Real time system atau sistem waktu nyata merupakan sistem yang harus menghasilkan respon yang tepat dalam batas waktu yang telah ditentukan. Jika respon yang dihasilkan melewati batas waktu tersebut, maka akan terjadi degradasi performansi atau bahkan kegagalan sistem. Suatu sistem dikatakan real time jika memiliki deadline (jangka waktu penyelesaian tertentu), namun tetap mengutamakan ketepatan dan performa yang tinggi dalam prosesnya. Agar dapat mewujudkan sistem yang dapat bekerja secara real time dibutuhkan sebuah sistem operasi yang khusus diperuntukkan untuk operasi real time yang dikenal dengan nama *Real Time Operating System* (RTOS). RTOS juga dikenal sebagai sistem

operasi *multitasking* dengan dapat membuat seolah-olah setiap tugas tampak dijalankan secara bersamaan seperti yang diilustrasikan pada Gambar II-10, fitur *multitasking* dari sistem operasi memungkinkan aplikasi kompleks dipartisi menjadi serangkaian tugas yang lebih kecil dan lebih mudah dikelola.



Gambar II-10 Penjadwalan dan Multitasking RTOS
[sumber: freertos.org]

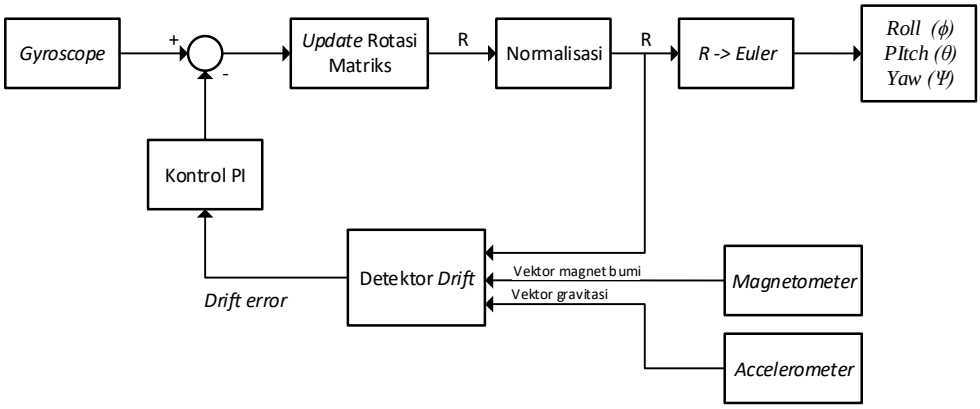
2.2.2 *Attitude and Heading Reference System* (AHRS)

Attitude and Heading Reference System atau yang biasa disingkat menjadi AHRS mempunyai peranan yang sangat penting dibutuhkan untuk memberikan informasi dan visualisasi yang akurat tentang sikap wahana terbang (kecepatan, ketinggian, arah dan sudut inklinasi) kepada pilot maupun pengamat *ground control station.* Kesalahan presepsi tentang sikap wahana terbang tersebut dapat menyebabkan kecelakaan atau *crash.* Pada *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV), peranan AHRS digunakan untuk memberikan informasi dan visualisasi perilaku wahana terbang kepada pemantau yang berada pada jarak yang tidak memungkinkan untuk melihat wahana terbang secara langsung, seperti keadaan tiga arah rotasi yaitu *roll*, *pitch* dan *yaw* (RPY) atau *bank*, *elevation*, dan *heading* (BEH)

dengan sudut euler XYZ yang merepresentasikan attitude atau orientasi. Sistem ini juga dapat dikembangkan lebih lanjut untuk menyusun kecerdasan buatan sehingga obyek dapat bergerak secara *auto-pilot.*

2.2.3 *Direct Cosine Matrix* (DCM)

Direction Cosine Matrix termasuk bagian dari AHRS yang tugasnya mengolah data-sata sensor untuk menghasilkan tiga sudut euler yang akurat dengan menggabungkan sensor *gyroscope, accelerometer* dan *magnetometer* seperti yang diilustrasikan pada Gambar II-11. DCM atau sering juga disebut C_n^b merupakan matrix 3x3 yang merepresentasikan rotasi sekuensial dari *roll*, *pitch* dan *yaw*. Representasi ini tidak mengalami masalah singularitas, tetapi tidak intuitif dan menggunakan sembilan nilai untuk menggambarkan *attitude*. DCM ditulis dalam bentuk matrix rotasi yang mendeskripsikan orientasi dari kerangka kordinat b (body) terhadap kerangka navigasi n. Orde rotasi adalah zz, yy dan kemudian xx yang dalam sudut Euler adalah yaw (ψ), pitch (θ), roll (φ).

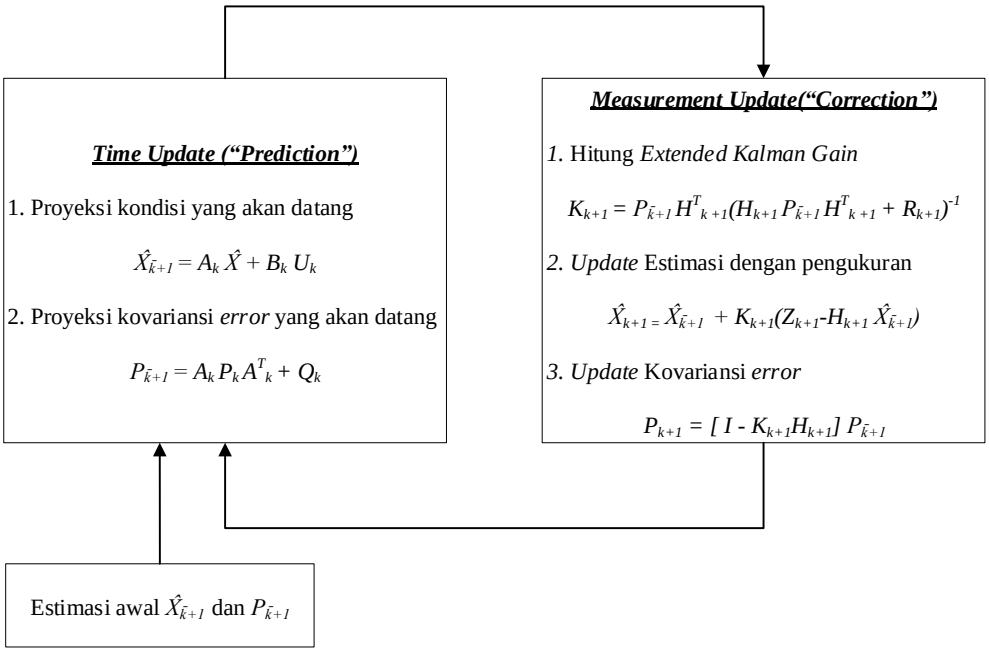


Gambar II-11 Algoritma DCM

2.2.4 Extended Kalman Filter (EKF)

Algoritma *Kalman Filter* adalah salah satu algoritma yang digunakan untuk memperkirakan hasil berikutnya berdasarkan data-data yang sudah ada

sebelumnya. Contoh yang dibahas kali ini adalah mengenai memperkirakan hasil dari sensor pada periode berikutnya berdasarkan data sensor pada periode sebelumnya. Algoritma ini biasanya digunakan untuk melakukan estimasi data sebenarnya berdasarkan data observasi yang mengandung noise dan beberapa faktor ketidaktepatan lainnnya, dan itulah arti kata "*filter*" pada algoritma ini. Sehingga dalam aplikasinya, algoritma kalman filter akan menggunakan proses berulang dari predict dan correct. Seperti yang dilihat pada gambar II-12



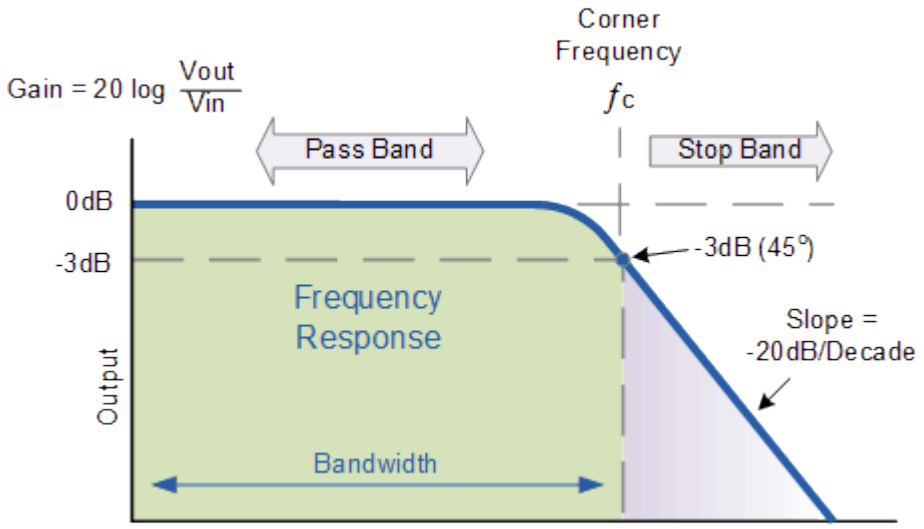
Gambar II-12 Algoritma Kalman Filter

Dalam perkembangannya untuk sistem yang lebih kompleks dengan persamaan matematis yang linier, kalman filter dimodifikasi agar dapat mengestimasi sistem yang non linier, modifikasi kalman filter ini salah satunya dinamakan *extended kalman filter* (EKF) yaitu algoritma yang digunakan untuk memperkirakan hasil berikutnya berdasarkan data-data yang sudah ada sebelumnya. *Extended Kalman Filter* dapat digunakan untuk sistem yang tak linier

dan juga kontinu. Dalam *Extended Kalman Filter* sistem semacam ini perlu dilinierisasi (apabila sistem tidak linier), pendiskritan sistem (apabila sistem kontinu), dan beberapa tahapan lain. Algoritma ini merupakan pengembangan dari Algoritma Kalman Filter yang sudah dijelaskan sebelumnya. Kalman filter sangat berguna terutama dalam navigasi dan lingkungan dengan *Gaussian noise*. Pada teori kendali, kalman filter merupakan sebuah algoritma atau kumpulan persamaan matematika yang menghasilkan sebuah perhitungan yang efisien untuk mengestimasi state dari proses, dengan tujuan meminalkan noise atau variansi terhadap referensi lain, maka dari itu EKF juga dapat digunakan untuk memadukan data dari sensor AHRS dan untuk mengintegrasikannya dengan data GPS. Algoritma ini digunakan dalam permasalahan non-linier, dan yang akan dilakukan algoritma ini adalah melakukan linearisasi pada rata-rata dan kovarians non-linier dan kemudian melakukan proses filter menggunakan variabel tersebut.

2.2.5 Low Pass Filter (LPF)

Filter adalah suatu sistem yang dapat memisahkan sinyal berdasarkan frekuensinya; ada frekuensi yang diterima atau diteruskan, dan ada pula frekuensi yang ditolak atau dilemahkan (diredam). Sedangkan LPF Adalah jenis filter yang melewatkan frekuensi rendah serta meredam frekuensi tinggi.



Gambar II-13 Kurva LPF
[sumber: www.electronics-tutorials.ws]

Pada prinsipnya sebuah low-pass filter adalah sebuah sistem yang dapat melewatkan sinyal-sinyal frekuensi rendah (*low-frequency*) secara mudah tetapi menyulitkan sinyal-sinyal di luar frekuensi tersebut untuk melewatinya.

2.2.6 Sensor *Inertia Measurement Unit* (IMU)

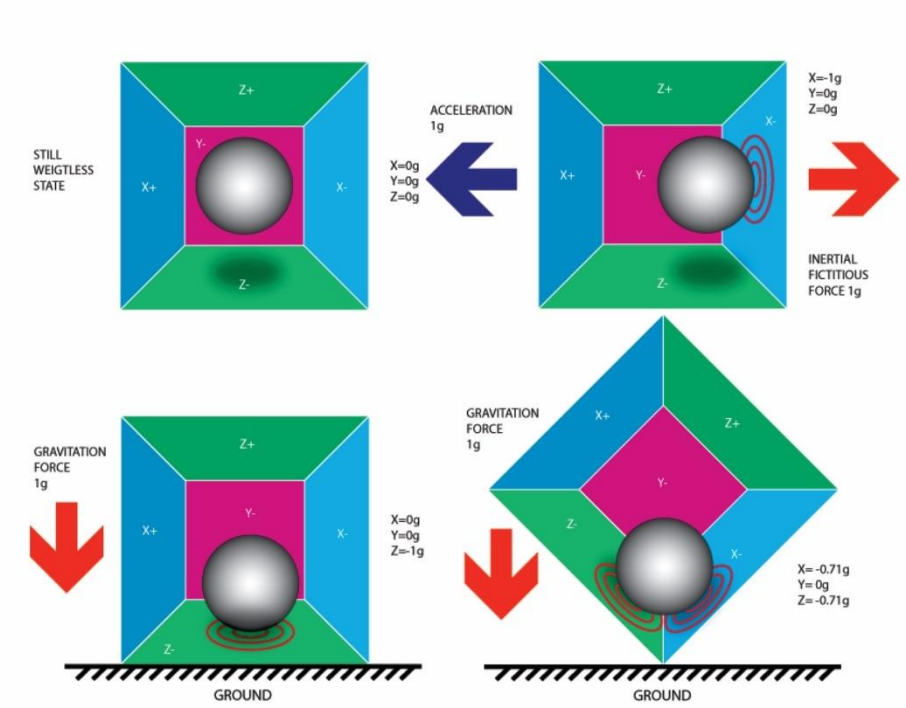
Sensor IMU adalah gabungan sensor yang digunakan untuk mengukur gerakan inersia pada suatu benda, sensor IMU adalah penggabungan dari sensor *Accelerometer* dan *gyroscope*. Namun tersedia juga sensor IMU yang ditambahkan sensor *magnetometer* dan *barometer* untuk menambah fasilitas data dari suatu alat, sensor ini sering digunakan pada wahana terbang, alat navigasi, transportasi, hingga *mobile device.*

2.2.6.1 Sensor *Accelerometer*

Sensor *Accelerometer* adalah perangkat *Micro-machined Electro-Mechanical Systems* (MEMS) yang mengukur akselerasi pada arah tertentu dari gerakan dan gravitasi. Pada kasus *Accelerometer* 3 axis, pada dasarnya bisa mengukur akselerasi dalam 3 arah secara bersamaan. *Accelerometer* bila diletakkan di atas permukaan datar akan selalu berukuran 9.8 m/s^2. Dalam kebanyakan kasus akselerasi diukur dengan g-force, yang pada dasarnya akselerasi itu seperti berat. Tentunya di permukaan bumi dan dalam kondisi tidak bergerak sensor akan bernilai 1G.

Dalam kebanyakan kasus percepatan digunakan sebagai kuantitas vektor, yang dapat digunakan untuk merasakan orientasi suatu perangkat, lebih tepatnya pitch dan roll. Karena ketika menghidupkan perangkat sensor, nilai 1G akan muncul diantara ketiga sumbu tersebut. Dengan matematika vektor sederhana kita bisa menghitung sudut.

Accelerometer memiliki berbagai aplikasi dalam bidang industri dan sains. *Accelerometer* yang sangat sensitif digunakan sebagai komponen sistem navigasi inersia pada pesawat tempur dan rudal. *Accelerometer* juga digunakan untuk mendeteksi dan memonitor getaran pada mesin putar. Selain itu, *Accelerometer* digunakan pada komputer tablet dan kamera digital agar foto di layar selalu ditampilkan tegak. sensor *Accelerometer* juga dapat difungsikan untuk mengukur kemiringan suatu benda dengan memanfaatkan gaya gravitasi bumi seperti yang diilustrasikan pada Gambar II-14.



Gambar II-14 Pembacaan pada sensor accelerometer
[sumber: www.starlino.com]

Pada Gambar tersebut terlihat adanya perubahan pembacaan percepatan gaya gravitasi bumi pada saat sensor *Accelerometer* dimiringkan Dengan memanfaatkan persamaan dibawah ini, perubahan sudut yang terjadi pada sensor *Accelerometer* 2-axis dapat diketahui dengan menggunakan persamaan berikut.

$$Degree = \tan^{-1}\left(\frac{Accelerometer\ X}{Accelerometer\ Y}\right) \quad \text{..... 2.2}$$

misal:

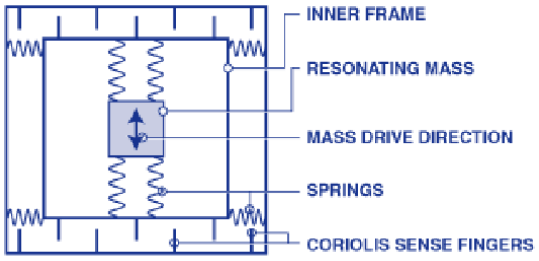
$$Degree = \tan^{-1}\left(\frac{0{,}71g}{0{,}71g}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{6{,}93\ m/s^2}{6{,}93\ \ m/s^2}\right) = \tan^{-1}(1) = 45°$$

Perhitungan diatas membuktikan bahwa dengan memanfaatkan gaya gravitasi bumi, sensor accelerometer dapat mengukur sudut benda. Namun proses pembacaan akan terganggu disaat sensor mendapat noise berupa getaran atau

akselerasi dari luar. Salah satu solusi untuk mengatasi hal ini adalah dengan cara menambahkan *filter* seperti *low pass filter.*

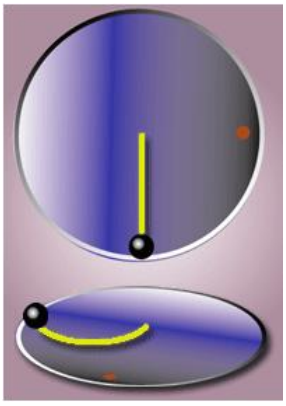
2.2.6.2 Sensor *Gyroscope*

Gyroscope adalah perangkat *Micro-machined Electro-Mechanical Systems* (MEMS) yang berfungsi untuk mengukur kecepatan sudut atau mempertahankan gerak rotasi dengan memanfaatkan gaya mekanis. Satuan kecepatan sudut yang diukur dalam derajat per detik (°/s) atau revolusi per detik (RPS).



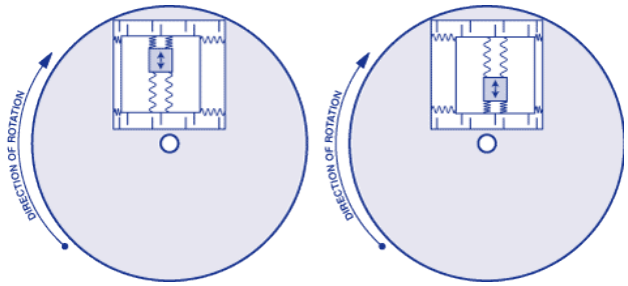
Gambar II-15 Perangkat elektronik sensor gyroscope
[sumber: sensorwiki.org]

Dasar untuk memahami operasi giroskop yaitu dengan memahami gaya Coriolis. Efek coriolis merupakan defleksi objek yang bergerak ketika dilihat dari sudut pandang rotasi.



Gambar II-16 Efek Coriolis
[sensorwiki.org]

Pada saat sensor gyroscope yang mengalami pergerakan memutar pada sumbu-sumbunya, efek Coriolis akan menyebabkan getaran yang akan dideteksi oleh suatu rangkaian elektronik seperti yang diilustrasikan pada Gambar II-16.



Gambar II-17 Rangkaian elektronik gyroscope saat berputar
[sumber: sensorwiki.org]

Tiga sumbu giroskop, dapat mengukur rotasi sekitar tiga sumbu: x, y dan z. Beberapa giroskop terdiri dari sumbu tunggal dan ganda, tetapi yang banyak digunakan adalah jenis giroskop yang memiliki tiga sumbu dalam satu chip.

Dengan memanfaatkan data kecepatan sudut tersebut dapat diketahui kemiringan (*roll, pitch, yaw*) suatu benda. Untuk mengetahui nilai sudut, data kecepatan sudut harus terintegrasi. Persamaannya adalah berikut ini:

$$\theta_{(x,y,z)} = \int gyro(x,y,z)\,dt \quad \text{..... 2.3}$$

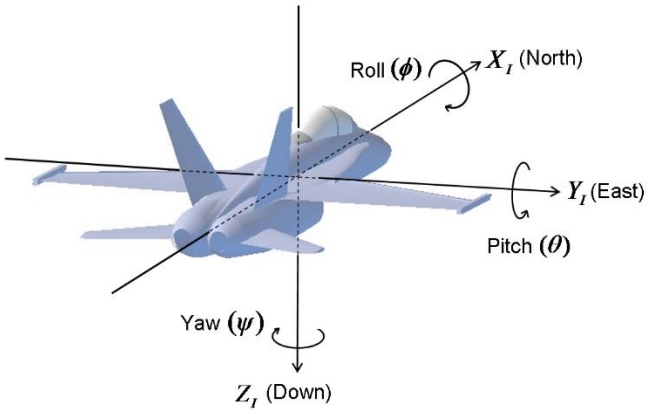
$dt = T = t_n - t_{n-1}$ 2.4

Dimana:

T = Sample time atau waktu siklus

n = {1,2,3…} contoh nilai

$gyro_{(x,y,z)}$ = data *gyroscope* (^{o}/s)



Gambar II-18 Ilustrasi gerakan kemiringan sudut roll, pitch dan yaw [sumber: www.chrobotics.com]

2.2.6.3 Sensor *Magnetometer*

Magnetometer adalah peralatan elektronik yang berguna untuk mengukur kekuatan dari medan magnet. Adanya medan magnet bumi yang berasal dari utara membuat sensor *magnetometer* dapat digunakan untuk mengukur sudut terhadap arah-arah utara bumi seperti alat ukur kompas. Persamaan untuk mengetahui nilai sudut *magnetometer* atau kompas adalah sebagai berikut.

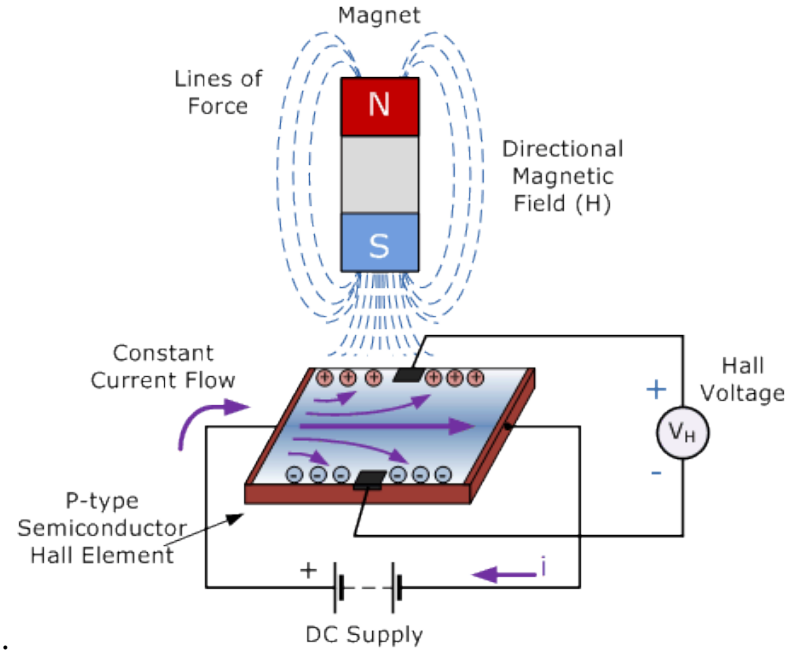
$$sudut(\theta) = \arctan(\frac{MagY}{MagX})$$ 2.5

dimana

MagX = nilai keluaran magnetometer sumbu X

MagY = nilai keluaran magnetometer sumbu Y

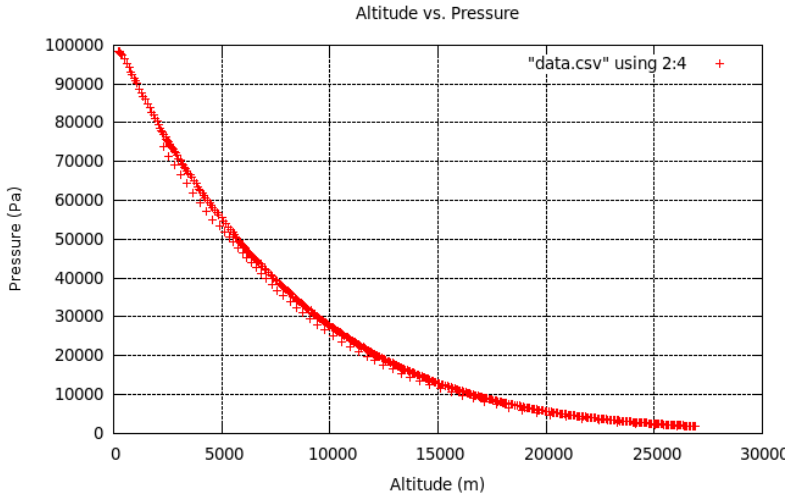
Sudut (θ) = sudut yang didapat hasil pemanfaatan sensor magnetometer (derajat)



Gambar II-19 Pengaruh medan magnet terhadap elektron
[sumber: www.researchgate.net]

2.2.7 Sensor Barometer

Barometer adalah sensor untuk mengukur tekanan udara dengan nilai keluaran berupa satuan Pa (pascal). Sensor ini berfungsi untuk mengukur tekanan udara disekitar, dengan adanya diafragma yang sensitif terhadap tekanan maka ketinggian dari diafragma diukur untuk menentukan tekanan di lingkungan sekitar sensor, dengan perhitungan matematis nilai tekanan tersebut dapat dikonversikan menjadi nilai ketinggian karena ketinggian berbanding terbalik dengan tekanan udara seperti yang ditunjukan pada Gambar II-20. Kelemahan dari pembacaan sensor barometer adalah sensitif terhadap angin dan suhu sekitar, sehingga sensor ini perlu ditempatkan pada bagian yang tetap mendapatkan udara bebas namun tidak terdapat angin agar mendapatkan nilai yang akurat.



Gambar II-20 Kurva Tekanan Udara Terhadap Ketinggian
[sumber: www.quora.com]

Persamaan untuk mengukur ketinggian menggunakan sensor *barometer* adalah sebagai berikut:

$$altitude = 44330 * \left(1 - \left(\frac{p}{p_0}\right)^{\frac{1}{5.255}}\right) \quad \text{..... 2.6}$$

dimana :

p = tekanan (Pa)

p_0 = *sea level standard atmospheric pressure* (101325 Pa)

altitude = nilai ketinggian (mdpl)

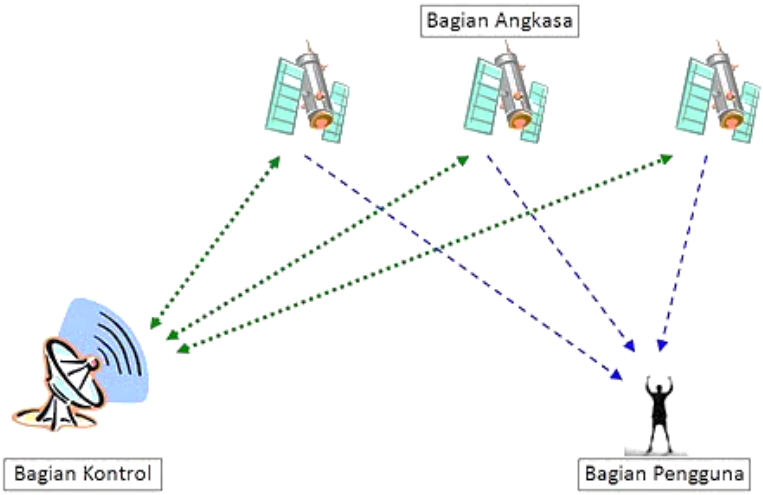
2.2.8 *Global Positioning System* (GPS)

GPS merupakan sebuah sistem navigasi berbasiskan radio yang menyediakan informasi koordinat posisi, kecepatan dan waktu kepada pengguna di seluruh dunia. Jasa penggunaan satelit GPS tidak dikenakan biaya. Pengguna hanya membutuhkan GPS *receiver* untuk dapat mengetahui koordinat lokasi. Keakuratan koordinat lokasi tergantung pada tipe GPS *receiver*.

GPS terdiri dari tiga bagian yaitu satelit yang mengorbit bumi (Satelit GPS yang mengelilingi bumi 2 kali sehari), stasiun pengendali dan pemantau di bumi

dan GPS *receiver* (alat penerima GPS). Setiap satelit GPS memancarkan sinyal gelombang mikro. GPS receiver menggunakan sinyal satelit untuk melakukan triangulasi posisi dengan cara mengukur lama perjalanan waktu sinyal yang dikirimkan dari satelit, kemudian mengalikannya dengan kecepatan cahaya untuk menentukan secara tepat berapa jauh dirinya dari satelit. Minimum 3 sinyal satelit yang berbeda agar GPS *receiver* dapat menghitung posisi koordinat lintang *(latitude)* dan bujur *(longitude)*, penguncian sinyal satelit yang ke-4 membuat GPS receiver dapat menghitung posisi ketinggian terhadap permukaan laut *(altitude)*.

Ilustrasi pengguna GPS dan satelit yang mengorbit bumi tampak pada Gambar II-21. Satelit GPS dikelola oleh Amerika Serikat, alat penerima GPS inilah yang dipakai oleh pengguna untuk melihat koordinat posisi, selain itu GPS juga berfungsi untuk menentukan waktu.



Gambar II-21 Ilustrasi GPS dan Satelit di Orbit
[sumber: Apa dan Bagaimana GPS, Yudha Ginanjar]

Format data GPS yang digunakan mengacu pada sandar protokol data NMEA 0183. NMEA 0183 adalah standar kalimat laporan yang dikeluarkan

oleh GPS *receiver*. standar NMEA 0183 memiliki banyak jenis bentuk kalimat laporan diantaranya yang paling penting adalah koordinat garis lintang (*latitude*), garis bujur (*longitude*), ketinggian (*altitude*).

Berikut ini protokol data NMEMA 0183:

a. $GPGGA (Global Positioning System Fixed Data)
b. $GPGSV (GNSS Satelite In View)
c. $GPGSA (GNSS DOP and Aktive Satelites)
d. $GPRMC (Recommended Minimum Specific GNSS Data)
e. $GPGLL (Geographic –Latitude/Longitude)
f. $GPVTG (Course Over Ground and Ground Speed)

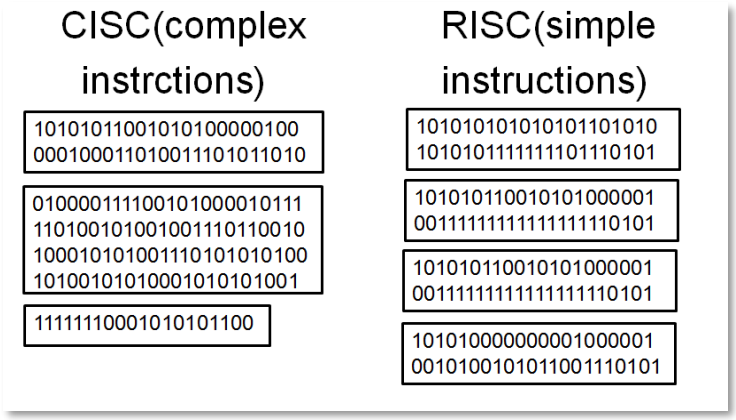
Penulisan protokol data diawali dengan karakter "$" dan diakhiri dengan <CR><LF>. Pada prakteknya tidak semua protokol data diambil, hanya yang berhubungan dengan garis lintang, garis bujur, ketinggian dan waktu.

2.2.9 Mikrokontroler

Mikrokontroler adalah *processing unit* seperti komputer versi mini dan untuk aplikasi khusus yang dikemas menjadi suatu *integrated circuit*, pada perancangan ini mikrokontroller befungsi untuk membaca data dari sensor, melakukan perhitungan matematis dan mengendalikan aktuator. Penggunaan utama mikrokontroler adalah mengontrol operasi sebuah mesin mengunakan program yang disimpan dalam ROM dan tidak berubah sepanjang umur sistem tersebut.

Arsitektur desain mikrokontroller yang paling populer ada 2 jenis yaitu *Complex Instruction Set Computing* (CISC) dan *Reduce Instruction Set Computing* (RISC), kelebihan dari arsitektur CISC terdapat efisiensi dalam mengurangi ukuran program yang ditanamkan dengan cara memasukan sejumlah instruksi kompleks.

seperti yang diilustrasikan pada Gambar II-22. Namun diperlukan *compiler* efisiensi tinggi untuk menggunakan instruksi kompleks.



Gambar II-22 Arsitektur mikrokontroller
[sumber: japaneseclass.jp]

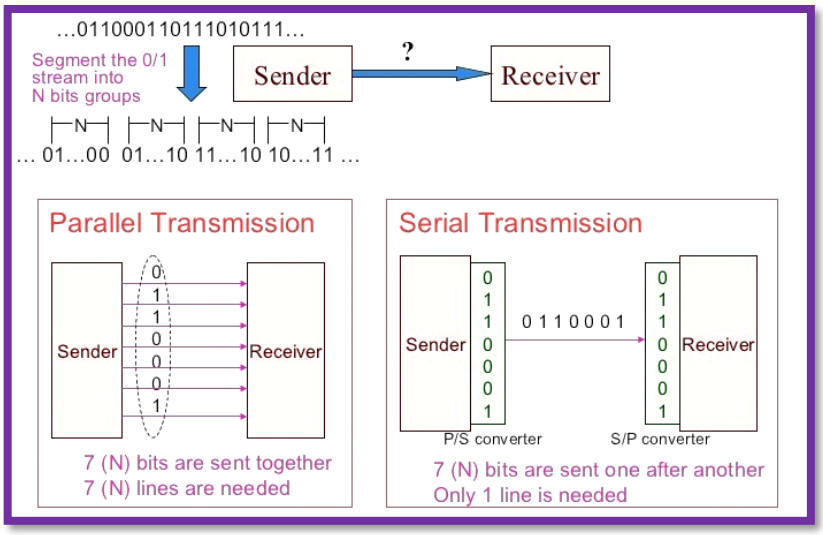
Instruksi yang digunakan pada arsitektur RISC adalah instruksi sederhana dimana tiap panjang instruksinya sama untuk semua instruksi. Penggunaan instruksi sederhana pada RISC mempermudah proses pendeteksian atau perbaikan suatu kegagalan pada pekerjaan sistem., adapun beberapa fitur atau fungsi-fungsi yang terdapat pada mikrokontroller umumnya yakni fitur ADC, interupsi, *Timer/Counter*, *Pulse Width Modulation* (PWM), *Universal synchronous asynchronous receiver and transmitter* (USART), *Inter Integrated Circuit* (I2C) dan lainnya.

2.2.9.1 Komunikasi Serial

Komunikasi serial merupakan protokol hasil perkembangan dari komunikasi paralel yang menggunakan banyak kabel, pada komunikasi paralel dibutuhkan 2 pin yang berfungsi sebagai pengirim dan penerima, komunikasi paralel hanya dapat dilakukan *pair to pair*, komunikasi serial dilakukan dengan cara

mengirimkan rentetan bit yang disalurkan kepada *shift registe*r yang berubah kembali menjadi data paralel.

Kelemahan dari komunikasi serial adalah kecepatan yang lebih lambat dibandingkan dengan komunikasi paralel, karena pengiriman data di antrikan, tidak dilakukan bersamaan seperti komunukasi paralel, namun kelebihan dari komunikasi serial UART adalah hemat pada jalur kabel yang digunakan. ilustrasi perbedaan komunikasi serial dan paralel ditunjukan pada Gambar II-23.



Gambar II-23 Perbedaan komunikasi serial dan paralel
[sumber: Communication model, Diksha L., www.slideshare.net]

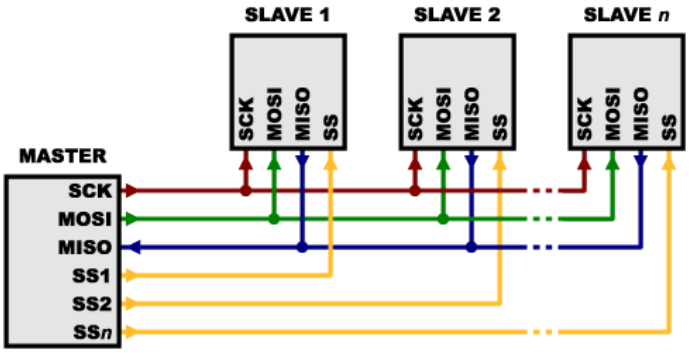
USART adalah salah satu jenis komunikasi serial dimana kedua perangkat memiliki sumber clock yang sama, sedangkan UART memiliki sumber clock masing-masing.

2.2.9.2 Komunikasi *Serial Peripheral Interface* (SPI)

Serial Peripheral Interface (SPI) merupakan salah satu protocol komunikasi serial *shyncronous* yang dikembangkan oleh Motorola. Dalam koneksi SPI, device yang terhubung satu sama lain akan bersifat *Full Duplex*, yaitu ada perangkat yang

bertindak sebagai *Master* dan *Slave*. *Master device* adalah perangkat yang memulai sambungan dengan cara menginialisasi SPI address dari slave device. Lalu *master* dan *slave* dapat mengirim atau menerima data. Hal ini dapat diartikan bahwa komunikasi *full duplex* yang artinya *master* dan *slave* dapat menerima ataupun mengirim data. *Slave device* dapat menerima atau mengirim data dalam waktu yang bersamaan, itulah yang disebut *Full Duplex*. Biasanya pin *SS* (*slave select*) diberi nilai 0 (*active low*) untuk mengaktifkannya sebagai slave. Biasanya hanya digunakan untuk komunikasi jarak pendek dengan mikrokontroler lain yang terletak pada papan rangkaian yang sama. Bus SPI dikembangkan untuk menyediakan komunikasi dengan kecepatan tinggi dengan menggunakan pin mikrokontroler yang sedikit. Komunikasi serial data antara master dan slave pada SPI diatur melalui 4 buah pin yang terdiri dari SCLK, MOSI, MISO dan SS berikut ini adalah penjelasannya.

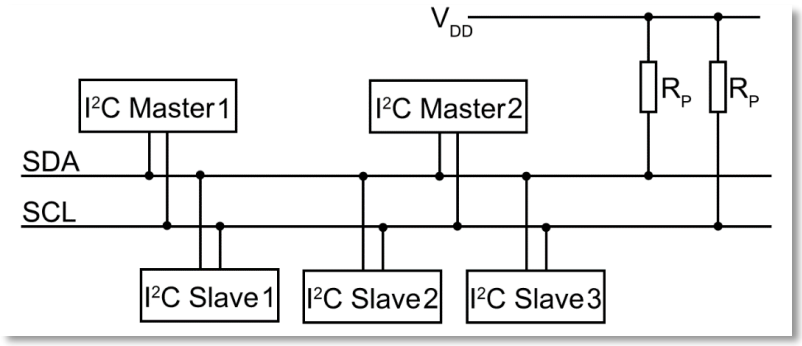
- **SCLK** dari master ke *slave* yang berfungsi sebagai *clock*
- **MOSI** jalur data dari *master* dan masuk ke dalam *slave*
- **MISO** jalur data keluar dari *slave* dan masuk ke dalam *master*
- **SS** (*slave select*) merupakan pin yang berfungsi untuk mengaktifkan *slave*



Gambar II-24 Komunikasi dengan protokol SPI
[sumber: learn.sparkfun.com]

2.2.9.3 Komunikasi *Inter Integrated Circuit* (I2C)

I2C merupakan salah satu protokol komunikasi baru yang diperkenalkan oleh Philips Electronics, I2C merupakan singkatan dari Inter IC atau komunikasi antar IC, sering disebut juga IIC atau I2C. keunggulan komunikasi I2C hanya membutuhkan 2 pin saja untuk berkomunikasi dengan perangkat lainnya yakni pin SDA (Serial Data) untuk komunikasi data dan SCL (Serial Clock) untuk sinkronisasi *clock*. Tidak ada aturan baudrate seperti pada RS232, di bus ini IC yang berperan sebagai master akan mengeluarkan *bus clock*. Hubungan master/slave berlaku antara komponen satu dengan yang lain, setiap perangkat yang terhubung dengan *bus* mempunyai alamat unik yang diatur melalui perangkat lunak. I2C mampu berkomunikasi dengan konfigurasi kabel secara paralel sehingga mampu terhubung dengan 128 *device* lainnya dalam dua jalur kabel saja seperti yang diilustrasikan pada Gambar II-25, I2C bekerja dengan cara memanfaatkan data alamat sebagai *header* data maka proses komunikasi tidak terjadi bentrok walaupun seluruh *device* terhubung.

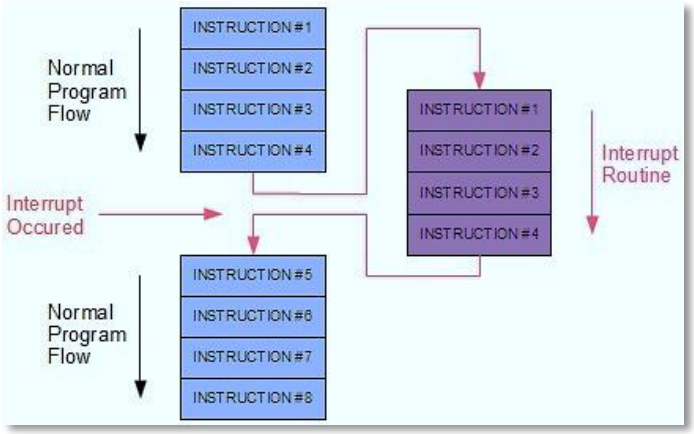


Gambar II-25 Komunikasi dengan protokol I2C
[sumber: dlnware.com/i2c]

I2C berkomunikasi secara bergantian dan hanya perangkat *master* yang dapat memulai komunikasi, dengan cara mengirim alamat dilanjutkan dengan data perintah, kemudian perangkat *slave* lainnya akan membalas data tersebut dan dibaca kembali oleh *master*. I2C merupakan *bus* yang mendukung multi-master yang mempunyai kemampuan arbitrasi dan pendeteksi tabrakan data.

2.2.9.4 Fitur Interupsi

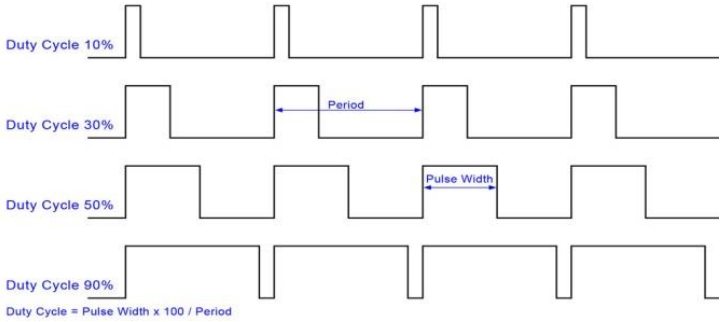
Interupsi adalah suatu fitur yang dapat menghentikan program normal dengan seketika untuk mengerjakan tugas khusus yang dinamakan *Interrupt Service Routine* (ISR), sehingga tugas tersebut dapat langsung ditangani tanpa harus menunggu CPU menyelesaikan tugas utama terlebih dahulu. Jika tugas ISR sudah selesai maka CPU dapat melanjutkan tugas utamanya kembali, ilustrasi terjadinya interupsi ditunjukan pada Gambar II-26.



Gambar II-26 Ilustrasi saat terjadinya interupsi
[sumber: microautomate.com]

2.2.9.5 Pulse Width Modulation (PWM)

PWM adalah sinyal pulsa berkecepatan 50Hz dengan *duty cycle* yang dapat diatur lebar *Time On* (TON) dan *Time Off* (TOF) pada pulsa seperti yang diilustrasikan pada Gambar II-27, hal ini bertujuan untuk merubah nilai tegangan efektif, Semakin kecil *duty cycle* maka nilai tegangan semakin kecil dan berlaku sebaliknya, sinyal PWM biasa digunakan untuk mengendalikan suatu perangkat yang dikendalikan oleh tegangan seperti mengatur kecepatan motor DC atau mengatur kecerahan lampu.



Gambar II-27 Bentuk sinyal PWM
[sumber: didown.com]

2.2.9.6 Timer dan Counter

Timer pada dasarnya adalah *counter* yang menghitung pulsa *clock* yang digunakan oleh CPU, dengan nilai frekuensi yang tetap maka dapat dihasilkan time dengan perhitungan matematis. Frekuensi *clock* pada CPU akan mempengaruhi yang berkaitan dengan waktu, seperti sinyal PWM *duty cycle* adalah perbandingan waktu pulsa kondisi high dengan kondisi low dengan satuan persentase.

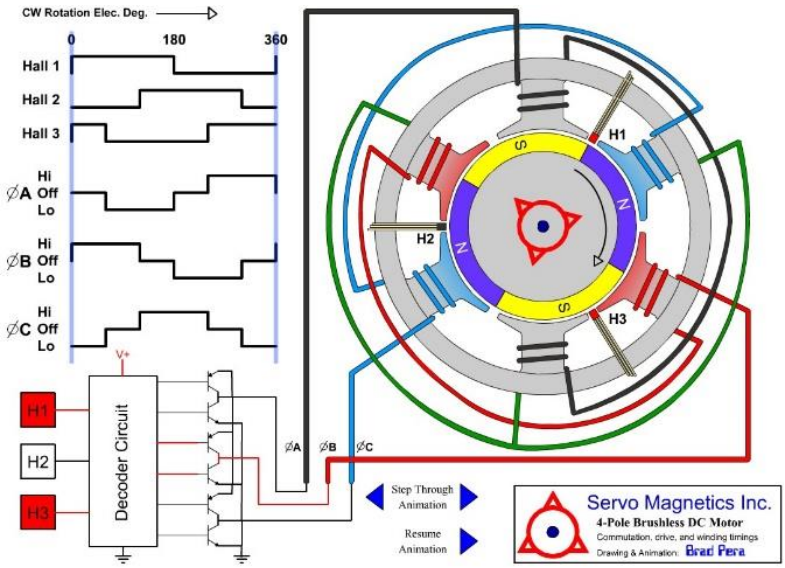
2.2.10 Aktuator Kendali

Aktuator merupakan bagian penggerak atau keluaran dari sebuah sistem, pada kasus perancangan sistem roket kendali, akturator yang digunakan terdiri dari motor *brushless* sebagai penghasil tenaga pendorong dan motor servo sebagai pengendali sirip-sirip yang digunakan untuk mengedalikan *Control Surface* roket dengan metode aerodinamika.

2.2.10.1 Motor *Brushless*

Motor *brushless direct current* (BLDC) adalah motor yang bekerja dengan cara diberikan tegangan DC, perbedaan motor DC dengan motor *brushless* terletak pada penggunaan *brush* atau sikat penghubung untuk mengalirkan tegangan kepada kumparan untuk meghasilkan medan magnet, kerja motor *brushless* sama seperti

motor *stepper* yang bekerja dengan cara memberikan masukan secara bergantian pada setiap kumparannya seperti yang diillustrasikan pada Gambar II-28.



Gambar II-28 Kumparan pada motor brushless
[sumber: www.researchgate.net]

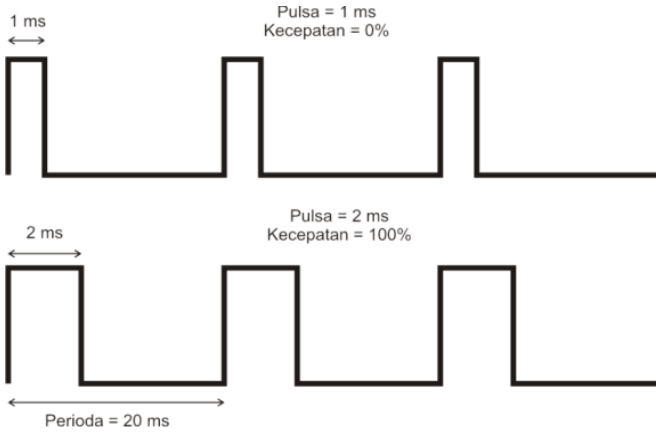
Motor *brushless* memiliki masukan 3 fasa untuk proses perubahan arah pergerakan kemagnetan pada stator. Disaat motor berputar pada sudut 0 derajat maka arus mengalir dari jalur B ke C. Disaat motor berputar pada sudut 60 derajat maka arus mengalir dari jalur B ke A. Disaat motor berputar pada sudut 120 derajat maka arus mengalir dari jalur C ke A. proses tersebut terus berulang untuk menghasilkan putaran 360 derajat secara kontinyu. Pergerakan arah arus yang terjadi pada motor brushless diillustrasi pada Gambar II-28 ditunjukan pada Tabel II-2.

Table II-2 Sudut pergerakan motor brushless

No	Sudut Motor (Derajat)	Jalur sumber arus	Jalur tujuan arus
1	0	B	C
2	60	B	A
3	120	C	A
4	180	C	B
5	240	A	B
6	300	A	C

2.2.10.2 Electronic Speed Controller (ESC)

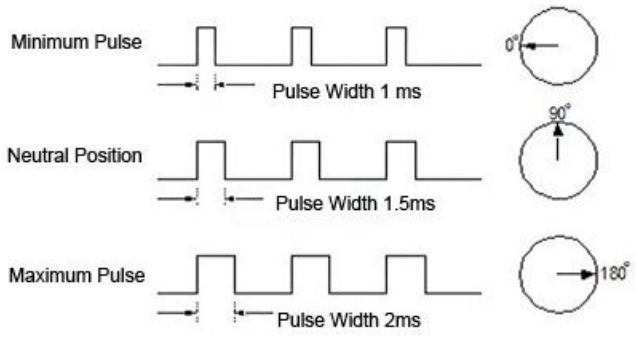
ESC adalah rangkaian elektronik yang mampu mengendalikan kecepatan putar dan arah putaran pada motor *brushless* 3 fasa, ESC juga berfungsi sebagai *drive*r yang mampu mengendalikan motor dengan beban yang besar dengan masukan yang kecil dari mikrokontroller, ESC bekerja dengan cara mengaktifkan saklar elektrik yang biasanya tersusun dari komponen *field effect transistor* (FET), masukan dari ESC umumnya adalah sinyal PWM 50Hz dengan *duty cycle* dengan lebar pulsa 1 milisekon untuk nilai minimum dan lebar 2 milisekon untuk nilai maksimum seperti yang diilustrasikan pada Gambar II-29.



Gambar II-29 Pengaruh sinyal PWM terhadap kecepatan BLDC
[sumber: blog.owenson.me]

2.2.10.3 Motor Servo

Motor servo adalah aktuator berjenis *rotary* yakni aktuator yang begerak dengan cara memutar, motor servo merupakan motor DC yang ditambahkan *gearbox* dan sistem *feedback s*ehingga motor servo mampu bergerak dan diam pada sudut yang ditentukan, motor servo bekerja dengan masukan sinyal PWM seperti ESC, namun pada motor servo lebar pulsa pada motor servo akan dikonversikan menjadi nilai sudut seperti yang diilustrasikan pada Gambar II-30.



Gambar II-30 Pengaruh sinyal PWM terhadap gerakan servo
[sumber: blog.daum.net]

2.2.11 Baterai

Baterai adalah sumber daya energi yang memanfaatkan reaksi kimia pada dua lempengan kutub yang dapat menghasilkan energi listrik, baterai memiliki bahan penyusun yang berbeda beda tergatung dengan kelebihannya masing masing. Baterai LiPo yang ditunjukan pada Gambar II-31 adalah baterai berbahan campuran *Lithium ion* dan *Polymer* yang memiliki kelebihan kapasitas pembungan daya (*discharge*) yang besar dan bobot yang ringan sehingga sangat sering digunakan untuk alat yang berbobot ringan, kelemahan dari baterai LiPo adalah usia pakai yang sebentar dan berbahan lunak, sehingga apabila terjadi benturan cukup keras dapat mengakibatkan baterai berubah bentuk dan memiliki resiko terjadinya ledakan, adapun beberapa faktor dalam pemilihan baterai LiPo sebagai berikut.

- Tegangan (Volt)

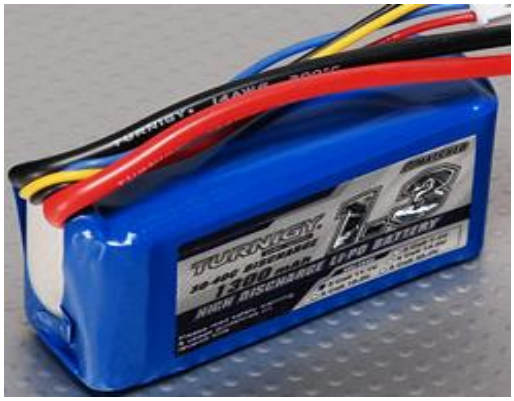
  Tengangan pada baterai LiPo hanya tersedia pada kelipatan 3.7 Volt saja, karena LiPo menggunakan satuan *cell*, dimana setiap *cell*-nya memiliki tegangan kerja sebesar 3.7 Volt

- Kapasitas (Ah)

  Kapasitas baterai umumnya menggunakan satuan *Ampere hour* (Ah), yang berarti mampu memberikan arus sebesar kapasitasnya dalam waktu 1 jam secara konstan

- *Discharge* (C)

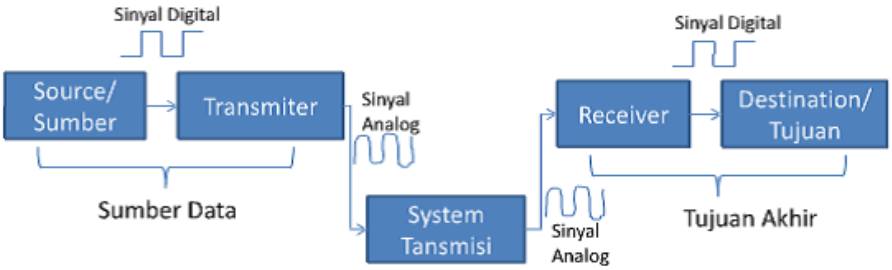
  Salah satu kelebihan baterai LiPo adalah kemampuan *discharge* nya yang sangat besar, sehingga beberapa baterai LiPo mampu mengeluarkan arus mencapai 120 Ampere, dengan kelebihan seperti itu baterai LiPo sangat sering dipakai untuk memberikan daya besar namun dengan durasi singkat seperti pada penggunakan motor *brushless* pada topik ini.



Gambar II-31 Baterai LiPo Turnigy nano-tech
[sumber: hobbyking.com]

2.2.12 Komunikasi

Komunikasi data, merupakan bentuk komunikasi yang secara khusus berkaitan dengan transmisi atau pemindahan data antara komputer-komputer, atau komputer dengan piranti-piranti yang lain dalam bentuk data digital yang dikirimkan melalui media komunikasi data. Biasanya komunikasi data dapat diartikan juga sebagai proses pengiriman data atau informasi dari suatu sumber *(source)* ke tujuan *(destination).*



Gambar II-32 Proses Transmisi Data

[sumber: microcyber2.com]

Selain itu komunikasi data juga bermacam-macam dan memiliki dua jenis saja pada saat ini. Dibawah merupakan jenis-jenis komunikasi data.

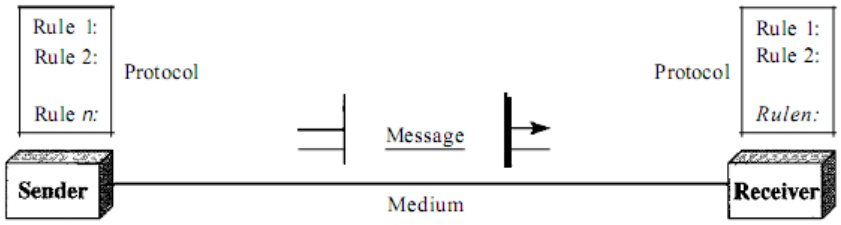
- **Jenis Komuniksai Data Melalui Infrastuktur Terestrial**

  Jenis komunikasi data ini dapat dilakukan menggunakan media kabel dan nirkabel sebagai aksesnya sehingga membutuhkan biaya yang tinggi untuk membangun infrastuktur jenis ini.

- **Jenis Komunikasi Melalui Satelit**

  Jenis komunikasi data ini dapat dilakukan dengan menggunakan satelit sebagai aksesnya. Biasanya wilayah yang dicangkup akses satelit lebih luas dan mampu menjangkau lokasi yang tidak memungkinkan dibangunnya infrastruktur terestrial, namun membutuhkan waktu yang lama untuk berlangsungnya proses komunikasi.

Komunikasi data adalah proses terjadinya pertukaran informasi diantara beberapa perangkat yang saling berhubungan seperti yang ditunjukan dalam Gambar II-33.



Gambar II-33 Diagram blok komunikasi data
[sumber: www.viralarticles.us]

Keterangan diagram blok komunikasi data:

- Pesan (*Message*)

  Pesan adalah informasi atau data yang akan dikomunikasikan atau dikirim. Bentuk populer dari informasi termasuk teks, angka, gambar, audio dan video.

- Pengirim (*Sender*)

  Pengirim adalah perangkat yang mengirim pesan data. Miasalnya, komputer, *workstation*, handset telepon, kamera video dan sebagainya.

- Penerima (*Receiver*)

  Penerima adalah perangkat yang menerima pesan. Misalnya, komputer, *workstation*, handset telepon, televisi dan sebagainya.

- Media Transmisi

  Media transmisi adalah jalur fisik dimana pesan berjalan dari pengirim ke penerima. Beberapa contoh media transmisi termasuk *twisted-pair*, kawat, kabel koaksial, kabel serat optik dan gelombang radio.

- Protokol

  Protokol adalah seperangkat aturan yang mengatur komunikasi data. Ini merupakan kesepakatan antara perangkat untuk berkomunikasi.

2.2.12.1 Sistem Komunikasi Data

- **Titik ke titik (*point to point communications*)**: Informasi dari sumber hanya ditujukan kepada satu point penerima saja. Contoh: telepon, fax, telegram.
- **Titik ke beberapa penerima (*multi communications*):** Informasi dari sumber ditujukan kepada beberapa point penerima saja. Contoh: jaringan dengan switch.
- **Menyebar (*broadcasting communications*):** Informasi yang diberika sumber dapat diterima oleh semua point yang terhubung tanpa terkecuali. Contoh: televisi broadcast, radio broadcast.

2.2.12.2 Mode Transmisi

a. **Simplex (satu arah)**: Simplex adalah komunikasi yang tidak memungkinkan penerima dan pengirim saling bertukar informasi. Pada komunikasi ini sinyal-sinyal dikirim hanya satu arah saja dalam waktu yang bersamaan. Karena melalui satu arah saja, komunikasi ini tidak terjadi secara interaktif, informasi hanya disampaikan melalui satu titik saja.



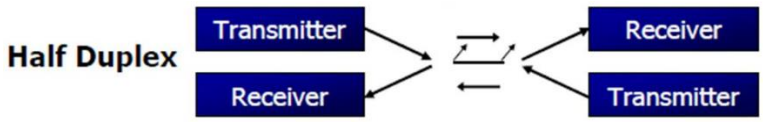
Gambar II-34 Komunikasi Satu Arah
[sumber: maxembedded.wordpress.com]

Biasanya metode simplex ini dimanfaatkan oleh teknologi seperti Televisi dan Radio. Konsep ini bisa diterapkan pada metode broadcasting penyiaran televisi dan radio. Dimana satu sumber memberikan informasi kepada

pendengar/penonton saja, namun dari pihak pendengar/penonton tidak dapat berkomunikasi atau memberikan informasi secara langsung melalui jalur tersebut.

b. Duplex (dua arah): Duplex adalah komunikasi data yang dilakukan menggunakan dua arah. Dimana antara penerima dan pengirim dapat saling bertukar informasi dan saling berkomunikasi. Metode duplexing ini terbagi menjadi dua, yaitu:

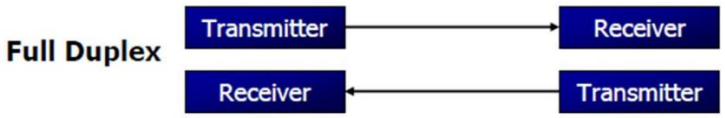
a) Half-Duplex (dua arah secara bergantian)



Gambar II-35 Komunikasi Dua Arah Secara Bergantian
[sumber: maxembedded.wordpress.com]

Metode ini memungkinkan komunikasi antara dua belah pihak yaitu pengirim dan penerima dapat saling berbagi informasi dan berkonukasi secara interaktif, tetapi tidak dalam waktu yang bersamaan. Contoh alat komunikasi yang memanfaatkan metode half-duplex ini adalah *walkie-talkie*. Dimana salah satu penggunanya harus menekan tombol terlebih dahulu baru kemudian berbicara, sementara pihak yang lain mendengarkan. Intinya kedua pengguna walkie-talkie ini, pada satu waktu hanya satu pihak yang dapat berbicara sedangkan pihak yang lain hanya bisa mendengarkan saja. Apabila keduanya mecoba berkomunikasi secara bersama-sama, dalam artian mereka mencoba berbicara secara bersamaan, maka akan terjadi collison (tabrakan).

b) Full-Duplex (dua arah secara bersamaan)



Gambar II-36 Komunikasi Dua Arah Secara Bersamaan
[sumber: maxembedded.wordpress.com]

Meotde ini memungkinkan komunikasi antar kedua belah pihak dapat saling berbagi informasi dan berkomunikasi secara interaktif dan dalam waktu yang bersamaan. Alat komunikasi yang menggunakan metode ini adalah telephone, handphone dan sebagainya. Umumnya alat yang memanfaatkan metode komunikasi ini menggunakan dua jalur komunikasi.

2.3 Sistem Kendali

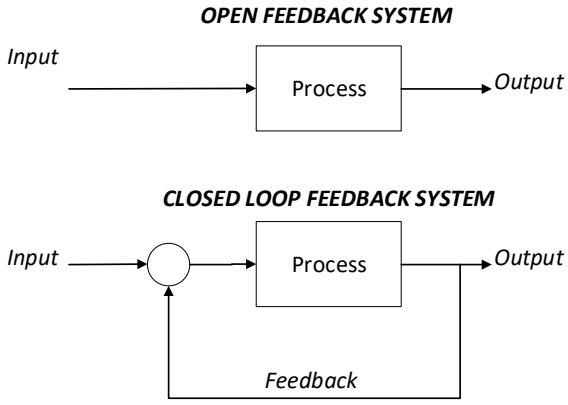
Sistem kendali adalah proses pengaturan/pengendalian terhadap satu atau beberapa besaran (*variable* / parameter) sehingga berada pada suatu rangkuman harga tertentu. Ditinjau dari segi peralatan, sistem kendali terdiri atas berbagai susunan komponen fisis yang digunakan untuk mengarahkan aliran energi ke suatu mesin atau proses agar dapat menghasilkan prestasi yang diinginkan.

Tujuan utama sistem kendali adalah mendapatkan optimasi yang diperoleh dari fungsi sistem kendali itu sendiri, yaitu: pengukuran (*measurement*), membandingkan (*comparison*), pencatatan dan perhitungan (*computation*), serta perbaikan (*correction*).

Dalam sistem atau teknik kendali terdapat 2 sistem kontrol, yakni *open loop* dan *close loop* yang diilustrasikan pada Gambar II-37, dalam *Open-loop Control*

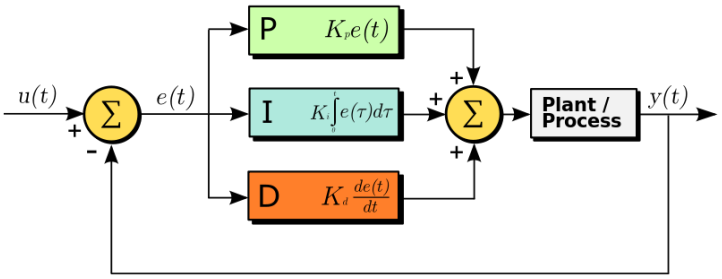
Systems direpresentasikan sebagai sistem dimana nilai keluarannya tidak memiliki efek terhadap aksi dari kontrol. Hal tersebut menyebabkan akurasi nilai keluaran sistem akan bergantung pada kalibrasi. Kehadiran *distubance* pada sistem memberikan hasil yang tidak diharapkan.

Closed-loop Control Systems adalah representasi terhadap sistem yang nilai keluarannya memiliki efek timbal balik terhadap aksi dari kontrol. Pada sistem *Closed-loop* memiliki sinyal *error* dari hasil pembandingan perbedaan nilai keluaran dan nilai referensi.



Gambar II-37 Jenis kontrol

Kontrol *Proportional Integral Derivative* (PID) merupakan salah satu jenis kontrol berjenis *close loop* yang telah umum digunakan dalam dunia industri. Blok diagram sistem dari kontrol PID di tunjukan pada Gambar II-38.



Gambar II-38 Kontrol PID
[sumber: wikipedia.org]

Kontrol PID terdapat tiga buah komponen utama yaitu kontrol proporsional, kontrol integral dan derivatif. Pada Ketiga kontrol tersebut memiliki karakteristik yang terkait satu sama lainnya.

2.3.1 Kontrol Proporsional

Pada suatu sistem yang menggunakan kontrol proporsional, Hubungan antara sinyal keluaran u(t) dan sinyal *error* e(t) dimana K_p adalah *gain* proporsional sebagai berikut.

$$u(t) = K_p e(t) \quad \text{..... 2.7}$$

Persamaan tersebut memperlihatkan bahwa kontrol proporsional merupakan pembesaran/amplifikasi dari nilai sinyal *error*. Kontrol proposional menghasilkan beberapa efek dalam sistem kontrol yakni Semakin besar K_p maka semakin kecil *rise time* yang dihasilkan. Penggunaan K_p yang berlebihan akan menyebabkan sistem tidak stabil atau berosilasi terhadap titik *setpoint* dan berapapun besarnya nilai K_p, kontrol proporsional tidak dapat menghilangkan *steady-state error*.

2.3.2 Kontrol Integral

Suatu sistem yang tidak memiliki kontrol integral akan terdapat *steady-state error* atau nilai *offset*. S*teady-state error* adalah selisih dari nilai referensi dan nilai keluaran pada *limit* waktu tak hingga. Nilai *offset* menyebabkan sistem tidak dapat diam pada titik referensinya. Kontrol integral digunakan untuk mengeliminasi nilai *offset* pada sistem.

Selain menghilangkan *steady-state error*, pada penggunaannya kontrol integral memberikan beberapa efek lain yakni keluaran kontrol integral membutuhkan selang waktu sehingga dapat memperlambat respon sistem dan juga penggunaan kontrol integral dapat mempercepat hilangnya *offset*. Namun jika penggunaannya terlalu besar, tingkat osilasi dari keluaran kontrol pun akan bertambah besar. Pada suatu sistem yang menggunakan kontroler integral, Hubungan antara nilai keluaran u(t) dan sinyal *error* e(t) adalah.

$$u(t) = K\frac{1}{T1}\int^{t} e(t)dt \quad \text{..... 2.8}$$

2.3.3 Kontrol Derivatif

Pada saat kontrol derivatif ditambahkan pada sistem yang menggunakan kontrol proporsional akan menghasilkan kontroler yang memiliki sensitifitas tinggi. Selain itu, kontrol derivatif menggunakan laju perubahan dari sinyal *error* sehingga kontroler yang dihasilkan dapat menghasilkan nilai koreksi yang signifikan sebelum sinyal kontroler menjadi terlalu besar. Pada suatu sistem yang menggunakan kontroler derivatif, Hubungan antara nilai keluaran u(t) dan sinyal *error* e(t) adalah.

$$u(t) = K_d\frac{de(t)}{dt} \quad \text{..... 2.9}$$

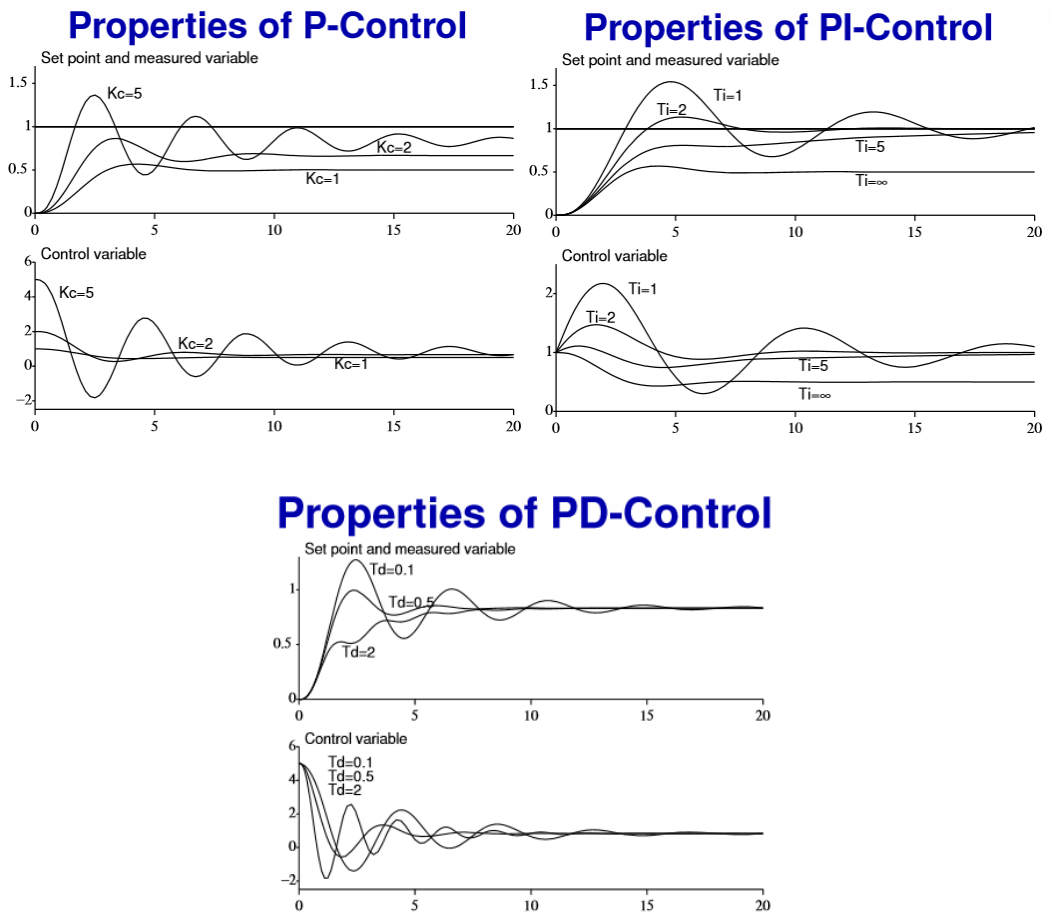
Sinyal kontrol derivatif memiliki karakter untuk mengurangi *steady-state error* meskipun tidak sebesar yang dilakukan oleh kontrol integral.

Dengan demikian dapat disimpulkan hasil pembahasan kontrol terhadap sistem yang ada dalam Tabel II-3 berikut.

Table II-3 Pengaruh parameter kontrol PID

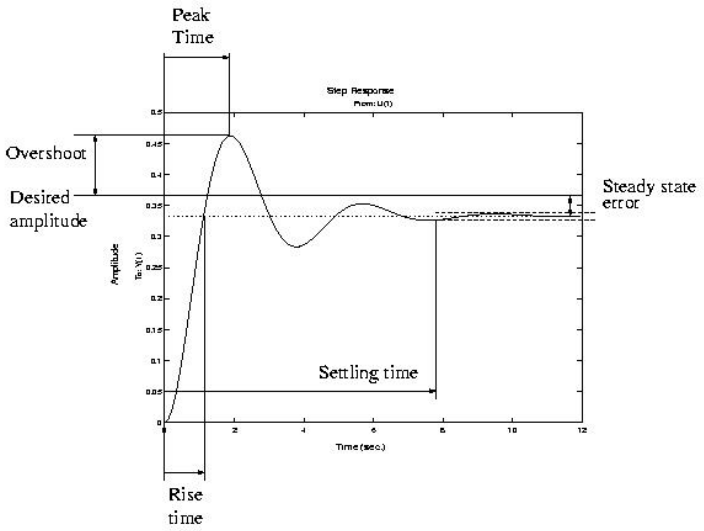
Pembesaran Kontrol	*Rise time*	*Overshoot*	*Settling time*	*Steady-state error*
Proporsional	Menurunkan	Meningkatkan	Perubahan kecil	Mengurangi
Integral	Menurunkan	Meningkatkan	Meningkatkan	Mengeliminasi
Derivatif	Perubahan kecil	Menurunkan	Menurunkan	Perubahan Kecil

Performansi kontrol PID dalam bentuk grafik ditunjukan pada Gambar II-39 adapun penjelasannya ditunjukan pada Gambar II-40.



Gambar II-39 Grafik performansi kontrol PID

[sumber: PID Control From Algorithm to Code, Karl-Erik Årzen]



Gambar II-40 Keterangan pada grafik performansi kontrol
[sumber: www.controls.ame.nd.edu]

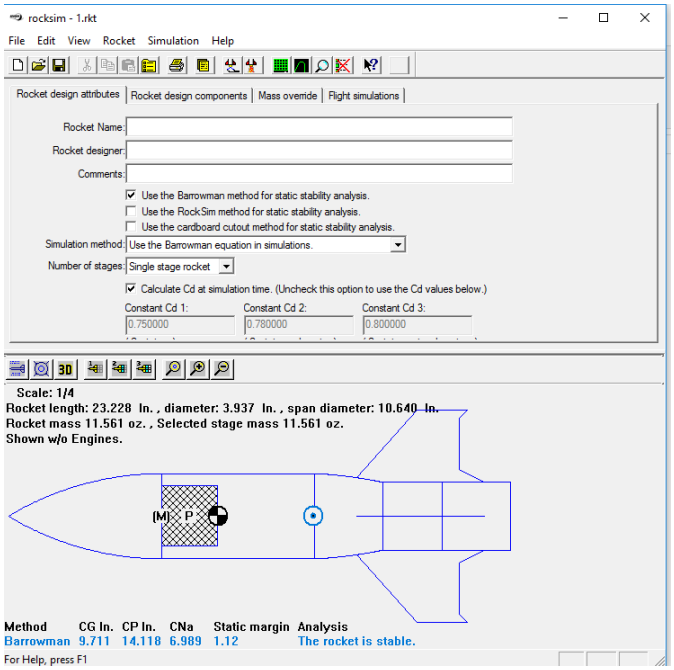
Berdasarkan beberapa karakteristik yang telah dijelaskan sebelumnya, setiap kontrol memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing. Sistem kontrol yang baik akan tercipta dengan melakukan penggabungan terhadap kontrol proporsional, integral dan derivatif.

2.4 Software

Pada bagian ini akan dipaparkan beberapa perangkat lunak yang digunakan dari mulai perancangan mekanik, elektronik, pemrograman, hingga GCS (*Ground Control Station*) pada proses pembuatan topik tugas akhir ini.

2.4.1 RockSim

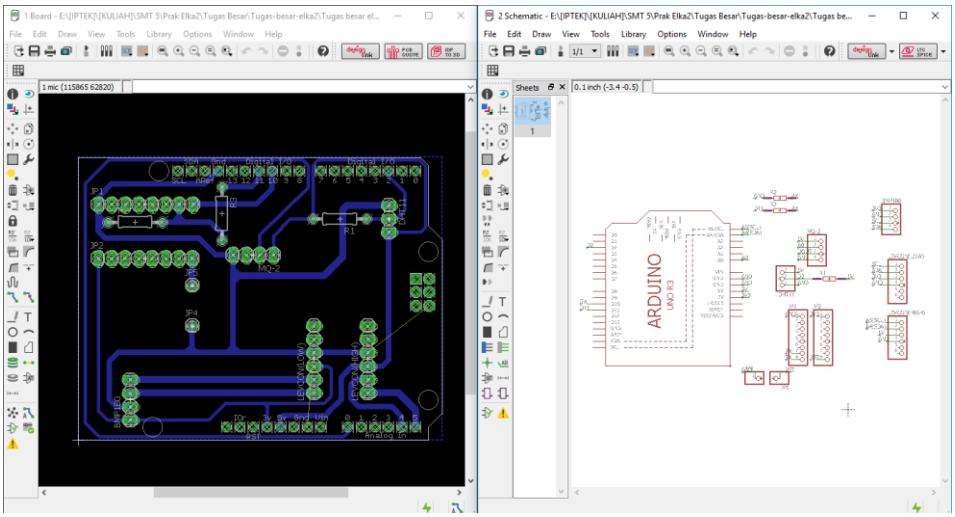
RockSim yang ditunjukan pada Gambar II-41 merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk merancang badan roket. Dari hasil perancangan badan roket akan dihasilkan berbagai data seperti pusat massa, pusat tekanan, *drag*, analisis kestabilan, ketinggian dan sebagainya. Pada perangkat lunak proses peluncuran dapat disimulasikan.



Gambar II-41 Antarmuka software Rocksim

2.4.2 Eagle CadSoft

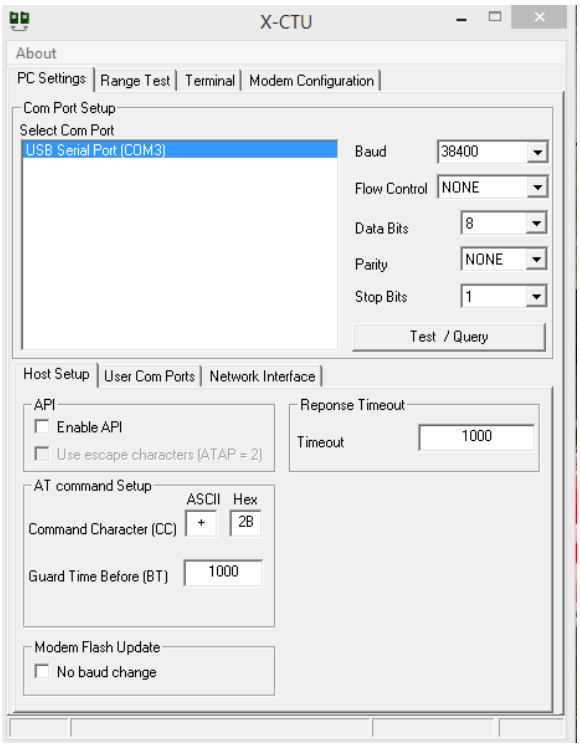
Eagle CadSoft yang ditunjukan pada Gambar II-42 merupakan perangkat lunak untuk melakukan proses pendesainan skema dari rangkaian elektronika pada *Printed Circuit Board* (PCB). PCB sendiri akan berisikan plot penyimpanan komponen beserta jalur-jalur yang menghubungkan tiap komponen elektronika.



Gambar II-42 Antarmuka software Eagle CadSoft

2.4.3 Aplikasi “XCTU.exe”

X-CTU merupakan perangkat lunak atau aplikasi yang dibuat oleh DIGI yang berfngsi untuk mengatur dan melihat konfigurasi pada Modul komunikasi Data XBee PRO. Berikut ini tampilan aplikasi X-CTU.exe



Gambar II-43 Tampilan antarmuka aplikasi “X-CTU.exe”.

Beberapa fungsi yang dapat digunakan pada aplikasi ini adalah:

1. Pengecekan kanal yang sedang digunakan pada modul radio.
2. Pengaturan kanal yang ingin digunakan.
3. Menyediakan terminal antarmuka untuk pengiriman dan penerimaan data serial.
4. Pengaturan baudrate yang ingin digunakan.
5. Pengaturan komunikasi point-to-point.