BAB II

TEORI PENUNJANG

Pada bab ini akan dipaparkan teori-teori penunjang untuk merancang roket dengan kendali untuk mendapatkan ketinggian maksimal, adapun teori yang akan dipaparkan sebagai berikut.

- Bagian mekanik yang akan menjelaskan komponen penyusun roket, perhitungan stabilitas roket, serta metode pengendalian roket beserta aktuator penggerak yang digunakan.
- Bagian elektronik akan menjelaskan sensor inersia, mikrokontroler, komunikasi dan baterai yang digunakan.
- Bagian kontrol akan menjelaskan tentang pengontrol *Proportional integral dan Derivative* (PID) yang digunakan.
- Bagian *software* akan menjelaskan diagram alir dan *software* antarmuka yang digunakan dalam perancangan roket EDF ini.

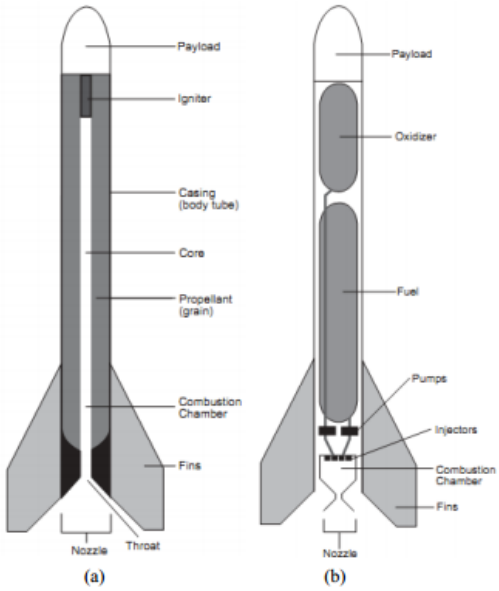
2.1 Mekanik

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

2.1.1 Komponen Roket

Roket adalah wahana yang terbang secara vertikal dan bergerak cepat, roket menggunakan mesin pendorong yang berasal dari proses aksi reaksi dari *propellant*

yang digunakan. Roket merupakan wahana yang sangat kompleks sehingga hampir seluruh negara melakukan riset roket agar negaranya di hormati dan diakui teknologi nya. Dari hasil riset tersebut telah menghasilkan berbagai macam rancangan dan beberapa negara menggunakannya untuk alat tempur dan kendaraan luar angkasa. Pada umumnya roket menggunakan bahan bakar kimia padat dan cair seperti yang ditunjukan pada Gambar II-1.



Gambar II-1 Jenis roket berbahan bakar

Berikut penjelasan dari setiap bagiannya

1. *Payload*

   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.

2. *Igniter*

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*.

3. *Body tube*

   Body tube merupakan bagian selubung yang melapisi inti roket.

4. *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.

5. *Combustion Chamber*

   Combustion Chamber merupakan tempat dimana terjadinya proses kimia pembakaran propellant.

6. *Nozzle*

   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.

7. *Fin*

   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 Roket

Roket yang hendak diterbangkan harus berada dalam keadaan stabil, karena apabila roket tidak stabil trajektori gerakan roket menjadi sulit untuk diprediksi seperti yang diilustrasikan pada Gambar II-2. 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, yakni.

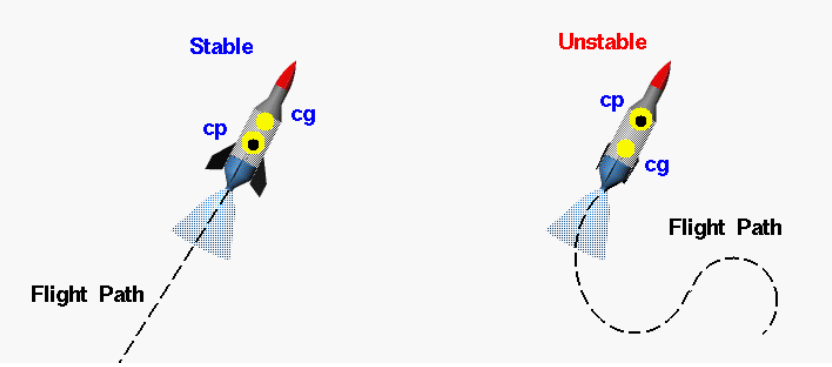
- *Static margin* negatif

  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.

- *Static margin* positif

  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-2 Pengaruh stabilitas pada trajektori roket

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

Tabel II-1 Static margin

Nilai *Static margin*	Stabilitas
0 < *static margin* < 1	Marginal Stabil
1 < *static margin* < 2,5	Stabil
2,5 < *static margin*	Sangat Stabil

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

$$\text{Static Margin} = \frac{Pusat\ massa - Pusat\ tekanan}{Diameter\ badan\ roket}$$

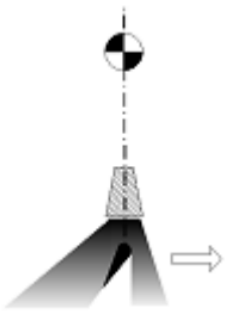
2.1.3 Kendali Roket

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.

Beberapa jenis pengendalian non-aerodinamis yang sangat populer adalah *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.



Gambar II-3 kendali roket menggunakan jet vanes

Metode *jet vanes* adalah metode kendali roket yang paling sederhana untuk pengendalian wahana non-aerodinamik, karena tidak membutuhkan ketelitian ekstra pada pembuatannya, *jetvane* bekerja dengan cara menempatkan sebuah *vane* pada pembuangan gaya dorong roket untuk diarahkan kearah tertentu, kelebihan

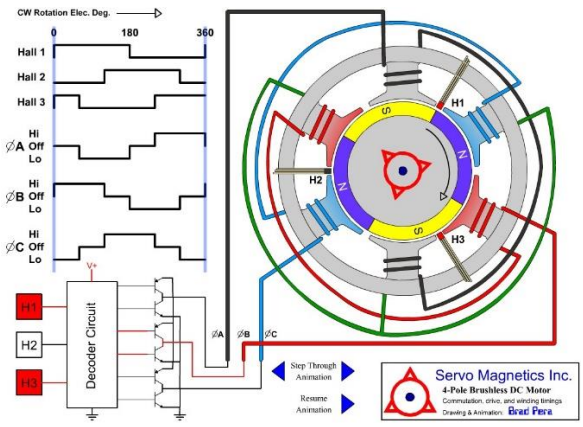
dari metode ini adalah proses desain yang sederhana dan kemudahannya untuk diterapkan, kekurangan dari metode ini adalah terdapat penghambatan gaya dorong karena terdapat vane yang tepat berada pada *nozzle* tepat keluarnya energi dorong. Adapun roket yang menggunakan metode ini adalah roket Goddard Missile V2.

2.1.4 Aktuator Kendali

Aktuator merupakan bagian penggerak, 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 *thruster* roket dengan metode *jet vanes.*

2.1.4.1 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-4.



Gambar II-4 Kumparan pada motor brushless

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-4 ditunjukan pada Tabel II-2.

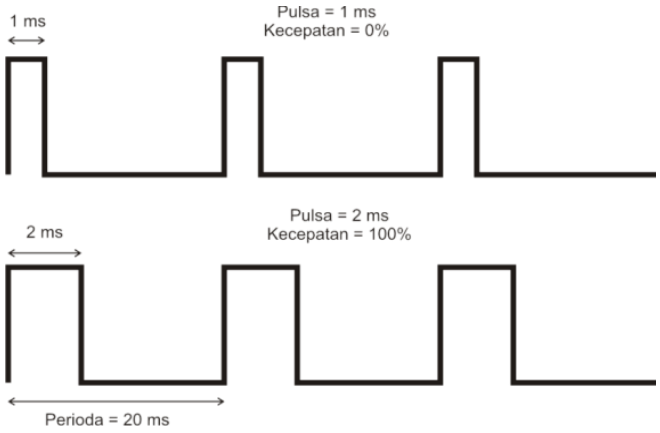
Tabel II-2 Sudut pergerakan motor brushless

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

2.1.4.2 *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

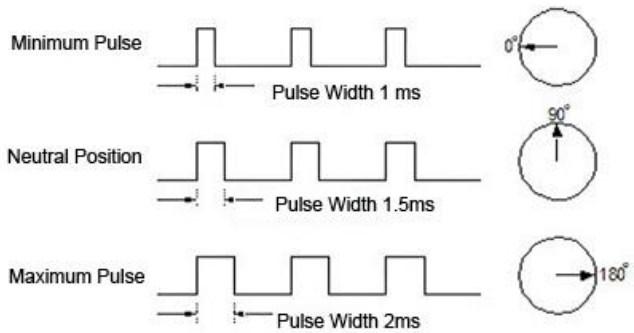
lebar pulsa 1 milisekon untuk nilai minimum dan lebar 2 milisekon untuk nilai maksimum seperti yang diilustrasikan pada Gambar II-5.



Gambar II-5 Pengaruh sinyal PWM terhadap kecepatan BLDC

2.1.4.3 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-6.



Gambar II-6 Pengaruh sinyal PWM terhadap gerakan servo

2.2 Elekronik

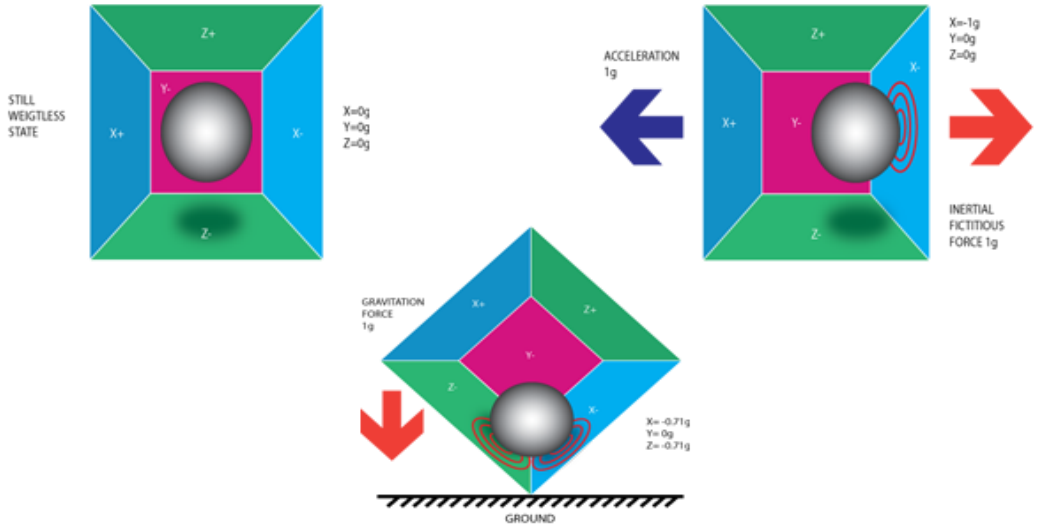
Pada topik bahasan perancangan sistem kendali roket, maka tidak akan luput dari penggunakan sistem elektronik yang berfungsi sebagai pengendali roket, pada sub bab ini akan dipaparkan tentang sensor sebagai masukan, mikokontroller sebagai bagian proses, komunikasi data dan baterai yang digunakan pada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

2.2.1 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*, *gyroscope*. Namun tersedia juga sensor IMU yang ditambahkan sensor *magnetometer* dan *barometer* untuk menambah kekayaan data dari suatu benda, sensor ini sering digunakan pada alat navigasi, transportasi, hingga *mobile device.*

2.2.1.1 Sensor *Accelerometer*

Sensor *accelerometer* berfungsi untuk mengukur akselerasi yang terjadi pada suatu benda, terdapat banyak metode pengukuran pada *accelerometer* salah satunya adalah berjenis pegas, dengan memanfaatkan perubahan panjang pegas yang terjadi yang kemudian nilai pembacaan tersebut dikonversikan menjadi nilai akselerasi yang terjadi, sensor *accelerometer* juga dapat difungsikan untuk mengukur kemiringan suatu benda dengan memanfaatkan gaya gravitasi bumi seperti yang diilustrasikan pada Gambar II-7.



Gambar II-7 Pembacaan pada sensor accelerometer

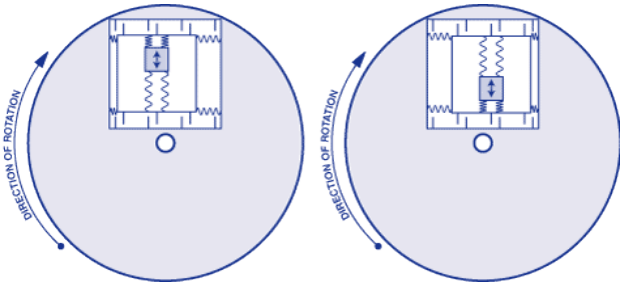
Pada Gambar tersebut terlihat adanya perubahan pembacaan percepatan gaya gravitasi bumi pada saat sensor *accelerometer* dimiringkan Dengan memanfaatkan persamaan dibawah ini, perubahan sudut yang terjadi pada sensor *accelerometer* dapat diketahui dengan menggunakan persamaan berikut.

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

Salah satu kelemahan dari pembacaan dengan persamaan diatas adalah rentannya gangguan apabila terjadi getaran yang mengakibatkan hasil pengukuran tidak lagi akurat. Salah satu solusi untuk mengatasi hal ini adalah dengan cara menambahkan *filter* seperti *low pass filter* dan *complementary filter*.

2.2.1.2 Sensor *Gyroscope*

Gyroscope adalah sensor yang berfungsi untuk mengukur kecepatan putar yang terjadi, pada ilmu fisika dikenal dengan istilah efek *Coriolis* yang merupakan efek defleksi benda bergerak ketika dilihat dari sudut pandang rotasi.

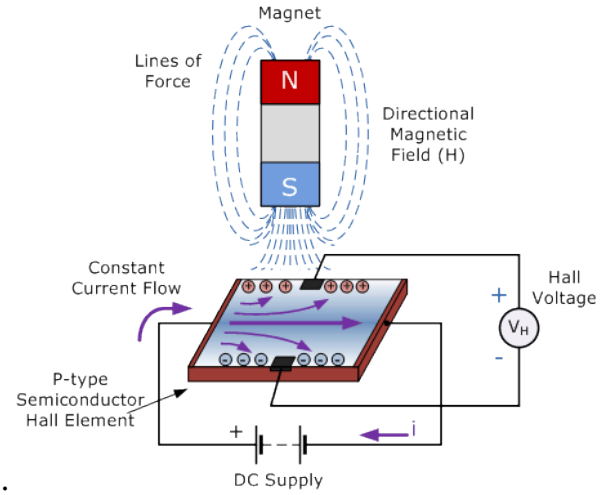


Gambar II-8 Pembacaan pada sensor gyroscope

Sensor *gyroscope* memanfaatkan efek ini untuk membaca kecepatan putaran, pada saat sensor mengalami gerakan memutar, maka efek *coriolis* akan menyebabkan getaran yang dibaca oleh rangkaian elektronik untuk menentukan kecepatan putar yang terjadi, salah satu kelemahan sensor *gyroscope* terkadang membaca getaran yang kecil sebagai putaran, masalah ini dapat diatasi dengan menambahkan *low pass filter.*

2.2.1.3 Sensor *Magnetometer*

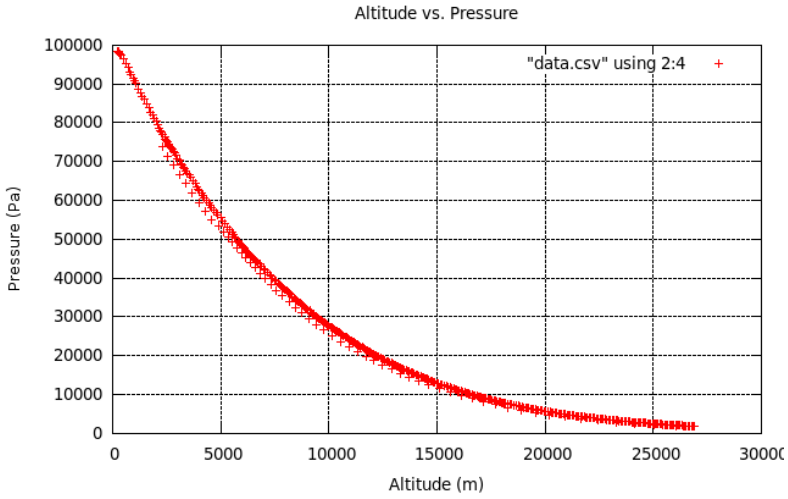
Sensor *magnetometer* berfungsi untuk mengukur kekuatan medan magnet di sekitarnya dengan memanfaatkan gaya *lorenz* yang apabila ada lempengan yang dilalui arus dan diberikan medan magnetik arus tersebut akan berbelok seperti yang diillustrasikan pada Gambar II-9, *magnetometer* memiliki keluaran berupa nilai dengan satuan *gauss*, dengan perhitungan matematis nilai *gauss* yang dibaca pada ketiga sumbunya dapat dikonversikan sebagai penentu arah utara bumi, kelemahan dari sensor ini adalah pembacaannya yang dapat terganggu apabila dekat dengan benda logam, dengan menempatkan sensor ini berjauhan dengan komponen yang mengandung logam adalah salah satu solusi agar pembacaan *magnetometer* menjadi lebih akurat.



Gambar II-9 Pengaruh medan magnet terhadap elektron

2.2.1.4 Sensor Barometer

Sensor barometer 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-10. 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.

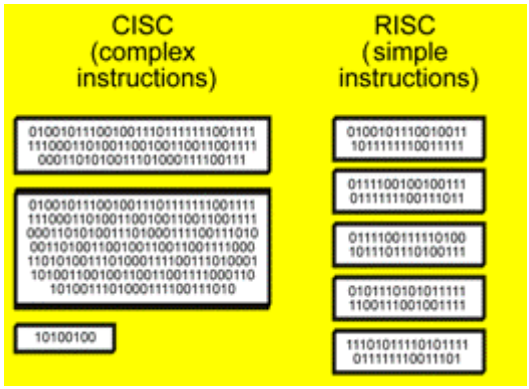


Gambar II-10 Kurva tekanan udara terhadap ketinggian

2.2.2 Mikrokontroler

Mikrokontroller adalah sebuah *processing unit* layaknya komputer berukuran kecil yang dikemas menjadi suatu *integrated circuit*, pada perancangan ini mikrokontroller befungsi untuk membaca data dari sensor, melakukan perhitungan matematis dan mengendalikan aktuator.

Arsitektur mikrokontroller yang paling populer adalah *Complex Instruction Set Computing* (CISC) dan *Reduce Instruction Set Computing* (RISC), kelebihan dari arsitektur CISC adalah efisiensi untuk mengurangi penggunaan intruksi seperti yang diilustrasikan pada Gambar II-11. Namun diperlukan bahasa pemrograman yang lebih kompleks seperti bahasa assembler.

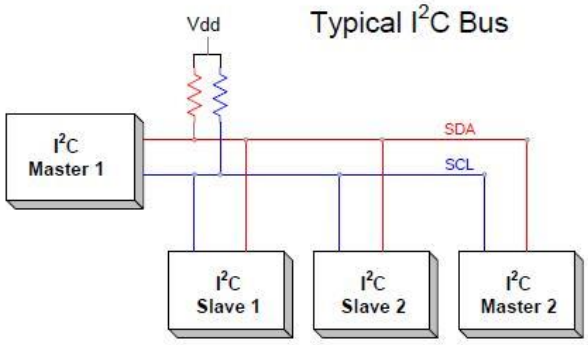


Gambar II-11 Arsitektur mikrokontroller

Pada arsitektur RISC setiap instruksi dirancang agar memiliki beban yang sama dengan seluruh instruksi dengan cara menyederhanakan perintah-perintah yang tersedia, adapun beberapa fitur atau fungsi-fungsi yang terdapat pada mikrokontroller umumnya yakni fitur interupsi, *Timer/Counter*, *Pulse Width Modulation* (PWM), *Universal synchronous asynchronous receiver and transmitter*(USART), *Inter Integrated Circuit* (I2C) dan lainnya.

2.2.2.1 Komunikasi I2C

I2C merupakan salah satu protokol komunikasi baru yang diperkenalkan oleh Philips Electronics, keunggulan komunikasi I2C hanya membutuhkan 2 pin saja untuk berkomunikasi dengan perangkat lainnya yakni pin SDA untuk komunikasi data dan SCL untuk sinkronisasi *clock*, 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-12, I2C bekerja dengan cara memanfaatkan data alamat sebagai *header* data maka proses komunikasi tidak terjadi bentrok walaupun seluruh *device* terhubung.



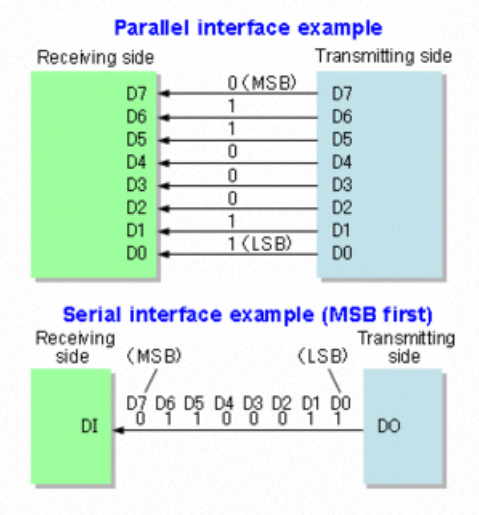
Gambar II-12 Komunikasi dengan protokol I2C

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*.

2.2.2.2 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 penghematan jalur kabel yang digunakan.ilustrasi perbedaan komunikasi serial dan paralel ditunjukan pada Gambar II-13.

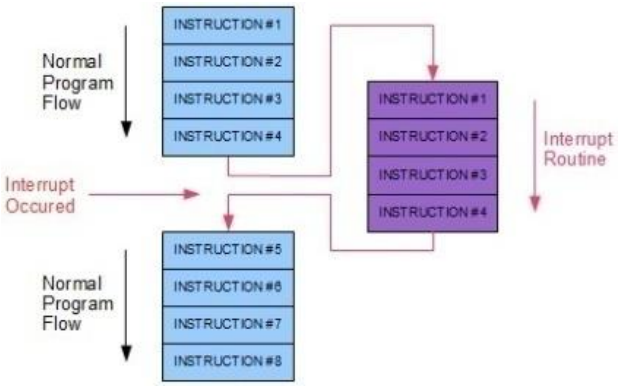


Gambar II-13 Perbedaan komunikasi serial dan paralel

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

2.2.2.3 Fitur Interupsi

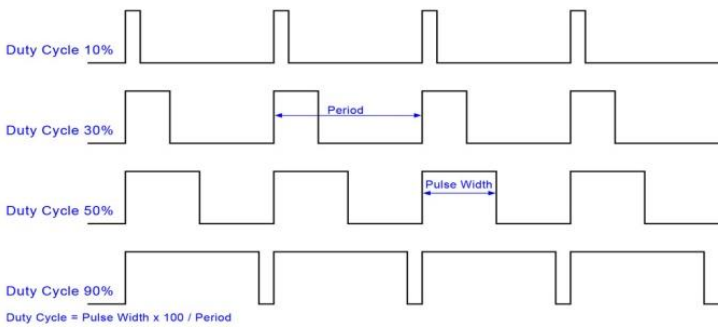
Interupsi adalah suatu fitur yang dapat menghentikan program normal dengan seketika untuk mengerjakan tugas khusus yang dinamakan *Interrupt Service Routine* (ISR), sehingga tugas tersebut dapat langsung ditangani tanpa harus menunggu CPU menyelesaikan tugas utama terlebih dahulu. Jika tugas ISR sudah selesai maka CPU dapat melanjutkan tugas utamanya kembali, ilustrasi terjadinya interupsi ditunjukan pada Gambar II-14.



Gambar II-14 Ilustrasi saat terjadinya interupsi

2.2.2.4 *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-15 , 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.



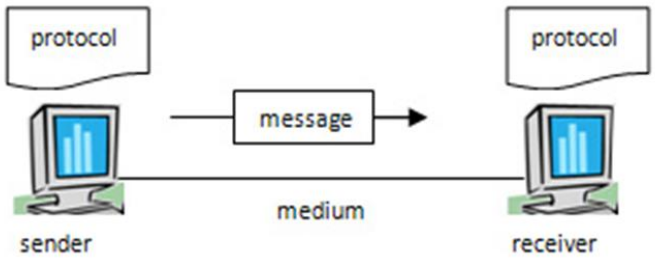
Gambar II-15 Bentuk sinyal PWM

2.2.2.5 *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.

2.2.3 Komunikasi

Komunikasi data adalah proses terjadinya pertukaran informasi diantara beberapa perangkat yang saling berhubungan seperti yang ditunjukan dalam Gambar II-16.



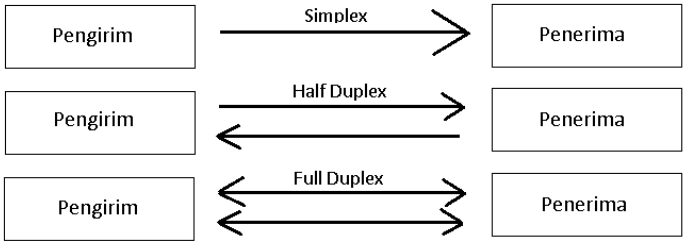
Gambar II-16 Ilustrasi komunikasi data

Beberapa komponen yang menjadi bagian dari syarat terjadinya komunikasi data adalah:

1. *Message* atau pesan merupakan informasi yang ditransmisikan.
2. *Sender* atau pengirim merupakan suatu perangkat yang memiliki tugas untuk mengirimkan *Message*.
3. *Receiver* atau penerima merupakan suatu perangkat yang memiliki tugas untuk menerima *Message*.

4. *Transmission Medium* atau media transmisi merupakan media fisik yang menjadi tempat *Message* untuk berpindah dari *Sender* ke *Receiver*.
5. *Protocol*. merupakan suatu set aturan yang mengatur jalannya komunikasi data.

Komunikasi antar perangkat memiliki arah aliran data yang menjadi suatu penentu bagaimana dan kemana data akan ditransmisikan. ilustrasi dari pengiriman aliran data ditunjukan pada Gambar II-17.



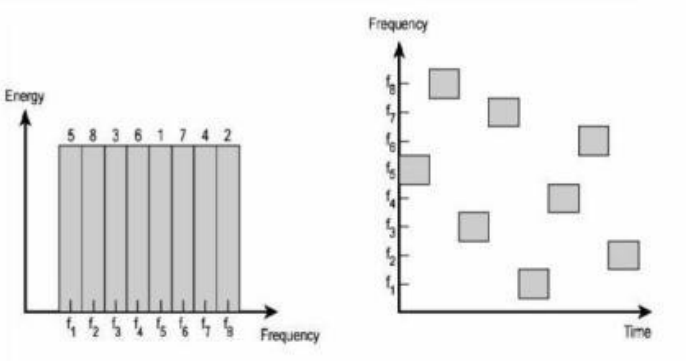
Gambar II-17 Jenis-jenis aliran data

Berikut ini merupakan penjelasan dari ilustrasi Gambar II-17.

- *Simplex* merupakan metode pengiriman aliran data dimana setiap pihak hanya memiliki 1 peran, dimana pihak satu akan menjadi pengirim dan pihak lainnya adalah penerima.
- *Half-Duplex* merupakan metode pengiriman aliran data dimana setiap pihak mampu memiliki peran ganda sebagai pengirim atau penerima tapi tidak disaat bersamaan.
- *Full-Duplex* merupakan metode pengiriman aliran data dimana setiap pihak mampu menjadi pengirim dan penerima secara bersamaan.

Radio adalah alat komunikasi tanpa menggunakan kabel sebagai perantara, pemancar radio bekerja dengan mengubah sinyal informasi menjadi sinyal termodulasi dan dipancarkan melalui antenna dengan merubahnya menjadi gelombang elektromagnetik, sedangkan pada radio penerima bekerja sebaliknya, yakni merubah gelombang elektromagnetik yang diterima antenna menjadi sinyal termodulasi, yang kemudian di demodulasi dengan cara memisahkan sinyal informasi dengan sinyal pembawa, kelemahan transmisi analog seperti ini adalah sinyak informasi yang mudah rusak karena gangguan *noise* seperti hujan dan juga tabrakan frekuensi.

Teknik *Frequency Hopping Spread Spectrum* (FHSS) merupakan salah satu solusi untuk mencegah terjadinya tabrakan sinyal yang mengakibatkan sinyal informasi rusak FHSS berkerja dengan cara mengirimkan potongan potongan data pada frekuensi yang berbeda secara acak dalam *bandwidth* yang ditentukan berdasarkan kanal yang dipakai, kelebihan dari metode ini adalah mengurangi kemungkinan penyadapan data terjadi karena frekuensi pembawa yang tidak tetap seperti yang diilustrasikan pada Gambar II-18.



Gambar II-18 Ilustrasi FHSS (a) pembagian channel (b)pengiriman data FHSS

2.2.4 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-19 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 yaitu.

- 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.

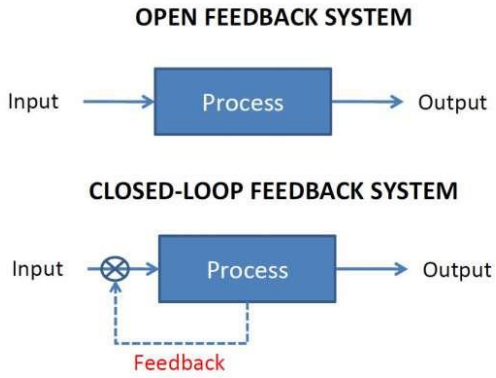


Gambar II-19 Baterai LiPo Turnigy nano-tech

2.3 Kontrol

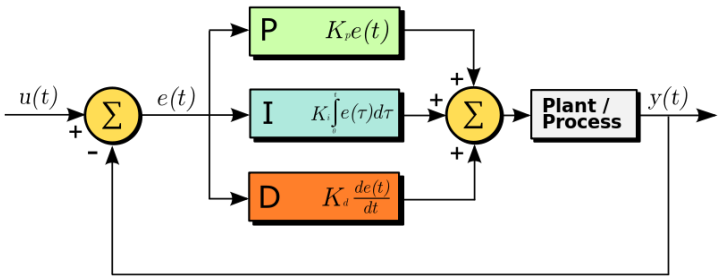
Dalam teknik kontrol terdapat 2 sistem kontrol, yakni *open loop* dan *close loop* yang diilustrasikan pada Gambar II-20, dalam *Open-loop Control Systems* direpresentasikan sebagai sistem dimana nilai keluarannya tidak memiliki efek terhadap aksi dari kontrol. Hal tersebut menyebabkan akurasi nilai keluaran sistem akan bergantung pada kalibrasi. Kehadiran *distubance* pada sistem memberikan hasil yang tidak diharapkan. *Open-loop* biasa digunakan pada sistem *time-based* seperti mesin cuci dimana tidak adanya pengecekan tingkat kebersihan pakaian yang dicuci.

Sedangkan *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-20 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-21



Gambar II-21 Kontrol PID

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.

Kontrol Proporsional

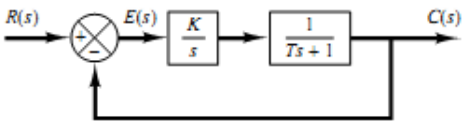
Pada suatu sistem yang menggunakan kontrol proporsional, Hubungan antara sinyal keluaran u(t) dan sinyal *error* e(t) dimana K_p adalah *gain* proporsional sebagai berikut.

$$u(t) = K_p e(t)$$

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*.

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.



Gambar II-22 Kontrol integral

Gambar II-22 menggambarkan suatu sistem yang menggunakan kontrol integral. Kontrol sistem tersebut mengunakan kontroler integral yang dapat dibentuk kedalam bentuk *closed-loop transfer function* menjadi persamaan berikut ini.

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{K}{s(Ts+1)+K}$$

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.

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.

$$u(t) = K_d \frac{d}{dt} e(t)$$

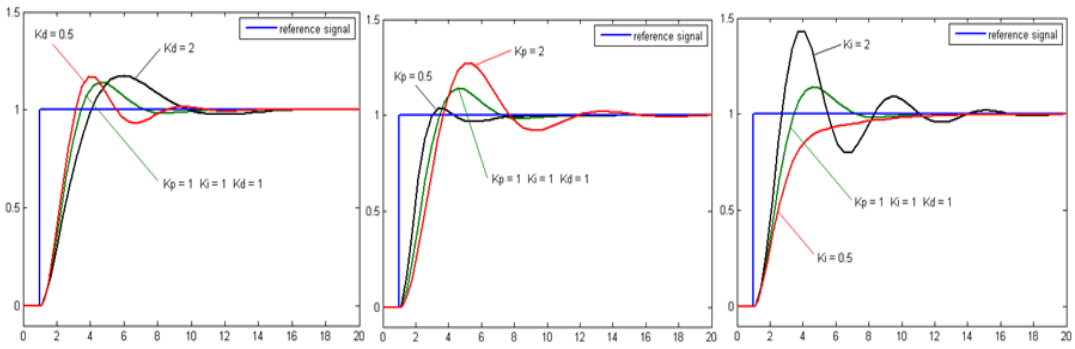
Sinyal kontrol integral memiliki karakter untuk mengurangi *steady-state error* meskipun tidak sebesar yang dilakukan oleh kontrol integral.

Dengan demikian dapat disimpulkan hasil pembahasan kontrol terhadap sistem yang ada dalam Tabel 0-3 berikut.

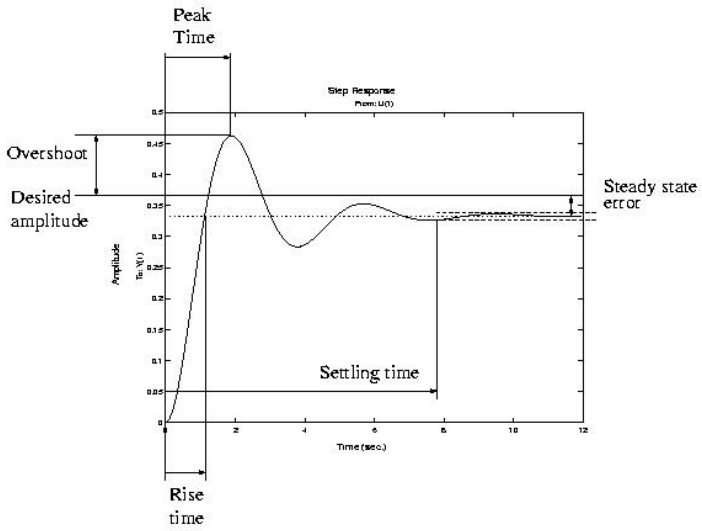
Tabel II-3 Pengaruh parameter kontrol PID

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-23 adapun penjelasannya ditunjukan pada Gambar II-24.



Gambar II-23 Grafik performansi kontrol PID



Gambar II-24 Keterangan pada grafik performansi kontrol

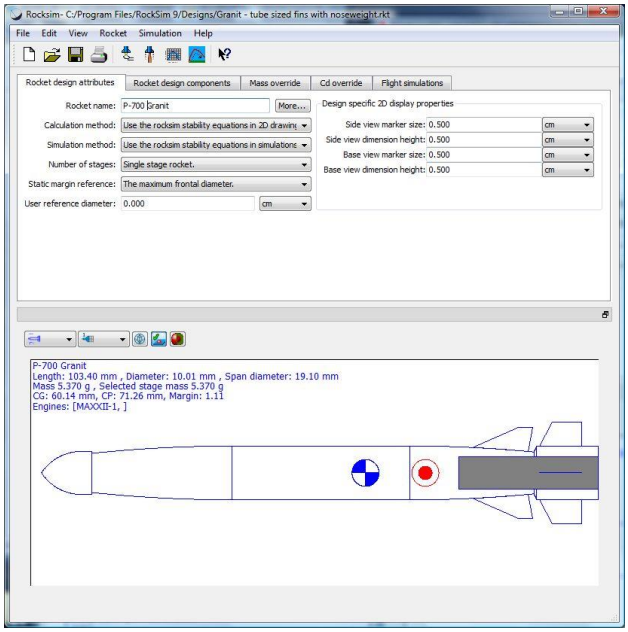
Berdasarkan beberapa karakteristik yang telah dijelaskan sebelumnya, setiap kontrol memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing. Sistem kontrol yang baik akan tercipta dengan melakukan penggabungan terhadap kontrol proporsional, integral dan derivatif.

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

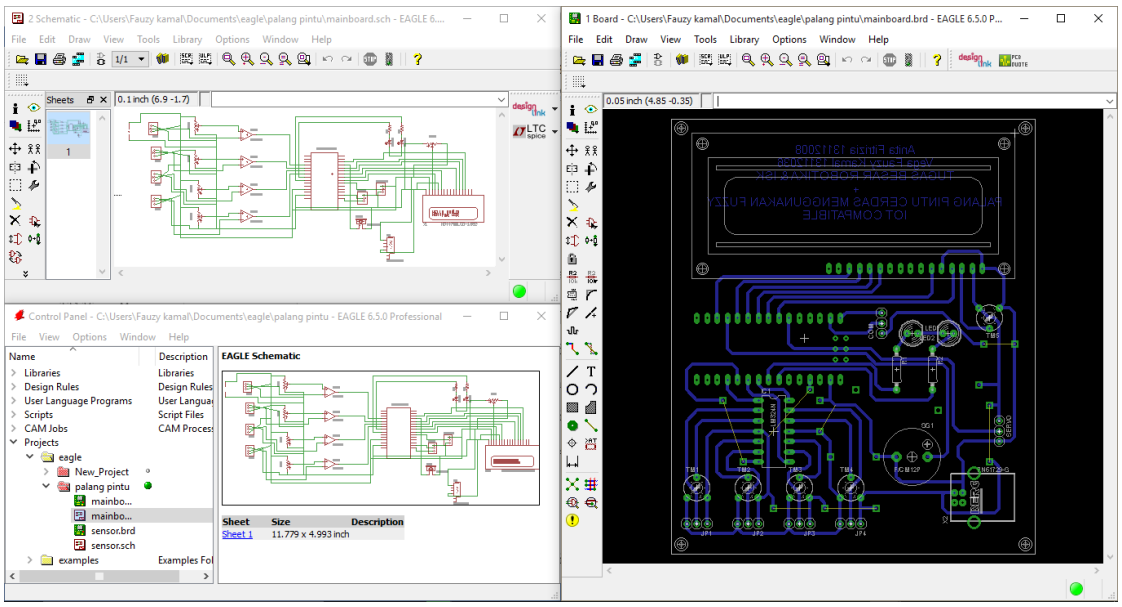
RockSim yang ditunjukan pada Gambar II-25 merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk merancang badan roket. Dari hasil perancangan badan roket akan dihasilkan berbagai data seperti pusat massa, pusat tekanan, *drag*, analisis kestabilan, ketinggian dan sebagainya. Pada perangkat lunak proses peluncuran dapat disimulasikan.



Gambar II-25 Antarmuka software Rocksim

2.4.2 Eagle CadSoft

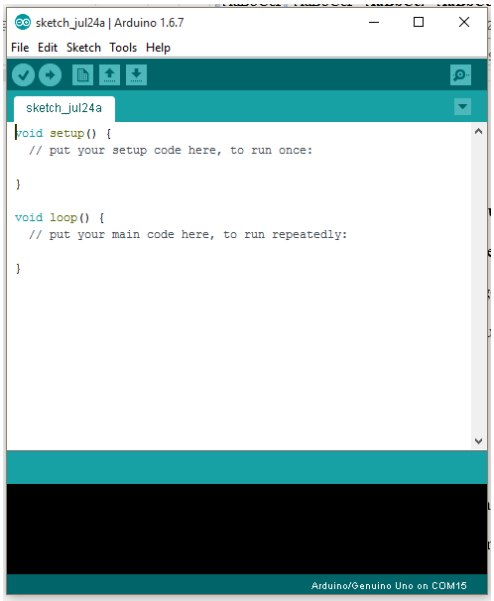
Eagle CadSoft yang ditunjukan pada Gambar II-26 merupakan perangkat lunak untuk melakukan proses pendesainan skema dari rangkaian elektronika pada *Printed Circuit Board* (PCB). PCB sendiri akan berisikan plot penyimpanan komponen beserta jalur-jalur yang menghubungkan tiap komponen elektronika.



Gambar II-26 Antarmuka software Eagle CadSoft

2.4.3 Arduino IDE

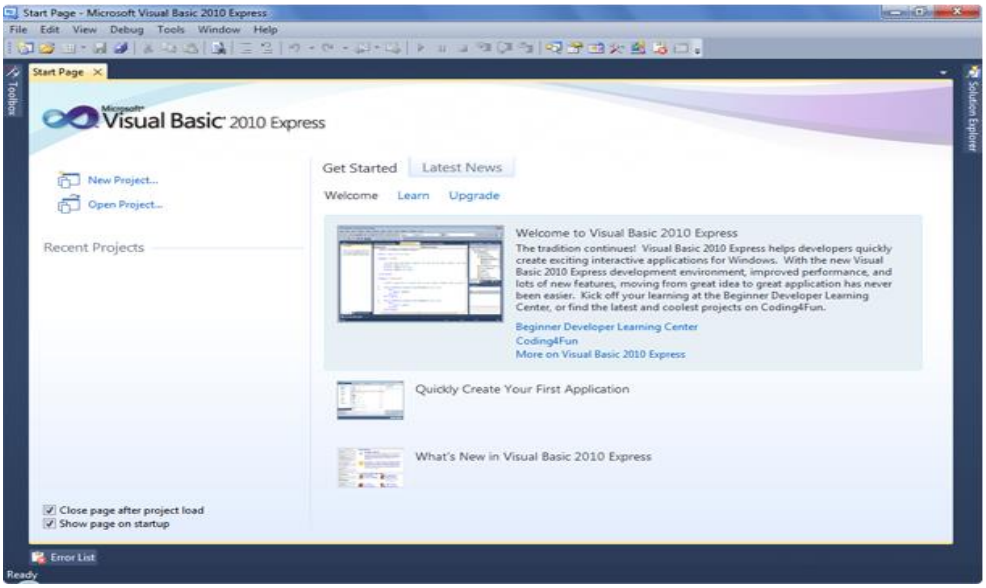
Arduino IDE yang ditunjukan pada Gambar II-27 adalah perangkat lunak yang digunakan untuk merancang algoritma yang akan ditanamkam pada mikrokontroler. Perangkat ini menggunakan pemrograman berbahasa C untuk menghasilkan suatu algoritma. Perangkat ini juga dilengkapi dengan terminal yang dapat digunakan untuk berkomunikasi dengan mikrokontroler melalui port serial.



Gambar II-27 Antarmuka software Arduino IDE

2.4.4 Visual Basic

Microsoft Visual Basic yang ditunjukan pada Gambar II-28 merupakan *software* yang digunakan untuk membuatan perangkat lunak yang dijalankan pada PC, pada kasus perancangan roket EDF ini *software* ini digunakan untuk merancang *software monitoring* dan i*nterfacing* pada GCS.



Gambar II-28 Antarmuka software Visual Basic