BAB III
PERANCANGAN DAN ANALISA

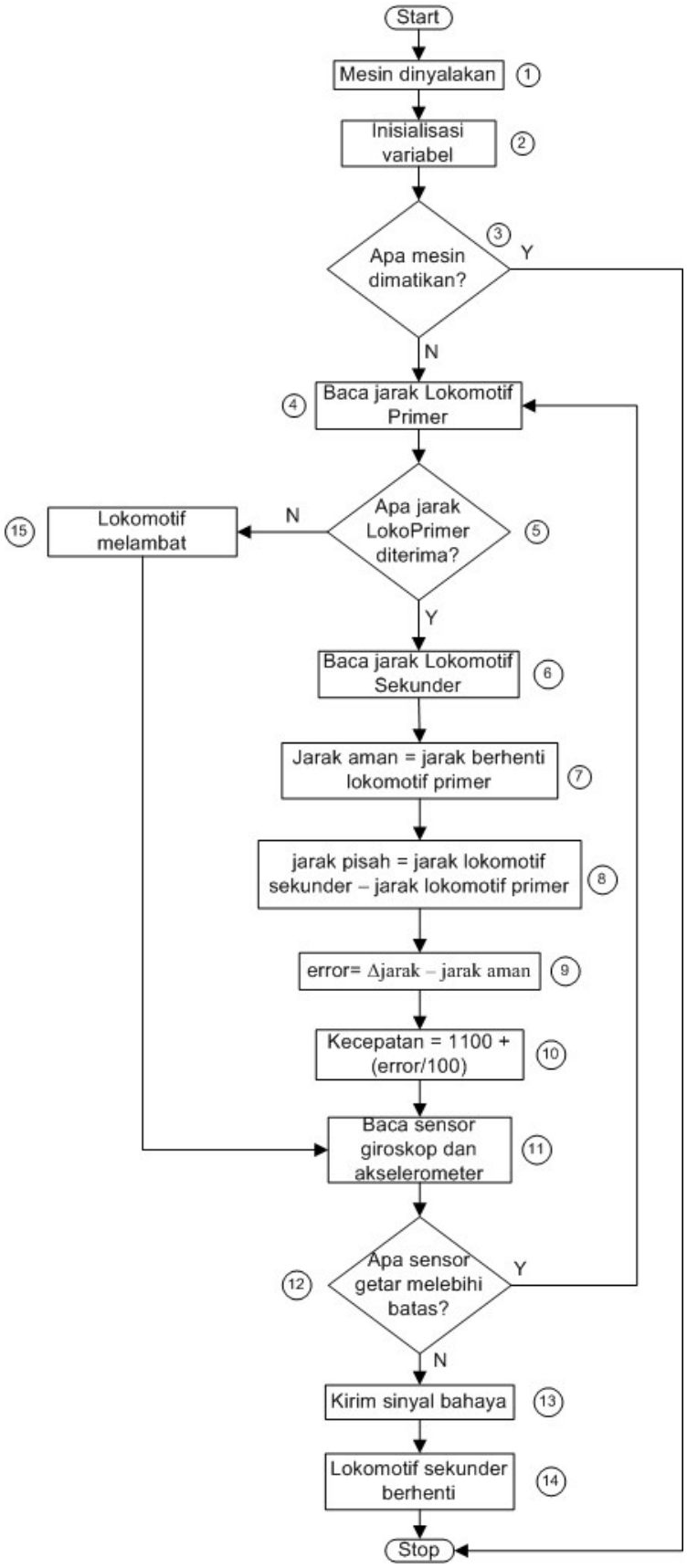
Pada bab ini akan membahas tentang perancangan dan implementasi pada sistem pengamanan perjalanan kereta api, dimulai dengan perancangan perangkat keras (mekanik, dan elektronik), desain kontroller, perancangan sistem mikroprosesor, dan integrasi sistem.

3.1 Perancangan Sistem

Pengamanan kereta ini berfungsi sebagai alat yang mampu memberikan peringatan bahaya ke masinis kereta api secara otomatis jika terjadi kecelakaan seperti tabrakan atau anjlok. Alat ini memberikan peringatan bahaya kepada kereta api yang dikawal jika terjadi kecelakaan hingga membuat alat ini berhenti atau rel amblas yang membuat alat ini terguling atau keluar dari rel kereta. Jarak antara kereta sekunder dengan kereta primer adalah relativ berbanding lurus dengan berat dan kecepatan kereta primer. Alat ini terhubung melalui kounikasi radio dengan lokomotif kereta primer.

Untuk kecelakaan, jika terjadi tabrakan yang membuat alat ini berhenti atau terlempar akan segera mengirim perintah melambat bahkan berhenti, namun jika terjadi pada tabrakan dengan benda ringan (binatang atau manusia) masih memungkinkan alat ini tidak berhenti atau tidak terguling (hanya menurunkan kecepatan) sehingga perjalanan tidak dihentikan. Tetapi jika masinis ingin berhenti maka alat ini akan otomatis berhenti bahkan mendekati kereta primer.

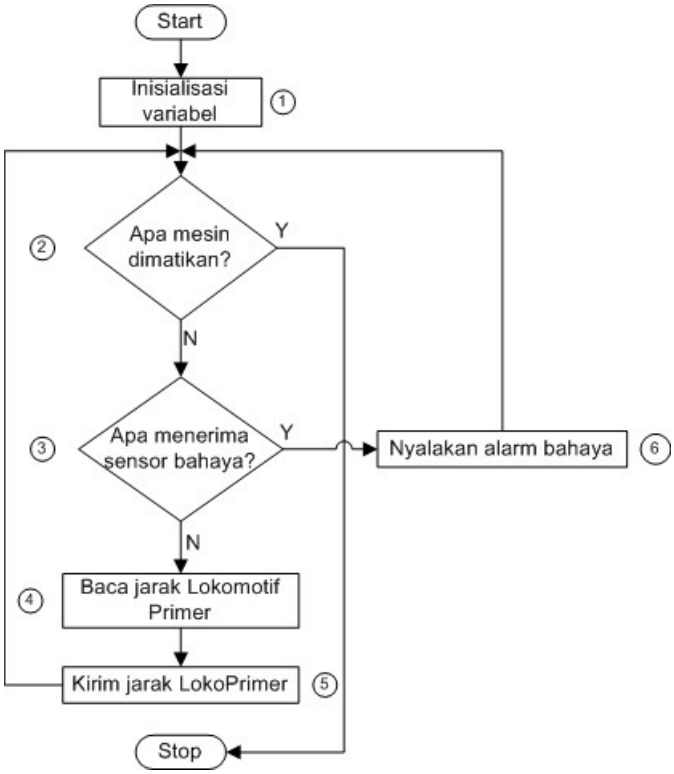
Untuk kepentingan tertentu seperti pengaturan jauh-dekat atau pada saat perbaikan. Alat pengamanan kereta ini dapat dikendalikan secara manual bahkan dalam keadaan kereta primer berhenti (jika diset otomatis, kecepatan kereta api sama dengan kecepatan kereta sekunder. Jadi jika lokomotif primer berhenti maka kereta sekunder berhenti). Dan jika dalam keadaan tidak digunakan, kereta sekunder dapat disatukan dengan kereta primer seperti gerbong lainnya.



Gambar 3. 1 Diagram alir sistem di kereta sekunder

Keterangan:

1. Setelah sistem dinyalakan.
2. *Microcontroller* akan melakukan menginisialisasi variabel di *microcontroller*.
3. Jika sistem dimatikan maka alur akan berhenti.
4. Lokomotif sekunder menerima jarak yang sudah ditempuh lokomotif primer yang sudah dihitung oleh optokoper.
5. Jika jarak tidak diterima, maka lokomotif sekunder berasumsi lokomotif primer ketinggalan, dan melakukan pelambatan.
6. Membaca jarak yang sudah ditempuh lokomotif primer. Lalu menghitung jarak yang sudah ditempuh lokomotif sekunder.
7. Melakukan perhitungan JarakAman (s_{min}) antara lokomotif primer dan lokomotif sekunder. s_{min} merupakan jarak referensi system.
8. Menghitung jarak pisah yang terjadi (Δs) dengan mengurangkan jarak yang ditempuh loko sekunder ss dengan jarak yang sudah ditempuh loko primer sp. Sehingga $\Delta s = ss - sp$.
9. Menghitung error antara jarak referensi (s_{min}) dengan jarak pisah yang terjadi (Δs).
10. Karena error hendak dimasukkan ke pulsa masukan ESC sehingga diolah dengan membaginya 100 sehingga dapat dimasukkan menjadi pulsa masukan ESC. Karena ESC bekerja di pulsa minimum 1100, sehingga error ini harus dijumlahkan dahulu dengan 1100 lalu dapat dimasukkan ke pulsa masukan ESC. Jika error bernilai minus, maka motor akan berhenti, jika positif, maka motor akan maju.
11. *Microcontroller* membaca sensor akselerometer dan giroskop sebagai wujud kecelakaan.
12. Mengecek apakah sensor akselerometer dan giroskop melebihi batas atau tidak.
13. Jika melebihi batas, maka *microcontroller* akan mengirim sinyal bahaya ke lokomotif primer.
14. Jika terjadi kecelakaan maka loko sekunder akan berhenti.
15. Jika tidak melebihi batas, maka sistem aman dan siap melakukan *loop* dari awal lagi.



Gambar 3. 2 Diagram alir sistem di kereta Primer

Keterangan:

1. Masinis menyalakan sistem dinyalakan, *microcontroller* akan menginisialisasi variabel.
2. Jika sistem dimatikan maka iterasi sistem selesai.
3. Mengecek apakan kereta primer mendapat sinyal bahaya dari kereta sekunder.
4. *Microcontroller* membaca jarak yang sudah ditempuh lokomotif primer.
5. Sistem mengirim jarak yang sudah ditempuh oleh lokomotif primer ke lokomotif sekunder.
6. Jika mendapat sinyal bahaya, maka sistem di kereta primer menyalakan sinyal bahaya.

3.2 Perancangan Desain

Alat pengamanan kereta ini didesain menyerupai lokomotif pada umumnya namun, dengan ukuran yang lebih kecil. Untuk rangkaian elektronika ditanam di dalam, dengan terlindung dari percikan air dan guncangan, bahkan didesain tahan

hingga kondisi tabrakan. Untuk menangkap sinyal digunakan antenna yang diletakkan di luar agar dapat berkomunikasi dengan lokomotif.

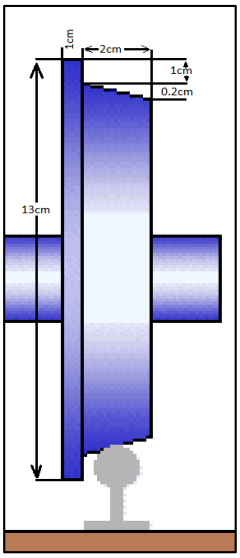


Gambar 3. 3 Ilustrasi kereta sekunder mengawal kereta primer

3.2.1. Desain Roda

Roda alat ini harus didesain semirip mungkin dengan roda kereta umumnya. Kereta memiliki kemiringan tertentu agar mampu belok ketika mendapat lintasan rel yang melengkung atau belok.

1. Diameter terluar : 130 mm
2. Diameter Terdalam : 106 mm
3. Tebal piringan terdalam : 10 mm
4. Tebal piringan terluar : 20mm
5. Kemiringan permukaan roda : 3^0
6. Diameter Lubang As roda : 10mm



Gambar 3. 4 Desain roda lokomotif sekunder

3.2.2. Desain badan

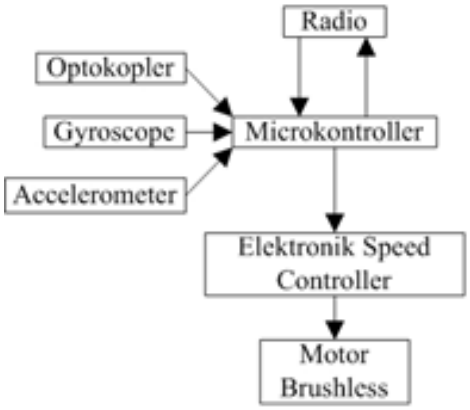
Spesifikasi desain:

1. Panjang : 1,2 meter
2. Lebar : 1,1 meter
3. Tinggi : 40 cm
4. Berat : 5 Kg
5. Panjang sepur : 1,067 meter
6. As roda : 10mm
7. Jarak antar poros roda : 60cm
8. Jarak rel ke badan : 125mm

3.3 Perancangan Elektronik

3.3.1. Perangkat keras di kereta sekunder

Dapat dilihat dari gambar di bawah ini bahwa alat-alat elektronika dan mekanisme pergerakan pengamanan perjalanan kereta api diatur di dalam *microcontroller* Multiwii.



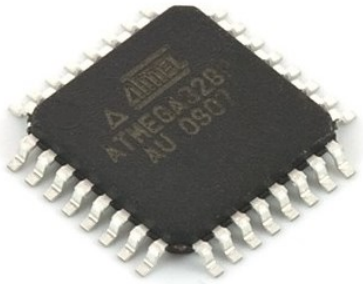
Gambar 3. 5 Blok diagram di kereta sekunder

1. *Optocoupler* digunakan untuk menghitung jarak yang sudah ditempuh.
2. Giroskop digunakan untuk menghitung perubahan sudut orientasi.
3. Accelerometer digunakan untuk menghitung perubahan kecepatan (percepatan).
4. Radio digunakan untuk komunikasi data.
5. Microkontroller digunakan untuk memproses program dan data yang masuk.
6. *Elekronic Speed Controller* digunakan untuk driver *motor brushless*.
7. *Motor brushless* digunakan untuk penggerak kereta.

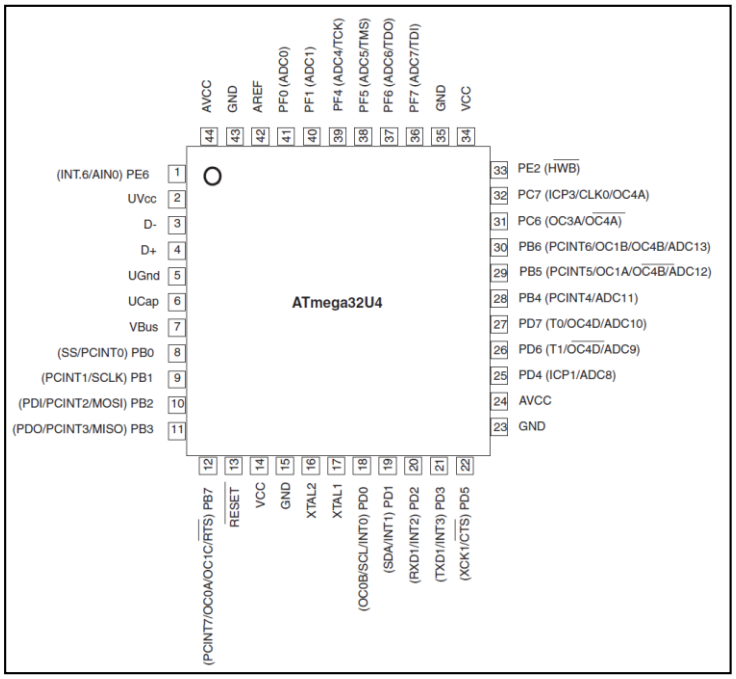
Komponen yang digunakan sebagai berikut:

1. Microkontroller Atmega32 [1]

   - 32 × 8 General Purpose Working Registers
   - Up to 20 MIPS Throughput at 20MHz
   - 32KBytes of In-System Self-Programmable Flash
   - 1Kbytes EEPROM
   - 2Kbytes Internal SRAM
   - Supply voltage: 1.8-5.5V



Gambar 3. 6 *Microcontroller* ATMEGA 328P



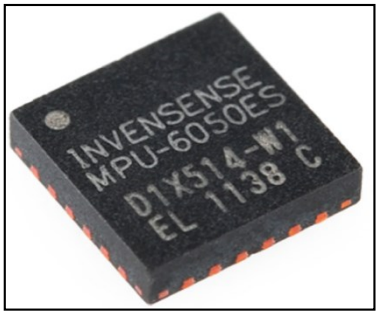
Gambar 3. 7 *Pin out* Atmega 328P

2. Giroskop MPU-6050 [8]

- Digital-output X-, Y-, and Z-Axis skala ±250, ±500, ±1000, dan ±2000°/sec.
- Terintegrasi 16-bit ADCs.
- Arus konsumsi: 3.6mA
- Tegangan kerja: 2.375V-3.46V
- Komunikasi: I^2C.

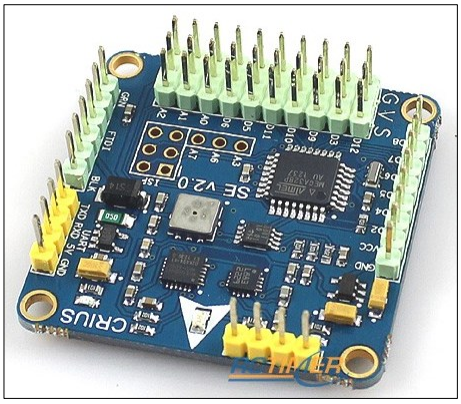
3. Accelerometer MPU-6050 [8]

- Digital-output triple-axis skala ±2g, ±4g, ±8g and ±16g.
- Terintegrasi 16-bit ADCs.
- Konsumsi arus operasional: 500µA
- Mode hemat daya: 10µA di 1.25Hz, 20µA di 5Hz, 60µA di 20Hz, 110µA di 40Hz.



Gambar 3. 8 Sensor akselerasi dan giroskop MPU-6050

Microcontroller Atmega328P dan sensor MPU-6050 yang diagunakan sudah terbenam di Multiwii v2.5



Gambar 3. 9 Multiwii v2.5

Pada dasarnya multiwii adalah sebuah *flight controller*. Namun, karena menggunakan bahasa Arduino, sehingga program di dalam *microcontroller*-nya dapat diganti dengan program Arduino sesuai keinginan dengan posisi (*layout*) yang sudah ditentukan.

4. Radio RF YS 1020 UB [17]

- Carrier frequency: 433 MHz
- *Baud rate*: 1200/2400/4800/9600/19200bps
- Transmisi half duplex
- Power supply: DC 5V
- RF power: 50mW
- Receiving current: <25mA
- Transmitting current: <55mA
- Sleep current: <20uA
- 0.8Km (BER=10-3@9600bps)
- 1Km (BER=10-3@1200bps)



Gambar 3. 10 Radio serial YS 1020 UB

5. Sensor Optocoupler H21A3 [3]

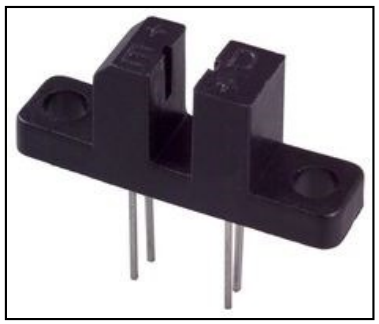
INPUT (EMITTER)

- Continuous Forward Current 50 mA
- Reverse Voltage 6 V
- Power Dissipation 100 mW

OUTPUT (SENSOR)

- Collector to Emitter Voltage 30 V
- Emitter to Collector Voltage 4.5 V

- Collector Current 20 mA
- Power Dissipation 150 mW

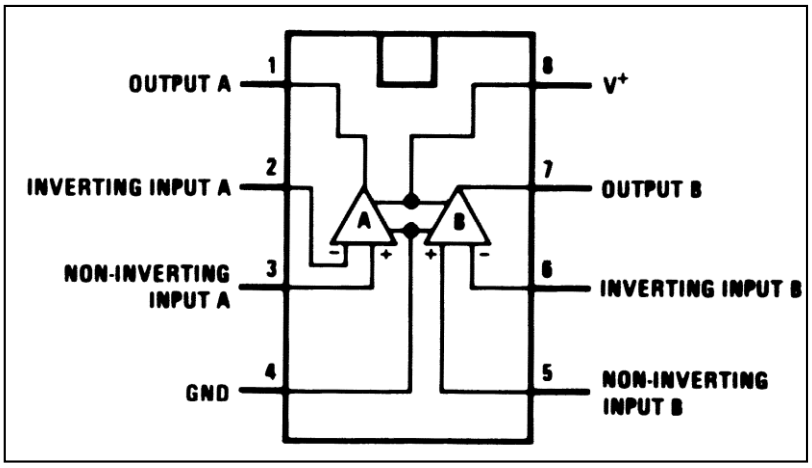


Gambar 3. 11 *Optocoupler*

Sensor *Optocoupler* ini harus masuk ke modul komparator sehingga menghasilkan pulsa High-low dengan rentang 0-5V.

6. Komparator LM 939 [11]

- Wide Supply
- Voltage Range: 2.0V to 36V specification as low as 2.0 mV max for two
- Single or Dual Supplies: ±1.0V to ±18V
- Very Low Supply Current Drain (0.4 mA) Low Input Biasing Current: 25 nA
- Low Input Offset Current: ±5 nA
- Maximum Offset voltage: ±3 mV
- Low Output Saturation Voltage: 250 mV at 4mA
- Input Common-Mode Voltage Range Includes range includes ground,
- Differential Input Voltage Range Equal to the Application areas include Ground



Gambar 3. 12 Tampilan dalam LM393

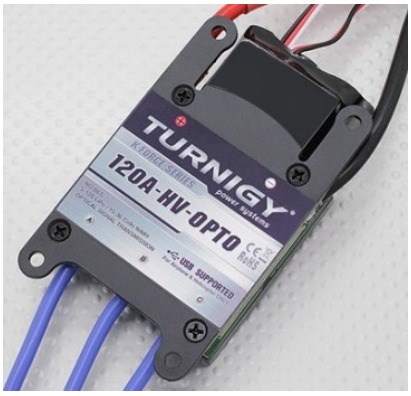
Tegangn masukan system counter ini adalah 5V. Namun, karena optocoupler LED-nya menggunakan 1.8V, maka perlu diturunkan dahulu dengan sebuah resistor. Hasil dari optocoupler akan masuk ke chip komparator (LM193/LM393). Hasil dari comparator adalah Low=0.06V serta High=4.8V



Gambar 3. 13 Modul *optocoupler*

7. ESC TURNIGY K-Force 120A-HV OPTO V2 5-12S [7]

- Output: Continuous 120A, burst 180A (10 seconds)
- Input Voltage: 5-12S (44.4-50V)
- Weight: 125g.



Gambar 3. 14 *Speed controller* Turnigy 120A

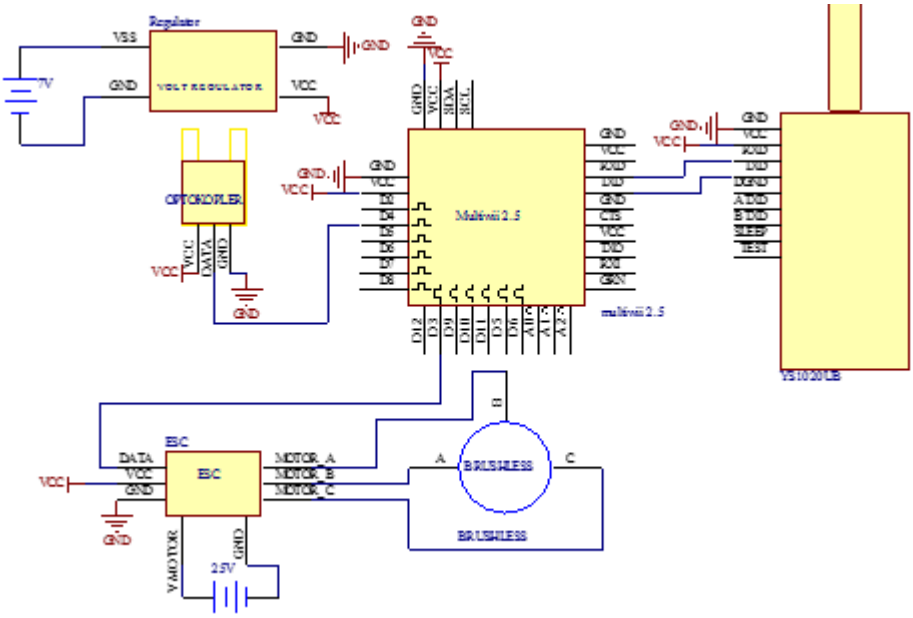
8. Motor Dr Mad 2200kv 1600watt Inrunner 6s [6]

- RPM/V: 2200kv
- Voltage: 6S (22.2V)
- Max current: 80A
- Max Power: 1600 watts
- Diameter: 29mm
- Shaft Diameter: 5mm
- Shaft Length: 10mm
- Weight: 180g



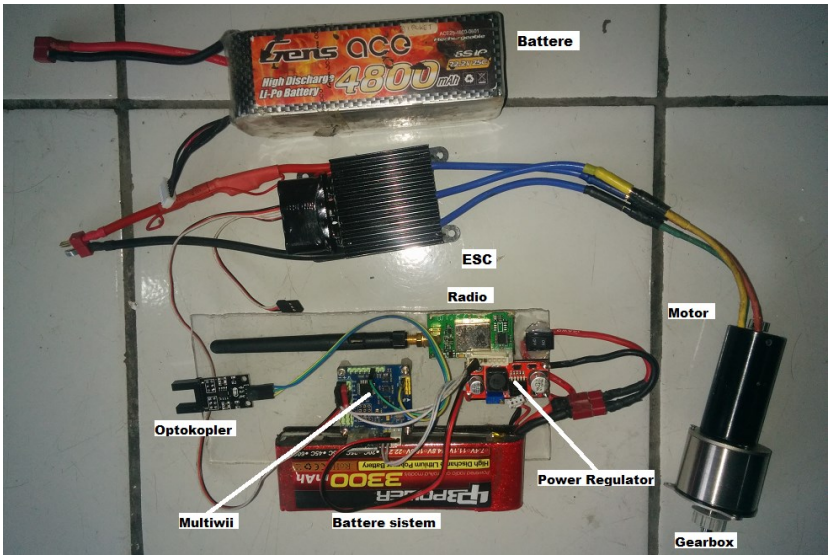
Gambar 3. 15 Motor Brushless DR MAD 2200KV 1600Watt

Secara keseluruhan, modul elektronik di lokomotif sekunder menjadi seperti gambar berikut ini.



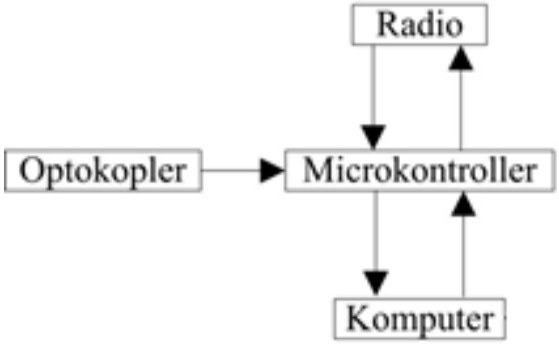
Gambar 3. 16 Skematik pengkabelan komponen elektronik di kereta sekunder

Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa masukan *optocoupler* berada di pin D4, dan luaran Multiwii ke ESC berada di pin D3. Perlu diperhatikan bahwa walaupun ESC terhubung dengan batere 25Volt, namun perangkat elektronik di dalamnya tidak dapat bekerja karena tidak memiliki regulator tegangan 5V untuk menyuplai sistemnya. Sehingga ESC membutuhkan tegangan 5V dari luar. Namun karena Multiwii juga menghasilkan tegangan 5V sehingga dapat digunakan oleh ESC. Secara visual semua komponen di kereta sekunder seperti di gambar III.7.



Gambar 3. 17 Modul elektronik lokomotif sekunder

3.3.2. Perangkat keras di kereta primer



Gambar 3. 18 Blok diagram di kereta primer

1. *Optocoupler* digunakan untuk menghitung jarak yang sudah ditempuh.
2. Radio digunakan untuk komunikasi data.
3. Microkontroller digunakan untuk memproses program dan data yang masuk.
4. Komputer digunakan untuk menampilkan data.

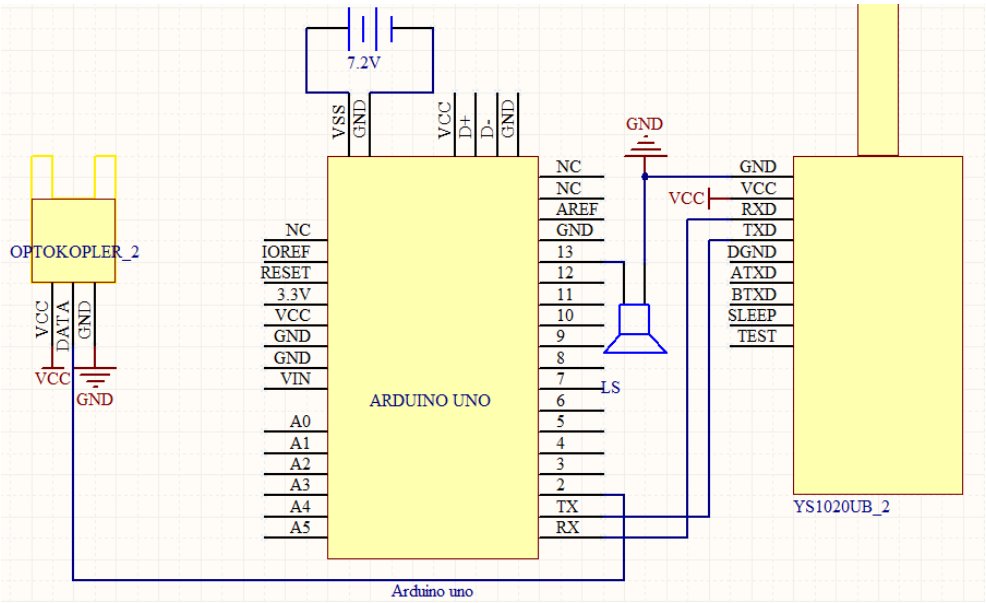
Komponen yang digunakan di kereta primer adalah sebagai berikut:

1. Arduino UNO [2]

   - *Microcontroller* ATmega328
   - Operating voltage 5V
   - Input voltage 7-12V
   - Analog input pins 6
   - DC current per I/O Pin 40 mA
   - DC current for 3.3V Pin 50 mA
   - Flash memory 32 KB
   - SRAM 2 KB
   - EEPROM 1 KB
   - Clock speed 16 MHz



Gambar 3. 19 Arduino UNO di kereta primer



Gambar 3. 20 Rangkaian komponen di kereta primer

3.4 Desain *Gear Ratio*

Kecepatan kereta api di Indonesia, memang tergolong kencang karena dapat mencapai 80Km/Jam. Namun, alat pengaman perjalanan kereta yang hendak saya kerjakan dapat berjalan di kecepatan 30Km/jam saja.

Diharapkan kereta sekunder dapat berjalan di kecepatan 30Km/jam. Dengan diameter roda kereta sekitar 10.6cm. dapat ditarik kesimpulan:

$$Keliling\ roda = D * \pi \quad \text{.....(3.1)}$$

$$Keliling\ roda = 10.6cm * 3{,}14$$

$$Keliling\ roda = 33.3cm$$

$$v_{kereta} = 30\frac{Km}{Jam} * \frac{1\ Jam}{3600\ detik} * \frac{100000cm}{1\ Km}$$

$$v_{kereta} = 1666{,}66\frac{cm}{det}$$

$$RPM_{roda} = \frac{v_{kereta}}{Keliling\ roda} \quad \text{.....(3.2)}$$

$$RPM_{roda} = \frac{1666{,}66}{33.3cm} = 50.07\frac{kali}{detik}$$

$$RPM_{roda} = 50.07\frac{kali}{det} * \frac{60det}{1\ menit} = 3002\frac{kali}{menit}$$

Jadi roda harus berputar 3002 kali per menit (rpm) untuk memenuhi 30Km/jam

Motor brushless bekerja di 2200kV tegangan maksimum 25Volt sehingga menghasilkan rpm:

Rpm motor = 2200 * 25V = 55.000 rpm

Geardown yang digunakan *gear* dengan perbandingan 1:30 bermerek Escap. Dengan sedikit modifikasi, dengan mengganti motor brushed DC yang menempel di gear tersebut dengan *brushless inrunner* yang lebih bertenaga. *Gearbox* ini memiliki gear-gear yang murni semuanya terbuat dari logam, sehingga diharapkan mampu bekerja di kecepatan tinggi.



Gambar 3. 21 *Gearbox* 1:30 Portescap

RPM keluaran gearbox 30:1

RPM Gearbox = $\frac{rpm\ motor}{gear\ ratio}$ ..... (3.3)

RPM Gearbox = $\frac{55000}{30} = 1833\ rpm$

Keluaran *gearbox* ini akan ditempelkan *timing chain* yang biasanya untuk menggerakkan katup di mesin 4 tak sepeda motor. Dengan rantai kecil tersebut akan terhubung langsung ke roda. *Timing chain* ini memiliki perbandingan 1:1.2.



Gambar 3. 22 *Timing chain* penggerak dari *gearbox* ke roda

RPM keluaran Timing chain 1:1.2 =

$RPM\ Timing\ Chain = \frac{1833}{1.2} = 1527rpm$

Dengan RPM sebesar ini kecepatan maks yang dapat diperoleh adalah:

$$v = 1527\frac{r}{min} * 60\frac{min}{1\ jam} * 33.3cm * \frac{1Km}{100000cm} = 30.51\frac{Km}{jam}$$

Fungsi tegangan terhadap kecepatan:

$v_{kereta} = Volt * kv\ motor * gear\ box * rantai * keliling\ roda * 60\frac{min}{1\ jam} * \frac{1Km}{100000cm}$... (3.4)

$$v_{kereta} = Volt * 2200 * \frac{1}{30} * \frac{1}{1.2} * 33.284cm * 0.0006\frac{Km}{Jam}$$

$$v_{kereta} = Volt * 1.220413 \frac{Km}{Jam}$$