BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan diuraikan teori-teori yang mendasari pembangunan perangkat pengamaan perjalanan kereta api. Teori-teori ini meliputi pembahasan mengenai teori gerak lurus berubah beraturan (GLBB), teori roda gigi, teori sistem digital dan *microcontroller*, teori sensor akselerasi, giroskop dan *optocoupler*, serta desain lokomotif standar Indonesia dan desain *software*.

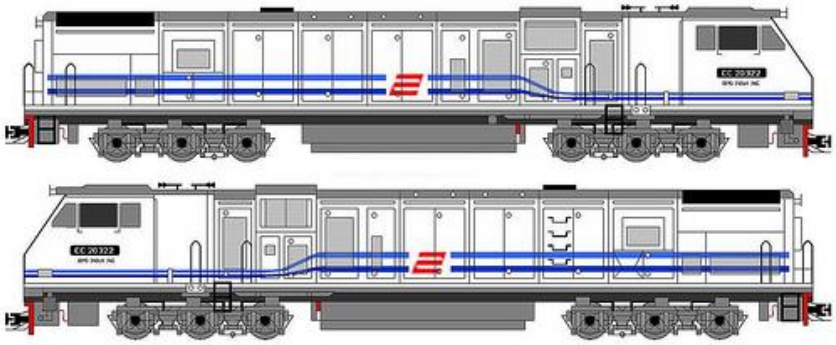
2.1 Kereta Api Indonesia

Kereta Api Indonesia (persero) berawal dari jaman colonial Hindia-Belanda. Setelah merdeka pada 1945, berubah menjadi Djawatan Kereta Api. Lalu setelah 1958 dan Deli Railways bergabung, dibawah Perusahaan Negara Kereta Api. Pada 15 September 1971 PNKA diubah namanya menjadi Perusahaan Jawatan Kereta Api (PJKA) lalu berubah lagi menjadi Perusahaan Umum Kereta Api (PERUMKA) pada 1991. Pada 1999 berubah lagi menjadi PT Kereta Api (persero) hingga sekarang.[16]

Kebanyakan jaringan kereta api Indonesia terletak di Jawa, dari Merak hingga Banyuwangi. Namun ada juga jalur kereta di Sumatra seperti di Aceh (Krueng Mane-Krueng Geukueh), Sumatra Utara (Medan-Rantau Parapat), Sumatra Barat (Pariaman-Padang), Sumatra Selatan (Lubuk Linggau – Kertapati), Lampung (Tanjung Karang-Kertapati, Tanjung Karang-Kota Bumi). Jarak tempuh terjauh adalah kereta Gajayana, dari Jakarta ke Malang. Kereta tercepat adalah New Argo Jati dari Jakarta ke Cirebon dengan waktu tempuh 2 jam 38 menit sedangkan kereta api dengan kecepatan tertinggi adalah Argo Bromo Anggrek rute Jakarta ke Surabaya dengan kecepatan operasi antara 70 – 120 Km/jam.

Kebanyakan armada kereta api Indonesia adalah kereta lokomotif tipe GE U20C atau GE U18C. Kedua lokomotif ini memiliki kriteria susunan roda AAR C-C, yang berarti ada 2 *bogie* identik masing-masing memiliki 3 gandar penggerak. Susunan rodan ini adalah yang paling popular di kalangan lokomotif diesel di Amerika Serikat sebagai angkutan barang darat karena bekerja di kecepatan rendah

namun dengan aplikasi bobot yang berat. Sedangkan pada klasifikasi UIC (Union Internationale des Chemins de Fer), kedua lokomotif tersebut dikategorikan pada Co'Co' yang berarti ada dua *bogie* dimana setiap *bogie* memiliki 3 gandar penggerak yang digerakkan oleh motor traksi tersendiri.[15]



Gambar 2. 1 GE 20C tampak samping kiri dan kanan

(Sumber: https://www.flickr.com/photos/charles20322/3568930893/)

Rel di Indonesia kebanyakan adalah rel dengan lebar sepur 1,067 meter. Sepur dengan lebar seperti Indonesia kebanyakan digunakan di Jepang, Taiwan, Philipina, Selandia Baru, dan sebagian Australia.

2.2 Gerak Lurus Berubah Beraturan (GLBB)

Gerak lurus berubah beraturan adalah gerak lurus suatu objek, dimana kecepatannya berubah terhadap waktu, akibat adanya percepatan yang tetap. [9]

$$v_t = v_0 + a * t \quad \text{.....(2.1)}$$

$$v_t{}^2 = v_0{}^2 + 2a * s \quad \text{.....(2.2)}$$

$$s = v_o * t + \frac{1}{2} a * t^2 \quad \text{.....(2.3)}$$

Sedangkan untuk benda yang mengalami perlambatan harus mengikuti rumus berikut:

$$v_t = v_0 - a * t \quad \text{.....(2.4)}$$

$$v_t{}^2 = v_0{}^2 - 2a * s \quad \text{.....(2.5)}$$

$$s = v_o * t - \frac{1}{2} a * t^2 \quad \text{.....(2.6)}$$

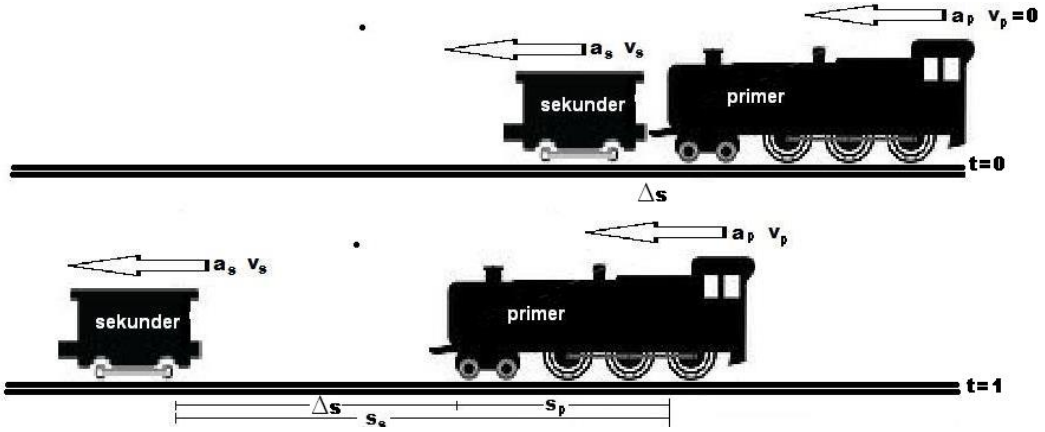
2.2.1. Komponen-komponen pada alat pengamanan perjalanan kereta api

Pada alat pengamanan perjalanan kereta api ini secara otomatis menjaga jarak terhadap kereta primer dengan jarak pisah mereka adalah jarak kereta hingga berhenti. Jadi semakin kencang laju kereta api maka akan jauh pula jarak pisah mereka. Perlu diperhatikan pada saat kereta primer berakselerasi, secara otomatis kereta sekunder akan menambah kecepatan dengan menjaga jarak pisah mereka tadi.

Komponen-komponen yang bekerja pada system adalah:

1. a_p = percepatan pada kereta primer
2. v_{tp} = kecepatan akhir pada kereta primer
3. v_{0p} = kecepatan awal pada kereta primer
4. s_p = jarak yang ditempuh kereta primer dari titik t=0
5. s_{min} = jarak pengereman minimum kereta primer
6. Δs =selisih jarak loko sekunder dan primer
7. a_s = percepatan pada kereta sekunder
8. v_{ts} = kecepatan akhir pada kereta sekunder
9. v_{0s} = kecepatan awal pada kereta sekunder
10. s_s = jarak yang sudah ditempuh kereta sekunder dari titik t=0.
11. t_0 = waktu awal
12. t_1 = waktu akhir

2.2.2. Formula pada system pengamanan perjalanan kereta api



Gambar 2. 2 Komponen GLBB yang bekerja pada system

$v_{tp} = v_{0p} + a_p t$ ..... (2.7)

Jarak yang sudah ditempuh kereta primer (s_p) merupakan perpindahan posisi dari persamaan

$s_p = \frac{v_{tp}^2 - v_{0p}^2}{2a_p}$ ..... (2.8)

Formula di atas tidak berlaku jika a_p = 0, sehingga rumus tersebut masuk ke kategori GLB sehingga $s_p$cukup ditambahkan dengan kecepatannya saat itu.

$\Delta s = s_s - s_p$ ..... (2.9)

Sedangkan jarak pengereman kereta primer (s_{min}) merupakan perpindahan posisi dari persamaan (2.5) dengan v_t= 0; yang berarti berhenti. Pada persamaan ini menggunakan perlambatan kereta primer untuk mengerem kereta hingga berhenti.

$s_{min} = \frac{0 - v_{0p}^2}{2a_p}$

$s_{min} = \frac{-v_{0p}^2}{2a_p}$ ..... (2.10)

Karena s_{min} merupakan jarak yang harus dijaga kereta sekunder, sedangkan jarak pisah yang terjadi adalah Δs, maka akan terjadi *error* yang akan menjadi acuan dia dalam menentukan akselerasi yang sesuai. Untuk memudahkan perhitungan, maka waktu cuplikan data dilakukan perdetik, sehingga t= 1 s.

$error = s_{min} - \Delta s$ ..... (2.11)

Jika Δs nilainya mendekat s_{min} maka nilai *error* akan mengecil pula, nilai *error* ini yang akan dijadikan bahan acuan percepatan loko sekunder.

Jadi tiap *counter* pada kereta masing-masing menghitung s_u dan s_s agar tetap selaras.

2.3 *Gearbox*

Gearbox adalah perangkat yang dapat merubah putaran sebuah motor atau mesin sehingga didapat rpm atau torsi yang diinginkan. Dalam *gearbox* dikenal dengan istilah *gear ratio*. *Gear ration* adalah rasio antara kecepatan angular masukan terhadap kecepatan putar luaran *gearbox*. *Gear ratio* dapat dihitung secara langsung dengan menghitung jumlah gigi pada gear. Pada *gear down* (dari kecil ke

besar) akan menghasilkan putaran angular yang menurun namun menambah torsi dari putaran sehingga tenaganya bertambah.

$$\frac{\omega_A}{\omega_B} = \frac{r_B}{r_A} = \frac{N_B}{N_A} = \frac{\tau_B}{\tau_B} = MA \quad \text{.....(2.13)}$$

ω = Kecepatan angular (radian/detik)

r = jari-jari (meter)

N = jumlah gigi

τ= torsi (Newton meter)

MA = *mechanical advantages* (keuntungan mekanik)

2.4 Mikrokontroler

Mikrokontroler (biasa disingkat MCU, UC, µC) adalah sebuah komputer kecil dalam sirkuit terintegrasi yang berisi inti prosesor, memori dan perlengkapan *input output*. Mikrokontroler dirancang untuk aplikasi *embedded* misalnya dalam kontrol otomatis sebuah produk dan perangkat, seperti sistem kontrol mesin mobil, remot kontrol, mesin kantor dan mainan.

Microcontroller yang hendak digunakan haruslah memiliki fitur interrupt untuk keperluan pembacaan optocopler, serta memiliki fitur pengaturan waktu PWM untuk pulsa penggerak *Speed Controller.*

2.4.1. 8-bit Timer/Counter0 with PWM

Pengaturan timer 8-bit adalah Timer/Counter (TCNT0) dan Output Compare Registers (OCR0A dan OCR0B). Sinyal permintaan interupsi disimpan di *Timer Interrupt Flag Register* (TIFR0). Semua interupsi secara individual disimpan di *Timer Interupt Mask Register* (TIMSK0). [1]

2.4.2. 16-bit Timers/Counters (Timer/Counter1 and Timer/Counter3)

Counter 16-bit menggunakan register Timer/Counter (TCNTn), Output Compare Registers (OCRnA/B/C) dan *Input Capture Register* (ICRn). Prosedur khusus harus diterapkan untuk mengakses 16-bit register tersebut. Sinyal perintah interrupt disimpan di *Timer Mask Register* (TIFRn). Semua register secara individual disimpan dengan *Timer Interrupt Mask Register* (TIMSKn). [1]

2.5 Giroskop

Giroskop adalah perangkat ukur perubahan sudut atau menetapkan orientasi, berdasarkan prinsip momentum angular. Dengan prinsip benda berputar akan cenderung mempertahankan posisi dan jalur putarnya, sebuah benda dapat diukur perubahan sudut terhadap yang dialami giroskop terhadap lingkungan sekitar. Sebagai contoh gasing yang berputar di tengah benda datar, dia akan tetap mempertahankan posisi putarnya jika benda tempat gasing berdiri dimiringkan.

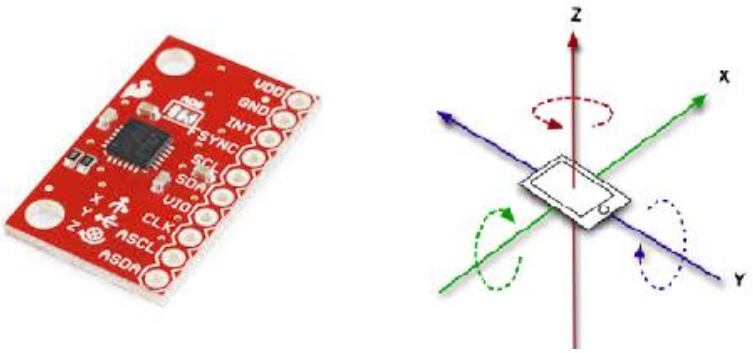
Karena sifatnya yang pengstabil, giroskop dapat diaplikasikan sebagai penyeimbang pada sepeda, sepeda motor, giroskop monorail, pengstabil pesawat, kapal serta untuk keperluan ruang angkasa. Giroskop seperti gambar dibawah adalah giroskop untuk kendali otomatis pada pesawat perang dingin buatan Amerika Serikat. Keluaran giroskop tersebut merupakan *pitch* (angguk) dan *roll* (guling).



Gambar 2. 3 Giroskop 2 axis untuk pesawat masa perang dingin

(Sumber: https://www.youtube.com/watch?v=o_r54BlZLPY)

Pada saat ini Giroskop sudah terdapat dalam media elektronik yang kecil ukurannya dibanding giroskop mekanik yang besar ukurannya. Giroskop elektronik memiliki 2 hingga 3 aksis pengukuran. Giroskop dengan 3 aksis biasanya dinotasikan dengan x, y dan z atau menggunakan notasi *pitch*, *roll* dan *yaw*.

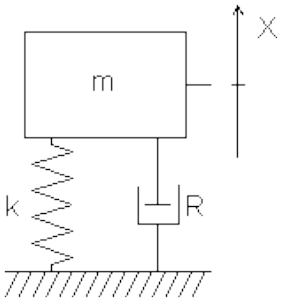


Gambar 2. 4 Arah kerja giroskop 3 axis

(Sumber: http://www.commandfusion.com/docs/scripting/assets/gyroscope.png)

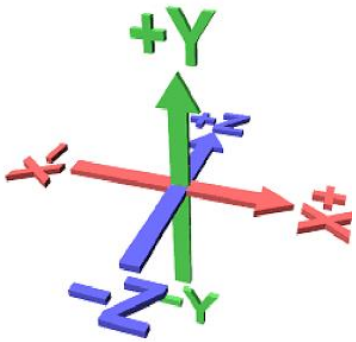
2.6 Akselerometer

Akselerometer adalah alat pembaca percepatan dan perlambatan (g-force) sebuah sistem. Namun perlu dibedakan akselerarsi ketika kita diam di bumi dan ketika jatuh bebas. Ketika kita diam di bumi, kita mendapat gaya akselerasi sebesar gravitasi (g), sedangkan saat jatuh bebas, walau terdapat perbedaan kecepatan setiap detiknya, akselerometer akan mengukur 0. Ini dikarenakan akselerometer mengukur defleksi jarak karena adanya percepatan. Saat dipermukaan bumi defleksi terjadi karena daya tarik ke pusat bumi. Lihat gambar 2.5, ketika kita menggantung sebuah beban dengan pegas, jika beban diam aka ada gaya gravitasi ke bawah, dan pegas merapat dan terbaca perubahan nilai resistansi di R. Lain halnya ketika kita melempar sistem itu ke atas. pegas tidak akan merenggang atau merapat sehingga percepatan dianggap nol. Sedangkan ketika kita mengukur percepatan secara horizontal, ketika kita mendorong sistem secara horizontal searah x (sebagai contoh percepatan) maka pegas akan merapat dan R akan membaca ada sebuah perubahan resistansi.



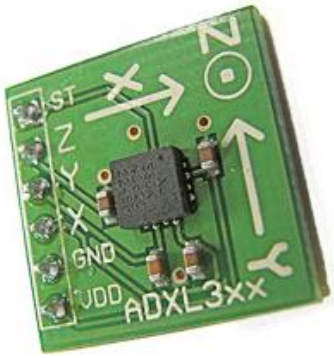
Gambar 2. 5 Contoh sederhana akselerometer mekanik

Contoh di atas merupakan contoh akselerometer dengan 1 axis (arah). Pada saat ini sensor akselerometer sudah memiliki 2 hingga 3 aksis. Aksis ini diinisialisasikan dengan huruf x, y dan z. Sensor akselerometer 3 aksis dapat memantau percepatan sistem dari segala arah.



Gambar 2. 6 Arah kerja akselerometer 3 aksis

(Sumber:lh3.ggpht.com/hbwP4CcwyZpTcZnjkP0bl9pMrJIJgbfsuCnIE2PBa1aP87cZ9fac7uTMeZStL93l_A=w300-rw)



Gambar 2. 7 Akselerometer digital 3 axis

(Sumber: http://protolab.pbworks.com/f/1172890711/accel-01.jpg)

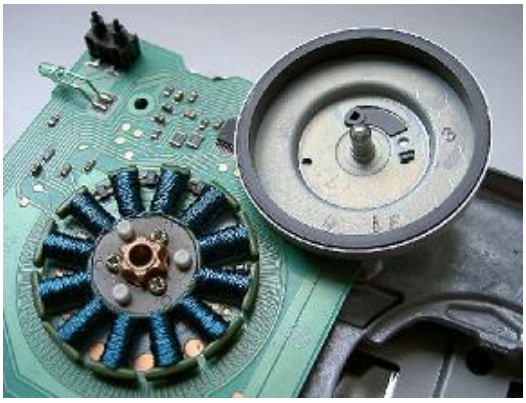
2.7 Kerja sama Giroskop dan Akselerometer

Giroskop dan Akselerometer dapat memberikan sinyal yang penting untuk navigasi otomatis. Giroskop dapat mengukur perubahan sudut, dan akselerometer mengukur percepatan. Integral keluaran akselerometer adalah kecepatan, integral kecepatan adalah jarak yang sudah ditempuh. Giroskop dapat menyediakan informasi kemana arah akselerasi sehingga menjadi arah dan jarak.

2.8 *Brushless DC*

Brushless DC motor (BLDC) juga dikenal *Electronically Comutated Motors* (ECM) merupakan motor sinkron yang didukung oleh sumber listrik DC melalui *inverter integrated*/*switching power supply*, dimana menghasilkan arus AC untuk menggerakkan motor. Dalam konteks ini, AC, tidak berarti gelombang sinusoidal melainkan arus bidireksional dengan bentuk gelombang kotak. Sensor tambahan mengendalikan luaran amplitude pembalikdan bentuk gelombang.

Bagian rotor BLDC biasanya adalah magnet permanen. Bagian magnet inilah yang berputar pada BLDC. Sedangkan kumparan langsung ke *controller* tanpa adanya konektor seperti yang dijumpai pada *brushed motor*. Ada 2 jenis BLDC yaitu *inrunner* dan *outrunner*. Pada *inrunner*, kumparan berada di bagian luar dan dibagian dalam terdapat magnet yang berputar. Sedangkan pada *outrunner*, kumparan berada di tengah dan magnet di bagian luar yang berputar.



Gambar 2. 8 *Brushless outrunner* pada Floppy Disk

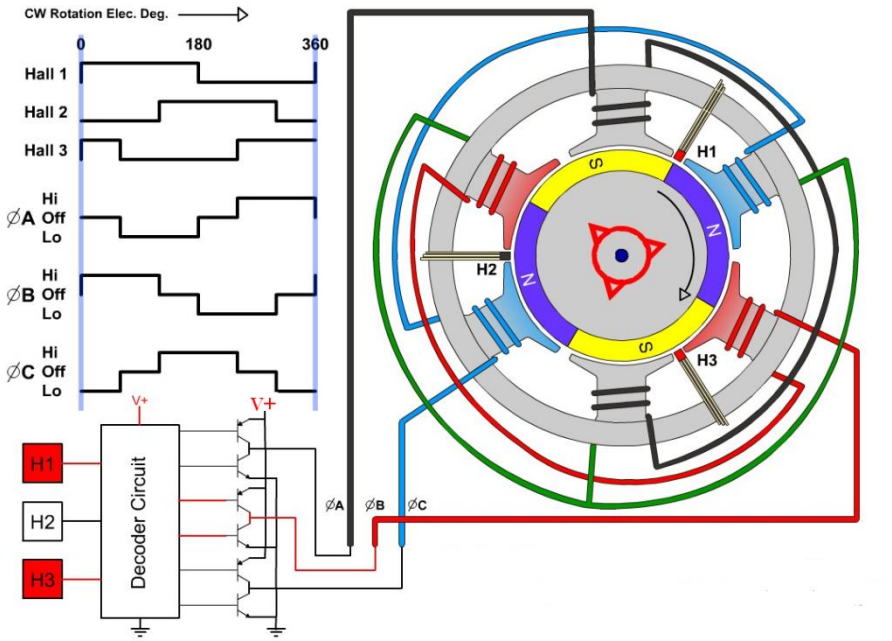
(Sumber: http://en.wikipedia.org/wiki/Brushless_DC_electric_motor#mediaviewer/File:Floppy_drive_spindle_motor_open.jpg)



Gambar 2. 9 Penampang dalam *Brushless Inrunner*

(Sumber: http://www.wattsup.co.nz/articlepics/kontronik.gif)

BLDC memliliki 3 kabel *input*, yang membuatnya seperti listrik 3 fasa. Setiap kabel dialiri listrik dengan gelombang yang sama namun dengan pergeseran 1/3 gelombang. Perhatikan gambar. Gelombang awal di A netral – B High – C low, bergeser 1/6 gelombang, A Low – B High – C Netral, bergeser 1/6 gelombang lagi A Low – B netral – C High. Begitu seterusnya dengan konstan dan kontinu. Tugas yang membuat gelombang naik-turun pada inputan *brushless* motor adalah tugas *Elektronic Speed Controller* (ESC). Pada gambar, ujung setiap masukan A, B, C terhuhung ke 2 transistor MOSFET satu menghubungkan ke sumber tegangan dan satu lagi menghubungkan ke Ground. Setiap MOSFET dipicu oleh *decoder* MOSFET untuk BLDC, dan input decoder ini (H1, H2 dan H3) dihubungkan ke *microcontroller*. [14]



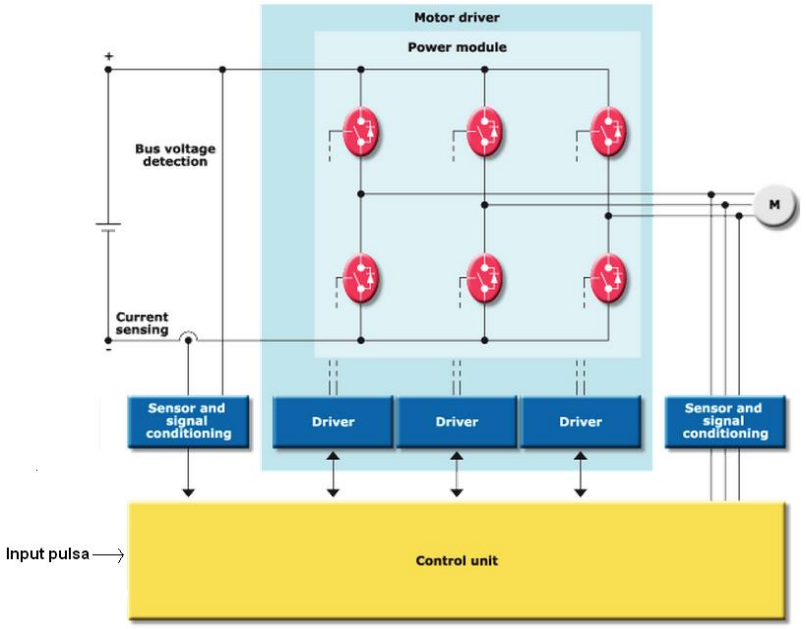
Gambar 2. 10 Cara kerja *Brushless Inrunner* dengan sinyal listrik masukan

(Sumber: http://www.avdweb.nl/Article_files/Solarbike/Motor-controller/4-Pole-brushless-DC-motor-animation.jpg)

Salah satu satuan yang digunakan dalam BLDC adalah kv. Satuan kv menentukan kecepatan putar motor terhadap tegangan masukan motor. Secara harfiah, kv merupakan kecepatan putar motor per volt sehingga dinotasikan denga rpm/Volt.

2.9 *Electronic Speed Controller* (ESC)

ESC adalah perangkat controller sebuah *brushless motor*. Salah satu kelemahan *brushless motor* adalah tidak dapat bekerja hanya dengan memberi tegangan masukan DC seperti *brushed motor*. ESC bertugas membuat sinyal naik-turun seperti yang dijelaskan sebelumnya. Di dalam ESC terdapat komponen utama yaitu *microcontroller*, *decoder*, MOSFET dan regulator 5Volt. *Microcontroller* bertugas untuk menghitung pulsa yang masuk sehingga akan diubah menjadi pulsa On-Off kepada MOSET. Sedangkan regulator bertugas untuk memberikan tegangan kerja kepada komponen yang bekerja di tegangan 5 Volt.



Gambar 2. 11 Blok diagram ESC

(sumber: http://www.st.com/web/en/catalog/apps/SE413/AS380/AC28)

2.10 Radio Komunikasi

Salah satu alat komunikasi data antar perangkat elektronik adalah radio komunikasi. Di pasar banyak beredar jenis-jenis radio komunikasi. Untuk menghindari adanya interferensi frekuensi dengan radio lain, ISM (*Industrial, Scientific, and Medical*) band radio menetapkan beberapa frekuensi yang bebas digunakan di pasar. Biasanya frekuensi untuk komunikasi data yang banyak beredar di pasar adalah 433 MHz, 2.4 GHz dan 5.8 GHz.

Syarat radio komunikasi dapat terjadi adalah menggunakan frequensi dan *channel* yang sama serta *baudrate* yang sama. Radio juga terdapat power maksimum sehingga menentukan jarak maksimum yang dapat dijangkau. [9]

2.11 Komunikasi Serial

Komunikasi Radio adalah serial, pada komunikasi serial satu bit mengikuti bit yang lain, jadi hanya butuh satu *channel* komunikasi. Komunikasi serial diibaratkan sebuah jembatan dengan satu jalur. Sebanyak apapun kendaraan (data) yang mengantri melalui jembatan, tidak boleh lewat 2 sekaligus, harus mengantri membentuk satu jalur.

Komunikasi serial berlangsung dengan 3 cara: *asynchronous, synchronous, dan isochronous*. Transmisi *asynchronous* dinamakan demikian karena pewaktuan dari sinyal tidak penting. Informasi yang diterima dan diterjemahkan dengan pola yang sudah dibuat, selama pengirim dan penerima mengikuti pola yang sama, maka penerima dapat menerima informasi tanpa hal-hal ritme pengiriaman. Pola pengiriman biasanya pada pengelompokan aliran bit ke byte. Tiap kelompok biasanya 8 bit dikirim sepanjang jalur sebagai satu unit.

Tanpa sinkronisasi, *receiver* tidak bisa memprediksikan kapan group selanjutnya tiba. Untuk mepringati penerima akan kedatangan group data, ditambahkan ekstra bit di awal tiap byte. Bit ini biasanya 0, disebut *strat bit*, dan untuk mengetahui bahwa byte telah selesai, ditambahkan bit 1 di belakangnya, ini disebut *stop bit*.

Pada transmisi *synchronous*, aliran bit dikombinasikan ke *frame* yang lebih besar yang dapat menampung banyak byte. Keuntungan dari transmisi *synchronous* adalah cepat, karena gap dan stop dan start bit dihilangkan, namun masih memungkinkan adanya gap di tiap *frame*.

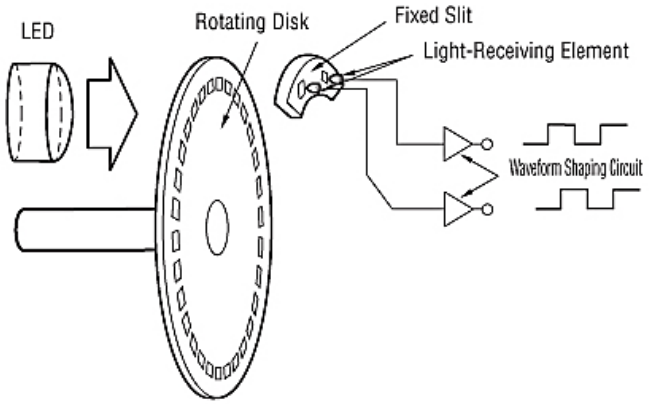
Pada *real-time* audio dan video, bahkan waktu tunda antara *frame* tidak dapat ditolerir, *synchronous* belum cukup sehingga dibutuhkan transmisi yang sangat cepat. Pada transmisi *isochronous*, semua bit data disinkronisasikan. [5]

2.12 *Rotary Encoder*

Rotary encoder adalah alat yang digunakan untuk membaca pergerakan mekanik dan ditransfer untuk sinyal *high/low*. *Rotary encoder* terdiri dari 3

komponen, LED, *rotating disc* dan fototransistor. LED diposisikan mengarah kepada fototransistor, sehingga ketika kedua komponen dipasang, LED akan langsung (secara default) menyinari fototransistor dan keluaraannya menjadi *High*, dan ketika LED ditutup oleh *rotating disc*, fototransistor tidak mendapatkan cahaya sehigga keluarannya *Low*.

Rotary encoder di sini digunakan untuk menghitung putaran roda sehingga akan dikonversi menjadi jarak, kecepatan dan percepatan. *Rotary encoder* dapat dibuat dengan sebuah *optocoupler*.



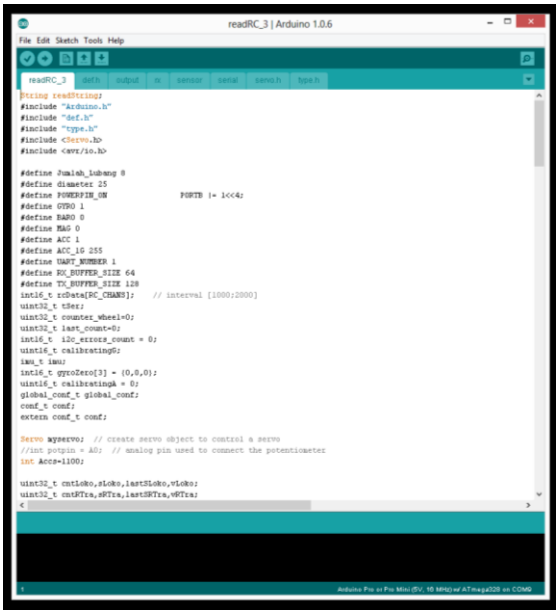
Gambar 2. 12 Prinsip kerja rotary encoder

Rotary encoder yang digunakan adalah berupa LED infra merah sebagai pemancar dan fototransistor sebagai penerima. Hasil luaran fototransistor akan diolah kesebuah komparator untuk menghasilkan pulsa *high-low* dan akan diproses ke *microcontroller*.

2.13 Software Pendukung

Arduino

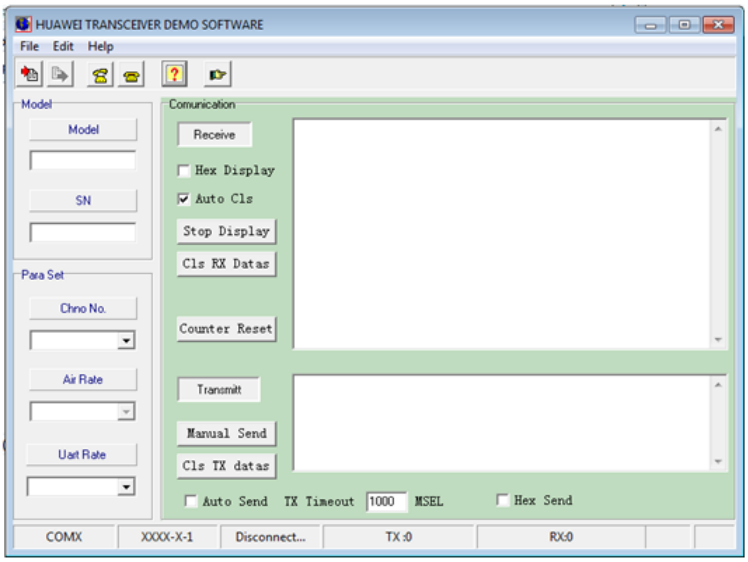
Arduino adalah software yang digunakan untuk mengedit program yang hendak dimasukkan ke dalam Arduino Uno dan Multiwii 2.5. Arduino sudah menyediakan program referensi yang dapat diunduh di internet seperti sensor, PWM, serial, I2C, dan sebagainya, lalu program *library* yang dirasa tidak perlu dapat dihapus dan dengan sedikit penambahan dapat menjadi program jadi yang kompleks.



Gambar 2. 13 Tampilan software arduino

YSPRG.EXE

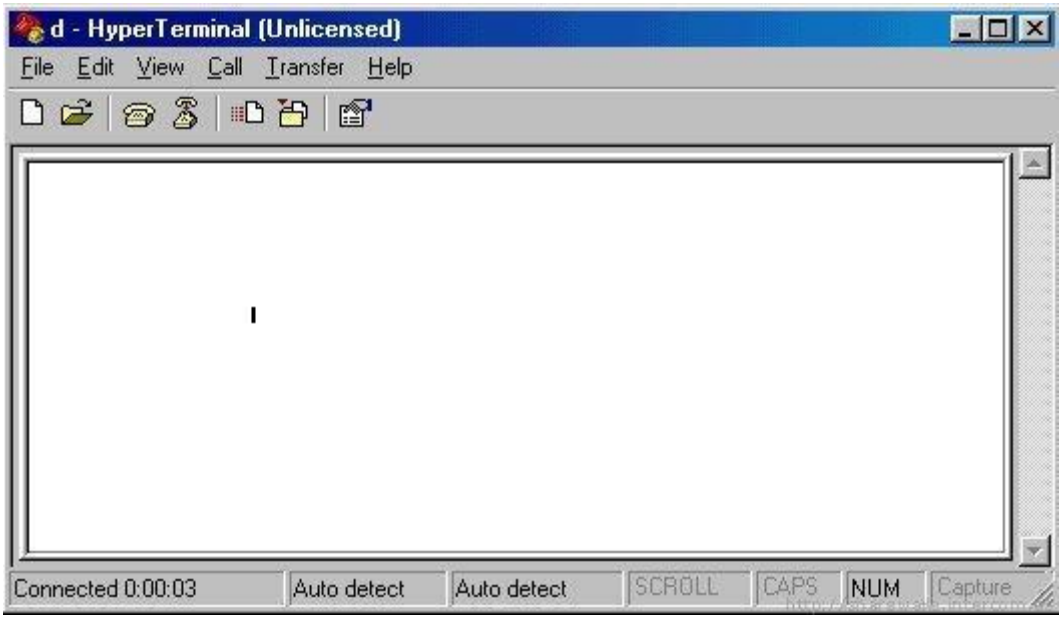
Ini merupakan aplikasi yang digunakan untuk menginisialisasi kanal yang akan digunakan pada Modul RF Data Tranceiver YS-1020UA. Program ini juga dapat membaca dan mengirim data melalui komunikasi serial.



Gambar 2. 14 Tampilan antarmuka aplikasi “YSPRG.exe

Hyper Terminal

Hyper Terminal adalah program dari Windows XP yang berada di Start – Accessories – Communication – Hyper Terminal. Program ini dapat membaca/mengirim data melalui komunikasi serial.



Gambar 2. 15 Tampilan Hyper Terminal