

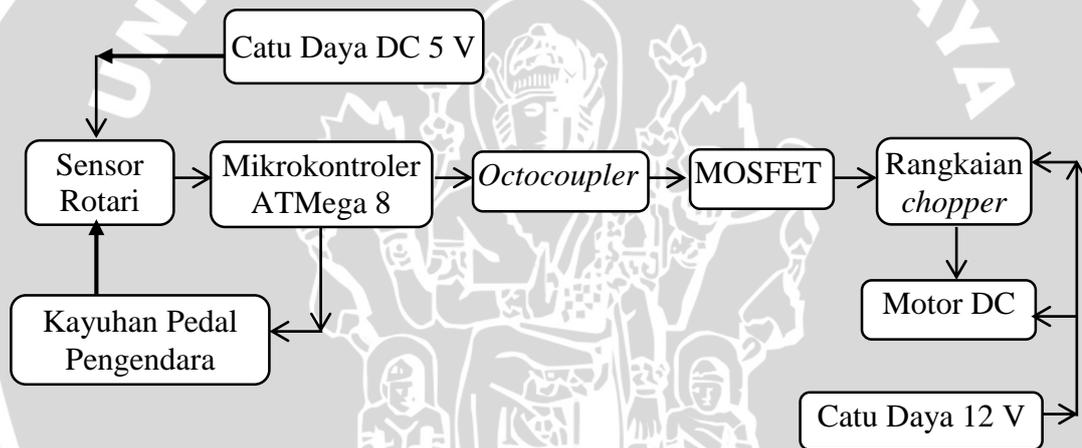
BAB IV

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

Bab ini menjelaskan tentang perancangan dan pembuatan alat pengendali motor DC magnet permanen dengan menggunakan sensor rotari mulai dari catu daya, diagram blok sistem, desain sensor, desain rangkaian PWM, desain mekanik, serta cara kerja dari sistem. Perancangan dan pembuatan dilakukan secara bertahap, sehingga memudahkan dalam melakukan analisis sistem.

1.1 Diagram Blok Sistem

Sistem secara keseluruhan oleh alat ini ditunjukkan oleh diagram blok berikut ini.



Gambar 1.1 Diagram Blok Sistem

Pada sistem ini, *feedback* yang diberikan kepada mikrokontroler adalah besarnya kecepatan putaran dari sensor. Disini kecepatan putaran sensor merepresentasikan putaran roda. Karena sensor tersebut terletak seporos dengan roda sepeda. Kecepatan yang dibaca oleh mikrokontroler adalah frekuensi *on/off* yang dikeluarkan oleh sensor. Putaran motor DC magnet permanen diatur secara variabel berdasarkan tegangan keluaran dari rangkaian DC *chopper*. Besarnya tegangan pada rangkaian DC *chopper* tergantung pada *duty cycle* yang telah ditentukan oleh mikrokontroler.

1.2 Karakteristik Motor Yang Digunakan

Dalam sistem ini, beban berupa berat dari sepeda dan berat dari pengendara sepeda. Dengan karakter dari beban yang berubah ubah sesuai dengan kecepatan dari

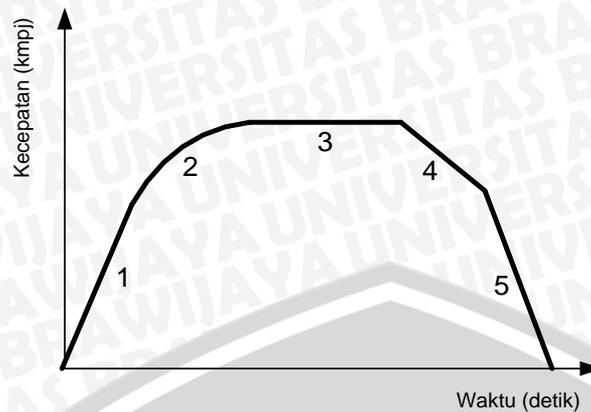
putaran sepeda, maka motor yang cocok untuk digunakan dalam sistem ini adalah motor DC magnet permanen. Motor DC magnet permanen memiliki keunggulan dalam regulasi kecepatan dan pengaturan kecepatan yang baik. Alasan lain menggunakan motor jenis ini karena pengaturan motor yang relatif mudah dari jenis motor DC yang lain mengingat yang diatur hanya medan jangkarnya saja. Selain itu, motor DC magnet permanen lebih mudah didapatkan barangnya dari pasaran karena memang bentuknya yang relatif kecil sesuai dengan simulasi alat bantu kecepatan pada sepeda listrik yang dirancang. Untuk menimbulkan medan magnet pada motor ini digunakan magnet permanen yang besar medan magnetnya tidak berubah-ubah. Motor tersebut bertugas untuk menghasilkan kecepatan dan torsi untuk membantu roda berputar. Kecepatan didapatkan berdasarkan *name plate* dari motor itu sendiri saat diproduksi. Untuk menghitung besarnya torsi motor dapat digunakan rumus :

$$(3.1) \quad T = K_e \Phi I_a$$

dimana :

- Φ : *Fluks* per kutub, *Weber*
- I_a : Arus Jangkar, *A*
- T : Torsi Motor, *N-m*
- K_e : Konstanta

Kurva karakteristik motor DC dapat ditunjukkan pada gambar 2.5. Pada gambar 2.5 ditunjukkan bahwa kecepatan dan torsi memiliki hubungan yang terbalik bahwa semakin tinggi kecepatannya maka semakin kecil torsinya dan sebaliknya. Pada aplikasi pengaturan kecepatan motor DC dengan menggunakan sensor rotari ini dibutuhkan motor dengan kecepatan tinggi sehingga pemilihan motor harus mementingkan kecepatan yang tinggi. Mengenai torsi motor, pada sistem ini motor bekerja pada torsi rendah. Hal ini dikarenakan motor hanya bekerja pada saat kondisi roda telah berputar dengan kecepatan 10 km/jam. Sehingga motor tidak mengalami torsi besar pada saat terjadinya *starting*.



Gambar 1.2 Kurva Kecepatan-Waktu pada Motor dengan Beban yang Melaju

(Sumber : Mark L. Latash, 2006: 23)

Dimana :

1. Akselerasi pada arus konstan
2. Akselerasi pada tegangan konstan
3. Berputar bebas (*steady*)
4. Meluncur
5. Pengereman

Gambar 4.2 merupakan fase pergerakan motor yang diaplikasikan pada sebuah beban yang melaju. Beban akan melaju dengan akselerasi *linear* seiring arus besar karena proses *starting* (nomor 1) hingga pada akhirnya tegangan menjadi maksimum pada nilai yang diijinkan dan arus berkurang perlahan (nomor 2). Setelah itu beban memiliki kecepatan yang maksimal dengan kata lain seimbang antara gesekan dan kemampuan motor (nomor 3). Untuk fase berikutnya motor tidak dicatu sehingga beban meluncur bebas (nomor 4) dan mengalami penurunan kecepatan dan akhirnya di rem (nomor 5).

Di pasaran motor yang mudah ditemui yaitu motor DC penguat terpisah dengan menggunakan magnet permanen untuk menghasilkan medan magnet sehingga *fluks* medan yang dihasilkan konstan. Dengan konstannya *fluks* medan maka pengaturan hanya pada arus jangkar saja sehingga lebih sederhana dibandingkan dengan motor penguat terpisah yang *fluks*-nya berubah-ubah.



Gambar 1.3 Motor DC Magnet Permanen 12 V

Gambar 4.3 merupakan gambar motor penggerak utama yang nantinya digunakan sebagai simulasi penggerak roda dan sensor yang terletak satu poros dengan roda. Motor ini nantinya akan mensimulasikan motor yang nantinya berfungsi untuk membantu kecepatan pengendara sepeda pada kenyataannya. Penggunaan Beban ini berupa asumsi dari torsi yang dilakukan oleh pengendara dalam melakukan pengayuhan sepeda tersebut. Motor ini memiliki spesifikasi seperti berikut :

Panjang motor (as)	: 11,5 cm
Diameter motor	: 8,5 cm
Panjang shaft/As	: 13 cm
Diameter shaft	: 0,7 cm
Massa	: 5,5 kg

Dan memiliki karakteristik :

Tegangan	: 12 V _{DC}
Arus	: 3 A
Daya motor	: 40 W
Kecepatan	: 2350 rpm
Torsi	: 140 Ncm

Dengan torsi maksimal motor sebesar 130 Ncm dan kecepatan motor 2350 rpm tersebut, cukup untuk membantu mempercepat putaran roda. Hal ini dikarenakan kecepatan roda rata-rata yang dapat dicapai oleh pengendara adalah sekitar 500 rpm, ini berarti kecepatan motor 2 kali lebih besar dari kecepatan roda. Untuk torsi motor, yang dihasilkan adalah sebesar 130 Ncm, sehingga sangat cukup untuk membantu meringankan pengendara untuk mengayuh pedal. Karena pada saat roda berputar, torsi beban yang timbul adalah 0 Nm. Hal ini disebabkan sudut putar selalu berada pada

kondisi 180 dan 360 derajat. Sehingga torsi yang dibutuhkan untuk memutar roda yang sedang berputar adalah 0.

Untuk spesifikasi pengendara, diperlukan spesifikasi cukup berupa 1 asumsi spesifikasi pengendara dan sepeda. Asumsi ini didapatkan berdasarkan rata-rata berat pengendara dengan postur rata-rata penduduk Indonesia. Asumsi berat serta torsi yang dibebani oleh pengendara:

- Berat manusia : 60 kg
- Tinggi manusia : 170 m
- Berat sepeda : 10 kg
- R tuas : 25 cm
- Sudut tuas torsi (Θ) : 45°
- Asumsi gaya pengendara : 300 N

Maka dapat disimpulkan beberapa asumsi torsi maksimal yang dapat ditimbulkan oleh pengendara terhadap poros pedal sepeda pada sudut tertentu adalah sebagai berikut :

1. Asumsi 1 : $\tau = F \cdot r \cdot \sin 25$
 $= 300 \cdot 0,25 \cdot \sin 45$
 $= 31,69 \text{ Nm}$
2. Asumsi 2 : $\tau = F \cdot r \cdot \sin 45$
 $= 300 \cdot 0,25 \cdot \sin 45$
 $= 53,03 \text{ Nm}$
3. Asumsi 3 : $\tau = F \cdot r \cdot \sin 60$
 $= 300 \cdot 0,25 \cdot \sin 45$
 $= 64,95 \text{ Nm}$
4. Asumsi 4 : $\tau = F \cdot r \cdot \sin 90$
 $= 300 \cdot 0,25 \cdot \sin 90$
 $= 75 \text{ Nm}$

Dengan torsi motor dan torsi beban yang ada, berarti torsi yang dibebani oleh pengendara dari hasil kompensasi torsi motor terhadap torsi beban pada saat beban maksimal adalah:

$$\begin{aligned} T \text{ kompensasi} &= T_{\text{beban}} - T_{\text{motor}} \\ &= 75 \text{ Nm} - 140 \text{ Ncm} \end{aligned}$$

$$= 75 \text{ Nm} - 1,4 \text{ Nm}$$

$$= 73,6 \text{ Nm}$$

Motor tidak akan berbeban penuh sesuai dengan torsi beban maksimal yang terjadi, hal ini dikarenakan motor tidak berfungsi sebagai penggerak roda pada saat *starting*, sehingga dengan spesifikasi motor DC ini cukup untuk membantu kecepatan putar roda sepeda.



Gambar 1.4 Motor Simulator Roda Sepeda

Gambar 4.4 merupakan gambar dari motor yang nantinya digunakan sebagai pengganti roda berputar dalam pengujian. Dalam pengujian hanya diperlukan analogi putaran roda dengan putaran tertentu, sehingga sensor dapat mengirimkan sinyal berupa frekuensi on/off ke mikrokontroler untuk mengatur lebar sinyal termodulasi. Dengan lebar pulsa yang telah termodulasi sesuai dengan frekuensi sensor, maka *duty cycle* dapat diatur sesuai dengan presentase yang ditentukan pada mikrokontroler untuk digunakan sebagai referensi dari driver motor untuk menentukan besarnya tegangan yang akan dikonsumsi motor DC. Motor ini memiliki spesifikasi seperti berikut :

Panjang motor (as)	: 6,5 cm
Diameter motor	: 4 cm
Panjang shaft/As	: 8,5 cm
Diameter shaft	: 0,5 cm
Massa	: 0,3 kg

Dan memiliki karakteristik :

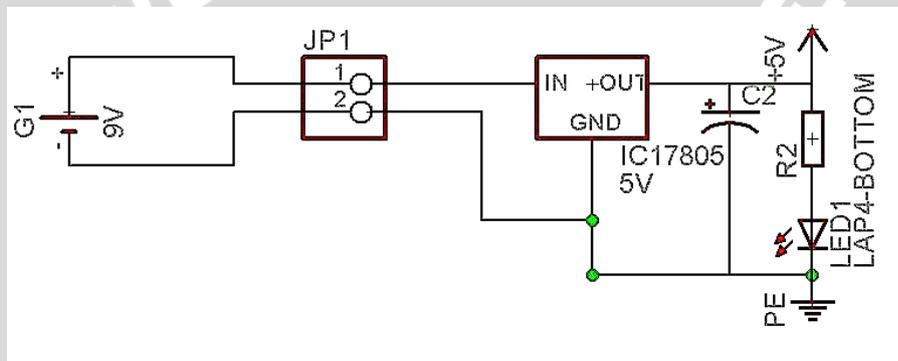
Tegangan	: 12 V _{DC}
Arus	: 2 A
Daya motor	: 24 W
Kecepatan	: 500 rpm
Torsi	: 25 Ncm

1.3 Perancangan Rangkaian elektrik

Perancangan rangkaian elektrik ini meliputi rangkaian catu daya, sensor, rangkaian mikrokontroler, rangkaian *driver* motor. Serta alat peraga yang berguna dalam simulasi alat ini.

1.3.1 Rangkaian Catu Daya

Pada alat ini, diperlukan catu daya pada tiap komponennya. Catu daya yang dibutuhkan berupa baterai. Baterai yang digunakan adalah aki kering dengan besar tegangan 12 V, dan kapasitas arus 3,5 A. Pada sensor rotari diperlukan sumber tegangan sebesar 5 V. Sumber tegangan ini didapatkan dari rangkaian catu daya tersendiri yang mencatu rangkaian sensor dan mikrokontroler. Regulator yang dipakai adalah regulator 7805 dengan tegangan keluaran sebesar 5V.



Gambar 1.5 Rangkaian Catu Daya pada Sensor dan Mikrokontroler



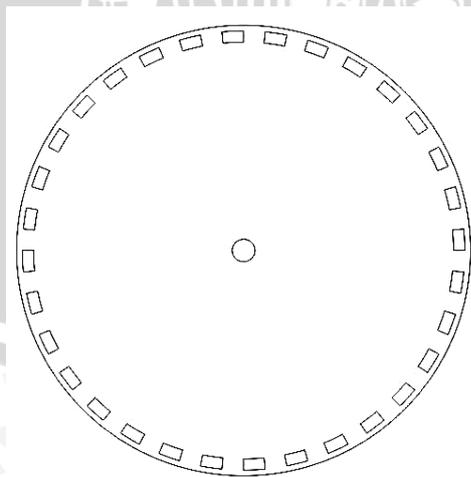
Gambar 1.6 Baterai 12 V

Suatu regulator dari rangkaian catu daya memerlukan sumber tegangan tersendiri berupa sumber tegangan DC. Baterai yang digunakan disini adalah baterai dengan tegangan 9 V. Regulator ini nantinya akan meregulasi tegangan menjadi 5 V. Sehingga dapat dikonsumsi oleh sensor dan rangkaian mikrokontroler. Rangkaian lain

yang membutuhkan catu daya adalah rangkaian *driver*. Catu daya yang diperlukan adalah sebesar 5 V dalam pengoperasiannya. Sedangkan pada sisi *drain* MOSFET dicatu langsung dari baterai sebesar 12V. Pada Motor DC magnet permanen yang digunakan membutuhkan catu daya sebesar 12 V dalam pengoperasiannya. Sumber tegangan ini diperoleh langsung dari sumber baterai 12 V. Baterai yang digunakan adalah berupa aki kering 12 V dengan kapasitas 3,5 A.

1.3.2 Sensor

Sensor yang diperlukan adalah sensor rotari. Dalam perangkaiannya sebuah sensor rotari, memerlukan komponen berupa piringan *acrylic* dan *optocoupler*. Pengerjaan rangkaian ini meliputi desain serta bagaimana pembuatan dari sensor. Piringan *acrylic* disini berfungsi sebagai penghalang sinar inframerah yang bersumber dari LED untuk ditangkap oleh *photo diode*. *Acrylic* yang digunakan merupakan *acrylic* dengan ketebalan 3 mm dengan warna gelap yang bertujuan agar cahaya yang bersumber dari LED pada octocoupler tidak dapat menembus piringan selain pada lubang yang disediakan. Dengan pengasumsian jumlah resolusi sensor, maka yang digunakan pada perancangan ini sebesar 32 pulsa untuk setiap putaran penuh. Diameter dari piringan ini adalah 20 cm. Ukuran ini didapatkan dari hasil asumsi perbandingan antara diameter roda dengan diameter gigi pedal pada umumnya. Dengan tujuan untuk mempermudah pengasumsian dan perhitungan. Sifat sinyal yang berulang-ulang didapatkan dengan membuat pola berlubang pada sisi luar piringan berpola seperti ditunjukkan pada Gambar 4.7.



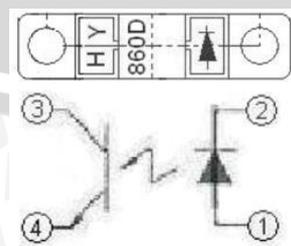
Gambar 1.7 Piringan sensor rotari

Dengan diameter piringan 20 cm, diameter roda sepeda 20 inch, dan jumlah lubang pada sensor adalah 32 lubang, maka :

- Asumsi batas aktif sensor pada kecepatan roda 10 km/jam.
- Ukuran roda sepeda pada umumnya : 20 inch
- Keliling roda sepeda : 1,6 meter
- Banyak putaran roda pada kecepatan 10 km/jam = $10000/1,6$
= 6250putaran/jam
- Kecepatan sudut roda = $6250/3600 = 1,74$ rps
= 104,17 rpm
- Frekuensi On/Off sensor per detik = $1,74$ rps x 32 lubang
= 55,68 Hz

Analisis kecepatan sudut dan banyaknya putaran ini didapatkan berdasarkan analisis dari putaran roda. Hal ini dikarenakan, bagian yang nantinya akan menempel langsung pada tanah adalah roda, sehingga putaran sudut dan jumlah putaran yang berlaku pada sistem adalah putaran roda. Untuk peletakkannya, piringan sensor terletak satu poros dengan roda, maka kecepatan yang berlaku untuk sensor berputar adalah sama dengan putaran roda. Jadi diperlukan 56 kali On/Off sensor untuk memberi sinyal kepada mikrokontroler untuk mengaktifkan motor DC magnet permanen pada kondisi kecepatan terendah motor harus memberi bantuan kecepatan. Ini didapatkan dari pembulatan frekuensi yang didapatkan dari perhitungan. Karena lubang sensor tidak dapat berupa pecahan, sehingga harus dibulatkan.

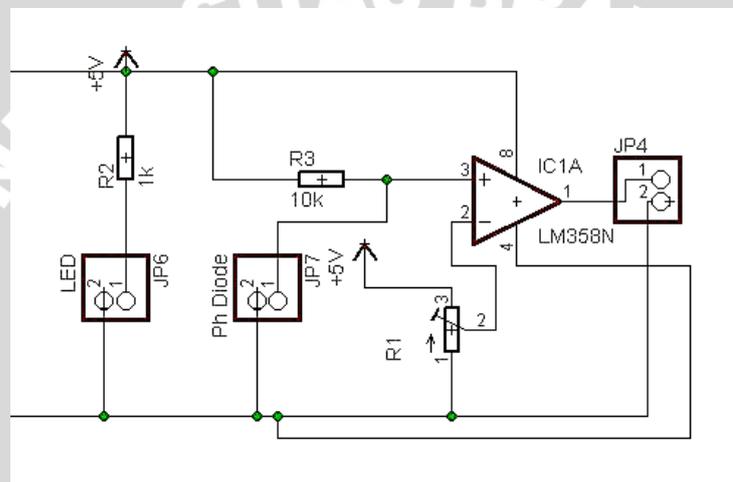
Pada sensor ini diperlukan *optocoupler* untuk mendapatkan frekuensi On/Off dari putaran sensor. *Optocoupler* yang digunakan adalah *optocoupler* U dengan model T. *Optocoupler* ini diletakkan diantara sisi piringan acrylic yang terdapat lubang lubang yang disediakan untuk melewati cahaya dari LED menuju *optocoupler*. Komponen ini merupakan kombinasi LED inframerah sebagai pemancar cahaya dan *photo diode* sebagai penerima cahaya. Gambar 4.8 menunjukkan konfigurasi pin dari *optocoupler*.



Gambar 1.8 Konfigurasi Pin Komponen *Optoswitch*

(Sumber : Slotted Optical Switch Datasheet:4)

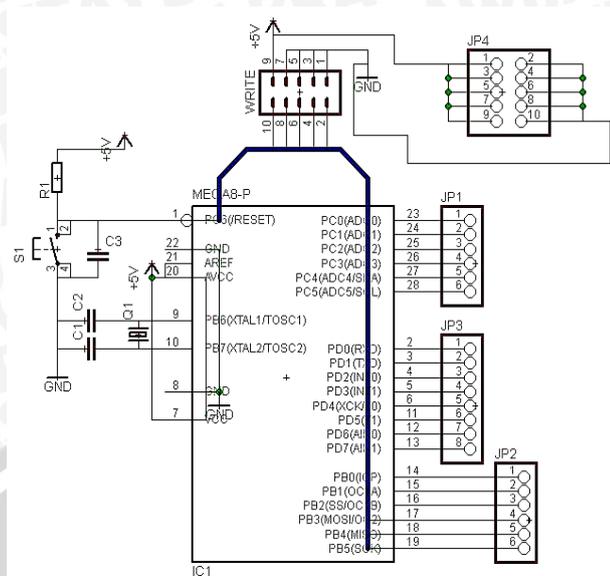
Hasil keluaran dari *octocoupler* belum bisa menghasilkan 5 V. Dimana kebutuhan dari mikrokontroler untuk berada dalam kondisi *high* adalah mendapat input berupa tegangan 5 V dari keluaran sensor. Sehingga dibutuhkan rangkaian OP AMP sebagai komparator. Rangkaian ini digunakan untuk mengambil nilai tengah dari keluaran yang telah dihasilkan oleh *octocoupler*. Apabila tegangan dari *octocoupler* lebih kecil dari 1,5 V, rangkaian komparator akan mengeluarkan tegangan berupa 0V. Dan apabila sensor menghasilkan tegangan lebih dari 1,5 V, maka rangkaian komparator akan mengeluarkan tegangan sebesar 5V. Sinyal keluaran dari rangkaian komparator inilah yang nantinya akan digunakan sebagai masukan dari mikrokontroler. Berikut merupakan gambar dari rangkaian OP AMP sebagai komparator.



Gambar 1.9 Rangkaian OP AMP Komparator

1.3.3 Rangkaian Mikrokontroler

Rangkaian mikrokontroler digunakan sebagai rangkaian pengontrol yang diisi program sesuai dengan kebutuhan sistem. Rangkaian mikrokontroler disini digunakan untuk mengatur input dari rangkaian *driver*. Sehingga *output* dari rangkaian *driver* dapat mengatur putaran motor DC magnet permanen sesuai dengan kebutuhan sistem. Rangkaian mikrokontroler ini terdapat IC mikrokontroler berjenis ATmega 8 sebagai unit pengontrol, serta komponen penunjang lain seperti *clock* eksternal, kapasitor, header, dan lain-lain sebagai penunjang ATmega 8 dalam bekerja. Rangkaian mikrokontroler dapat dilihat pada gambar 4.10.



Gambar 1.10 Rangkaian Mikrokontroler
(Sumber : ATmega8 Datasheet)

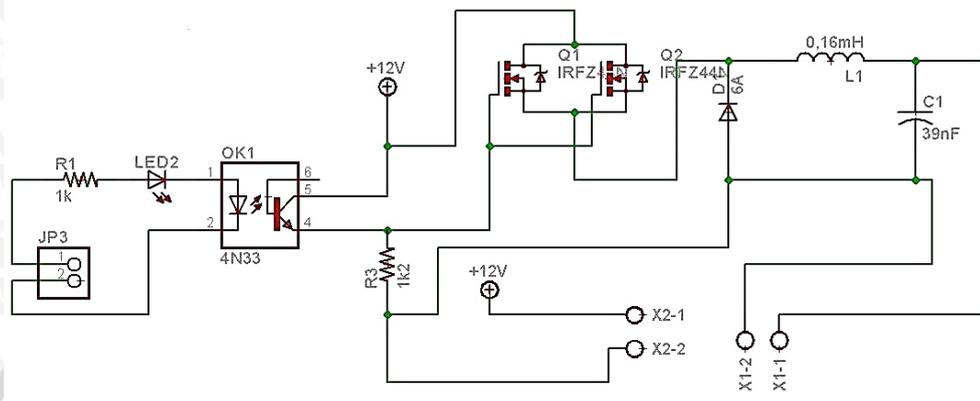
1.3.4 Rangkaian Driver Motor

Rangkaian *driver* motor merupakan suatu rangkaian yang berisi *optocoupler* sebagai pembatas arus dan *chopper* yang berfungsi untuk merubah sinyal DC to DC. Sehingga menjadi sinyal DC yang variabel. Komponen pada suatu rangkaian *chopper* itu sendiri terdiri dari MOSFET sebagai saklar elektronik, dioda *freewheel* untuk mengalirkan arus dari muatan yang tersimpan dari induktor, kapasitor untuk memperkecil *ripple* tegangan. Sistem pada rangkaian *driver* motor ini sengaja dibuat dengan rating tegangan dan arus yang cukup untuk dialiri tegangan dan arus yang lebih dari tegangan dan arus yang melewati rangkaian. Agar apabila terjadi tegangan dan arus berlebih, tidak merusak komponen dan perangkat yang ada pada sistem.

Optocoupler yang digunakan berjenis 4N33. Alasan pemilihan 4N33 adalah berdasarkan frekuensi yang dapat ditoleransi oleh perangkat sebesar 50kHz. Sedangkan frekuensi yang dipakai oleh sistem adalah 2 kHz. Komponen ini merupakan komponen mirip LED dan *photo diode* yang menjadi satu yang fungsinya sebagai pemisah daya kecil pada rangkaian mikrokontroler dan daya relatif besar pada rangkaian *driver* motor. Spesifikasi 4N33 yaitu :

- f_{max} : 50kHz.
- I_{Fmax} : 60mA
- V_F : 1,25 V
- I_{Cmax} : 125mA

- V_{CEsat} : 1 V
- CTR : 500%



Gambar 1.11 Rangkaian *Driver Motor*

Dari keluaran *optocoupler* digunakan untuk mengaktifkan rangkaian *chopper* agar sumber daya baterai dialirkan motor. Fungsi lain dari rangkaian ini adalah untuk memfasilitasi PWM (*Pulse Wide Modulation*) dari mikrokontroler. Untuk MOSFET yang dipakai adalah kanal N IRFZ44N sebagai komponen *switch* dengan pemicunya berupa tegangan keluaran pada *optocoupler*. Pemilihan MOSFET jenis ini berdasarkan arus dan tegangan maksimal yang mengalir pada rangkaian. Dimana tegangan maksimum dari rangkaian adalah sebesar 12 V dan arus maksimum yang dapat mengalir pada rangkaian adalah sebesar 4 A. Berikut spesifikasi IRFZ44N :

$V_{DS\ max}$: 55V
$I_{D\ max}$: 49A
$P_{total\ disipation}$: 110 W
$T_{Junction}$: 175°C
$R_{DS\ on\ max}$: 0,025Ω
$V_{GS\ max}$: 20V
$V_{GS\ threshold}$: 2V - 4V

Untuk MOSFET kanal N syarat agar komponen dalam kondisi *cut off* adalah ketika $V_{GS} < V_{GS\ threshold}$. Karena $V_{GS\ threshold}$ IRFZ44N = 3 V, maka V_{GS} yang digunakan harus kurang dari 3 V.

Untuk MOSFET kanal N syarat agar komponen dalam kondisi aktif saturasi adalah ketika $V_{GS} > V_{GS\ threshold}$, dan $V_{DS} > (V_{GS} - V_{GS\ threshold})$. Karena V_{DS} yang

digunakan adalah 12V, maka $V_{GS} < 15V$. Mengingat $V_{GSmax} = 20 V$, maka $3V < V_{GS} < 20V$.

Pada saat MOSFET dalam kondisi saturasi akan muncul suatu hambatan R_{DSon} antara pin *drain* dan *source* yang akan mengurangi tegangan keluaran yang digunakan sebagai tegangan masukan motor. Tegangan minimum yang bekerja pada motor ketika rotor berputar dengan PWM maksimum adalah

$$V_{motor} = V_{catu} - I_{minbeban} \cdot R_{DSonmax}$$

$$V_{motor} = 12 - 0,85 \cdot 25 \cdot 10^{-3}$$

$$V_{motor} = 12 - 0,02125$$

$$V_{motor} = 11,979V$$

Daya maksimum yang terbuang dalam MOSFET ketika rotor berputar adalah:

$$P_{LOSS} = I_{minbeban}^2 \cdot R_{DSon}$$

$$P_{LOSS} = 0,85^2 \cdot 25 \cdot 10^{-3}$$

$$P_{LOSS} = 0,01806W$$

Perhitungan diatas diasumsikan bahwa tidak ada komponen lain pada *chopper*, hal ini digunakan untuk menentukan nilai MOSFET agar mampu bekerja maksimum. Dari perhitungan di atas, dapat disimpulkan bahwa tegangan yang diinginkan sistem, tidak akan murni 100% sesuai dengan tegangan yang diinginkan. Dimana MOSFET yang ada dipasaran memiliki toleransi yang tinggi, sehingga menyebabkan rugi-rugi yang terbuang dari MOSFET tidak dapat dihindari.

Pada gambar 4.11 terlihat MOSFET dipararel menjadi 2 MOSFET. Hal ini disebabkan komponen pada rangkaian DC *chopper* menjadi beban, sehingga menghasilkan rugi daya yang lebih besar. Selain itu *starting* motor menghasilkan *ripple* tegangan yang besar dimana dapat menimbulkan rugi daya yang besar pula. Hal ini berhubungan dengan temperatur maksimal yang dapat ditoleransi oleh MOSFET sebesar 175° celcius akibat total daya disipasi yang dapat diterima MOSFET. Pada keadaan tegangan 12 V, dan rugi daya yang terjadi pada *chopper* dan *starting* motor, menyebabkan total daya menjadi lebih besar. Dengan kondisi tersebut ditambah dengan penyalaan yang relatif lama, menyebabkan temperatur pada MOSFET dapat melebihi suhu tersebut. Ditambah dengan kondisi MOSFET yang ada di pasaran memiliki kualitas yang buruk, walaupun kondisi temperatur MOSFET belum mencapai 175°, MOSFET tersebut telah melebihi ambang batas kemampuannya. Sehingga untuk

mencegah kerusakan pada MOSFET, dilakukan paralel MOSFET menjadi 2. Agar arus dapat terbagi menjadi 2 pada masing-masing MOSFET. Dengan terbaginya arus pada masing-masing MOSFET menjadi separuh nilai arus maksimalnya, MOSFET terhindar dari arus yang besar. Sehingga daya yang melewati MOSFET relatif lebih kecil dan temperaturnya pun menjadi lebih rendah, maka MOSFET memiliki peluang yang lebih kecil untuk rusak.

Untuk perhitungan nilai komponen lain didapatkan berdasarkan perhitungan dengan acuan nilai tegangan dan arus maksimum yang melewati komponen, sehingga didapat nilai yang sesuai dan ketahanan komponen apabila terjadi kerja pada tegangan dan arus maksimum. Besarnya induktansi, kapasitansi dan resistansi komponen didapat dengan acuan arus dan tegangan keluaran maksimum yang akan melewati komponen. Besarnya masing – masing komponen ditentukan dengan perhitungan berikut.

a. Besar Induktor yang dibutuhkan:

$$L_{min} = \frac{(1 - D_{max})^2 R_{max}}{2f}$$

$$L_{min} = \frac{(1 - 0,6)^2 \cdot 4}{2 \cdot 2000}$$

$$L_{min} = \frac{(0,4)^2 \cdot 4}{4000}$$

$$L_{min} = 0,16 \text{ mH}$$

b. Untuk mendesain kapasitor dengan *ripple* tegangan tidak lebih dari 5%, maka:

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = 0,05$$

Nilai kapasitor (C) dapat dilihat pada persamaan berikut :

$$C = \frac{1 - D_{min}}{8 \cdot L \cdot \frac{\Delta V_o}{V_o} \cdot f^2} = \frac{1 - 0,6}{8 (0,16 \times 10^{-3}) (0,05) (20000)^2} = 39 \text{ nF}$$

Tegangan rata-rata yang melewati kapasitor (C) :

$$V_C = V_{in} + V_{out} = 12 + 7,2 = 19,2 \text{ Volt}$$

c. Dalam pemilihan dioda dipilih dioda *Schottky* karena dioda jenis ini memiliki tegangan bias maju yang rendah dan memiliki *reverse recovery time* yang cepat. Pada saat kondisi dioda OFF, maka *recurrent peak reverse voltage* tegangan *reverse* (V_{RRM}) dioda sama dengan tegangan rata-rata kapasitor (C), yaitu $V_C = V_{RRM} = 19,2$ volt. Agar aman, tegangan *reverse* dioda ditambah 30% menjadi 26,88 volt. Rata-rata arus bias maju dioda adalah penjumlahan

dari arus masukan dan arus keluaran saat MOSFET OFF, maka $I_D = 4$ A. Agar aman, rata-rata arus maju (I_F) dioda ditambah 30% menjadi 6A.

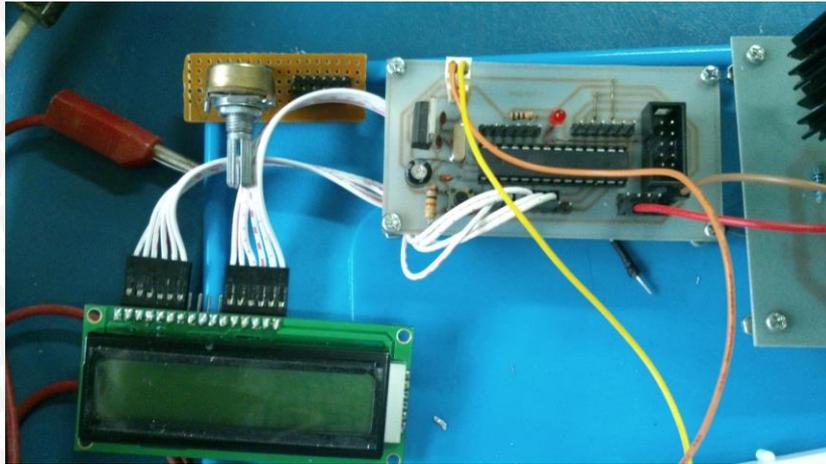
Dari hasil keluaran *chopper*, didapatkan tegangan yang variabel dengan besarnya *duty cycle* tiap persennya yang telah diatur oleh mikrokontroler. Dimana tegangan keluaran *chopper* telah dinyatakan dalam persamaan 2.21. Tegangan ini yang nantinya digunakan sebagai tegangan masukan motor dengan step tegangan yang bervariasi sesuai dengan hasil baca sensor rotari.

1.4 Perangkaian Elektrikal

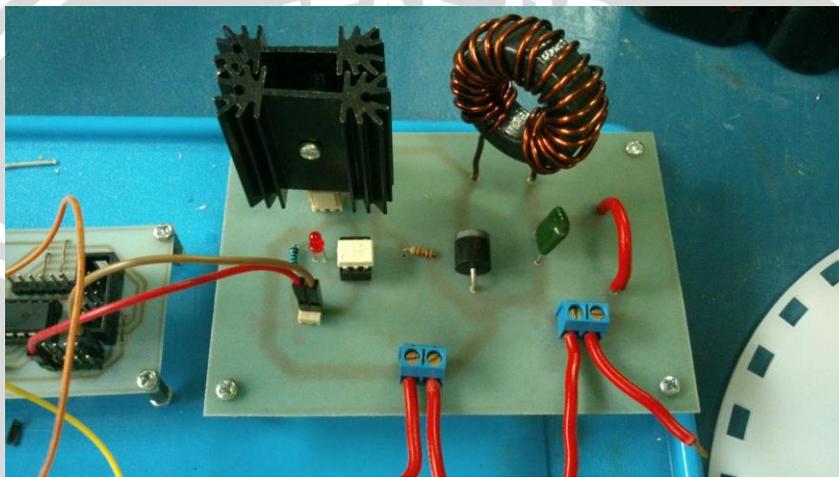
Setelah melakukan perancangan pada semua rangkaian elektrik meliputi rangkaian catu daya, sensor, mikrokontroler, *driver* motor, serta DC *chopper*, berikutnya adalah melakukan pembuatan semua rangkaian tersebut secara sistematis sehingga mendapatkan keluaran yang sesuai dengan sistem yang diinginkan. Kegiatan ini dilakukan secara nyata dengan menggunakan alat seperti solder, timah, *project board*, komponen elektrik, dan lain – lain. Dimana dimulai dari menggambar single line diagram pada software, pencetakan pada *board*, penyolderan pada masing-masing komponen, dan penyambungan pada masing-masing komponen sehingga sistem elektrik dapat terlengkapi sesuai rancangan. Dalam pengerjaannya diperlukan ketelitian, terutama pada saat penyolderan komponen pada jalur rangkaiannya. Apabila terjadi kesalahan hubung antar komponen akan merusak sistem, dan dapat merusak komponen lain karena polaritas yang keliru serta sebab-sebab lain yang dapat menyebabkan kegagalan sistem elektrik. Berikut merupakan gambar dari rangkaian yang telah dibuat.



Gambar 1.12 Rangkaian Catu Daya, Sensor, dan OP AMP Komparator



Gambar 1.13 Rangkaian Mikrokontroler



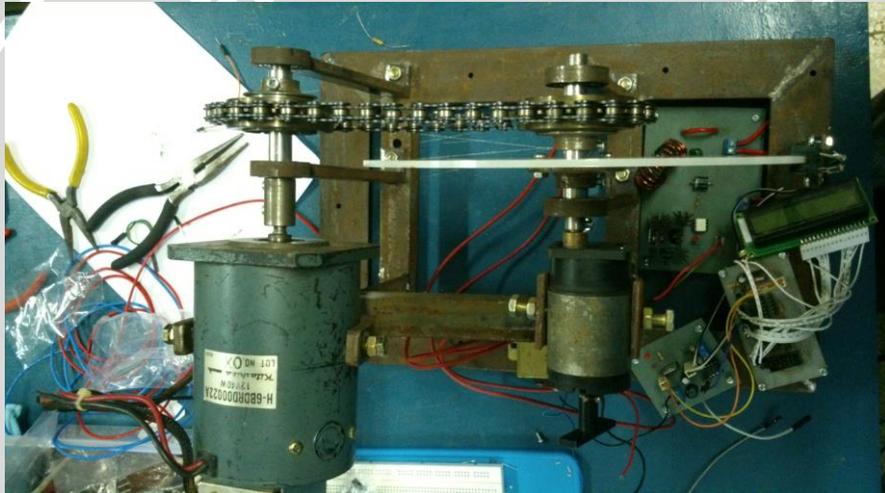
Gambar 1.14 Rangkaian Driver Motor dan DC Chopper

1.5 Pembuatan Mekanikal

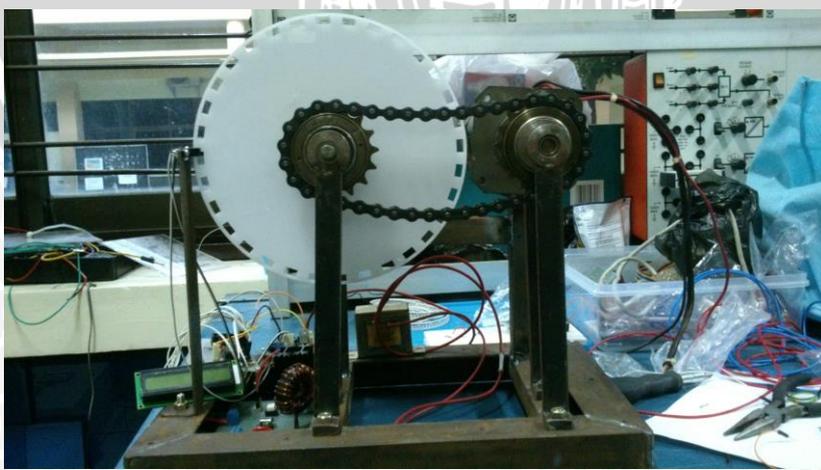
Pembuatan mekanik ini dilakukan sama halnya dengan pembuatan elektrik. Yaitu dilakukan secara nyata. Pembuatan mekanik yang dilakukan meliputi piringan sensor, rangka penyangga sensor, motor utama, serta motor penggerak sensor sebagai asumsi dari putaran roda. Peletakan masing-masing perangkat sangat mempengaruhi dalam pengujian, sehingga dilakukan beberapa kali perubahan sehingga mendapatkan *setting* yang sesuai untuk menjalankan sistem dan melakukan pengujian dengan baik. Berikut merupakan gambar – gambar dari hasil pembuatan mekanik.



Gambar 1.15 Rangkaian Sensor Rotari



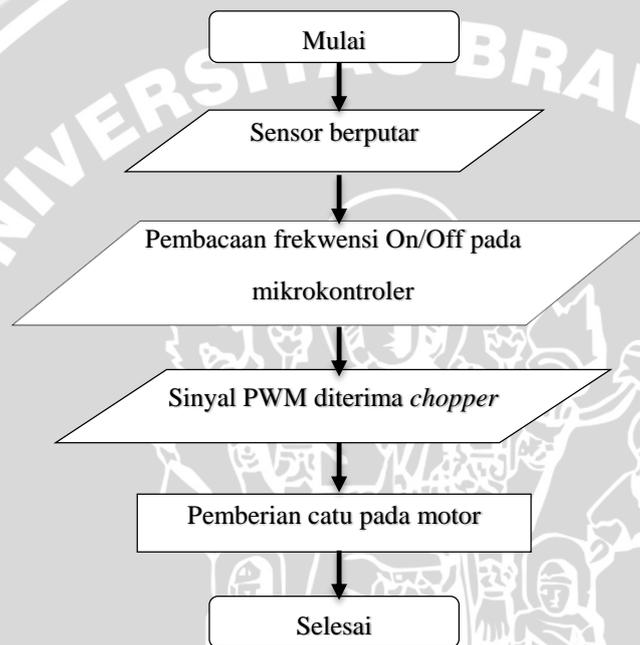
Gambar 1.16 Gambar Mekanik Tampak Atas



Gambar 1.17 Gambar Mekanik Tampak Samping

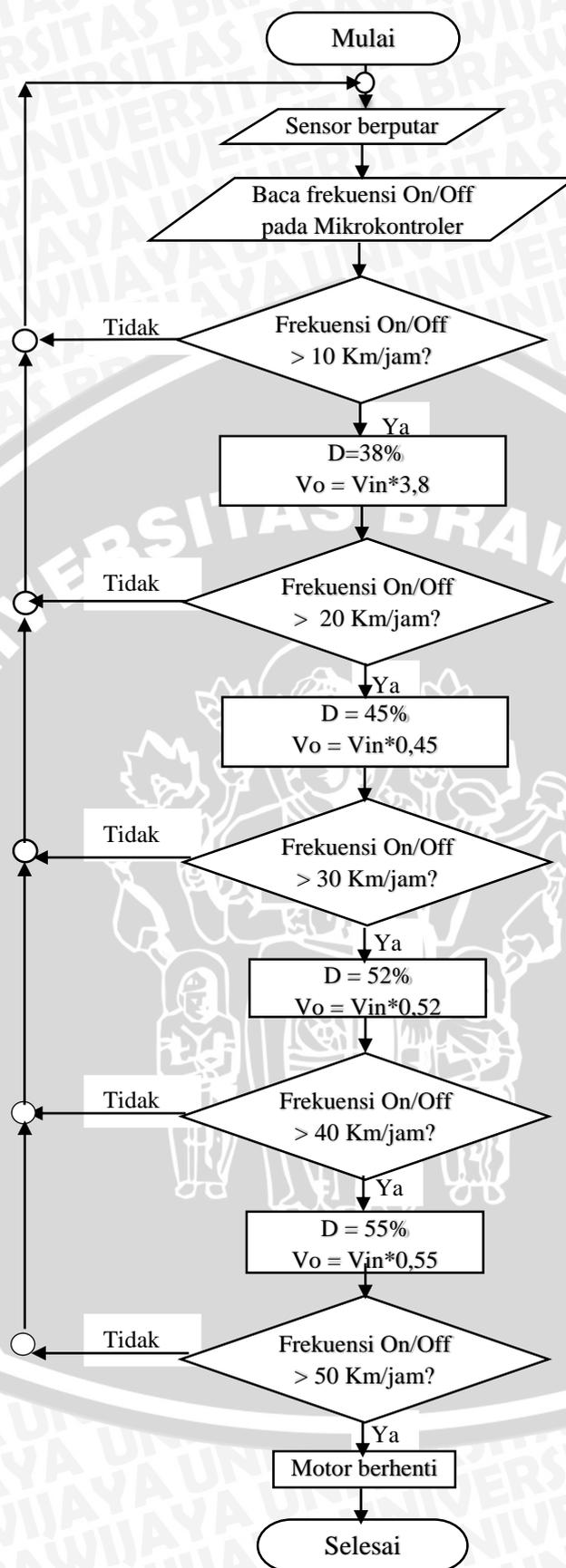
1.6 Perancangan Software

Software disini adalah sebagai jalan pikiran dari sistem. Dimana dari sistem mekanik dan elektrik yang saling terintegrasi perlu diatur kerja sistemnya agar keluaran yang dihasilkan sesuai dengan yang diinginkan. Fungsi *software* dalam sistem ini sendiri adalah memprogram mikrokontroler agar dapat mengatur sinyal keluaran dari sensor rotari agar dapat diolah pada rangkaian *driver* motor dan dapat ditanggapi oleh motor sesuai dengan perencanaannya. Sebelum memasuki *software*, diagram alir sistem kerja alat dirancang terlebih dahulu agar pada pembuatan *software* relatif lebih mudah dan berurutan.



Gambar 1.18 Diagram Alir Urutan Kerja Sistem Secara Umum

Gambar 4.19 merupakan diagram yang menunjukkan urutan sistem dalam menggerakkan motor secara variabel. Dimana keluaran sensor menunjukkan frekwensi dari On/Off dari sensor itu sendiri. Setelah itu mikrokontroler akan mengatur lebar pulsa dari keluaran sensor untuk diteruskan ke rangkaian driver motor sesuai dengan program yang dirancang. Keluaran dari mikrokontroler ini selanjutnya akan diproses di rangkaian motor *driver*, dan selanjutnya keluaran dari rangkaian dari *driver* motor itu digunakan sebagai masukan dari motor untuk berputar secara variabel. Gambar 4.20 berikut ini adalah diagram alir proses kerja sistem sampai pada keluaran *driver* motor yang digunakan motor DC magnet permanen sebagai masukan.



Gambar 1.19 Diagram Alir Pembacaan Frekuensi Dan Penambahan *Duty Cycle* Sistem

Sewaktu motor simulasi pengganti roda berputar, sensor rotari ikut berputar dengan kecepatan sesuai dengan kecepatan motor. Dari sensor rotari tersebut, terbaca

frekuensi on/off, sehingga dapat digunakan sebagai masukan dari mikrokontroler. Frekuensi tersebut dibaca oleh mikrokontroler sebagai referensi berapa besar *duty cycle* yang harus dihasilkan. Pada sistem ini, motor DC 12 V berputar apabila kondisi putaran sensor telah mencapai 10 km/jam. Jika kecepatan putar motor yang mereferensikan putaran roda mencapai 10 km/jam (56 on/off), maka mikrokontroler mengatur keluaran berupa *duty cycle* sebesar 38%. Itu merupakan titik awal motor bekerja. Setelah mencapai kecepatan 10 km/jam, sistem kembali membaca jumlah frekuensi on/off dari sensor. Apabila kecepatan sensor tidak mencapai 10 km/jam atau mencapai 56 on/off, maka sistem kembali ke awal, yaitu membaca jumlah frekuensi on/off sensor. Apabila rentang kecepatan telah melebihi 20 km/jam, maka *duty cycle* yang diizinkan adalah sebesar 45%. Dan berkelanjutan hingga rentang kecepatan 10 km/jam – 15 km/jam, maka *duty cycle* 80%. Apabila kecepatan tidak mencapai kondisi – kondisi tersebut, sistem tetap berulang kembali ke pembacaan putaran pertama kali. Apabila sensor telah berhenti berputar atau melebihi kecepatan 50 km/jam maka sistem selesai dan motor berhenti berputar.

1.7 Pembuatan Software

Pembuatan program dilakukan dengan *software* CVAVR pada komputer yang kemudian disimpan dalam bentuk *file hex* dan di masukkan pada mikrokontroler ATmega 8 dengan sebuah *driver*. Isi dari program merupakan bahasa pemrograman dalam bentuk bahasa C yang pembuatannya dilakukan setelah rancangan struktur mekanik maupun elektrik selesai dibuat dan diuji satu per satu bagian hingga siap untuk diprogram. Oleh karena itu pembuatan *software* dilakukan di akhir pengujian sehingga sistem dapat diuji secara keseluruhan.