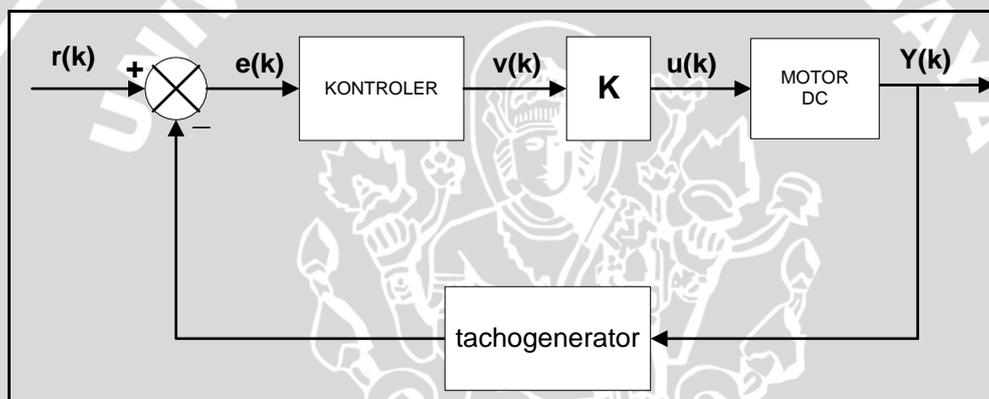


BAB III PERANCANGAN

Kajian pada bab ini adalah perancangan tiap bagian sistem bertujuan untuk memberikan gambaran perancangan perangkat keras dan perangkat lunak. Sebelum perancangan secara keseluruhan maka dilakukan pengujian karakteristik dari tiap tiap perangkat keras. Untuk perancangan perangkat lunak meliputi kontrol digital dan *flowchart* program.

3.1. Perencanaan Sistem

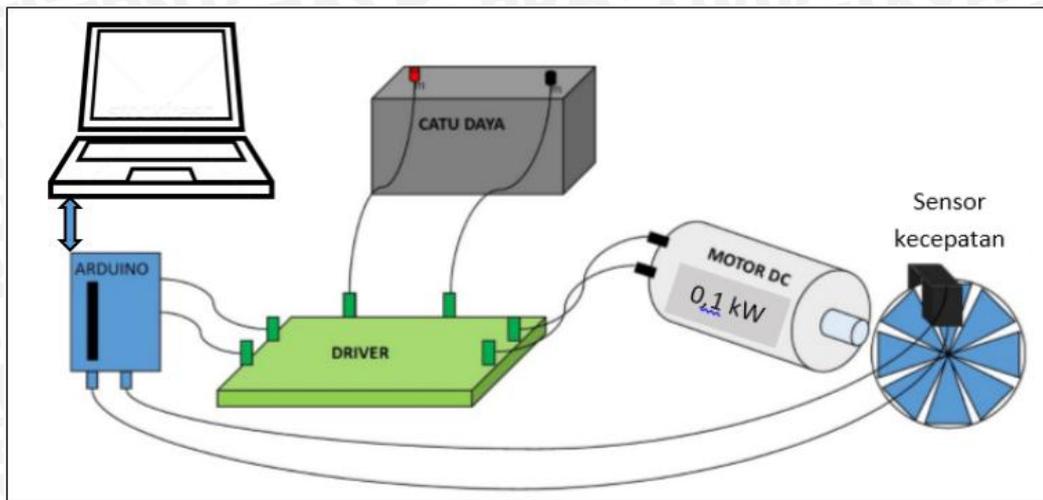


Gambar 3.1 Blok Diagram dengan Plant Motor DC

Sinyal referensi r merupakan masukan sistem. Masukan referensi kemudian dibandingkan dengan keluaran plant motor DC $y(k)$ berupa kecepatan yang diukur dengan tachogenerator. Selisih sinyal umpan balik $y(k)$ dengan sinyal masukan $r(k)$ menghasilkan sinyal *error* $e(k)$.

Sinyal $e(k)$ digunakan rangkaian kontroler untuk menghasilkan sinyal kontrol $v(k)$. kemudian dikuatkan oleh rangkaian penguat K , sinyal $v(k)$ masuk kedalam driver dan menjadi sinyal $u(k)$, sinyal $u(k)$ merupakan tegangan jangkar untuk menggerakkan motor DC. Keluaran dari motor DC sinyal $y(k)$ diumpan balikkan ke tachogenerator.

Pengaturan kecepatan motor DC dilakukan secara *on-line* melalui komputer (gambar 3.2). Untuk itu diperlukan komputer dan perangkat lunak berupa bahasa pemrograman.



Gambar 3.2 Skema Perancangan Alat

3.2 Perancangan Kontrol

- **Perancangan Kontrol Analog**

Untuk perancangan perangkat lunak harus mencari fungsi alih plant terlebih dahulu (motor DC) dan melakukan perhitungan untuk mendapatkan parameter awal kontroler PI (K_p dan K_i). Setelah mendapatkan parameter kontroler PI, maka kontroler analog dirancang dan dijalankan. Respon dari kontroler analog adalah respon kontinu (domain S). Respon ini akan dibandingkan dengan respon dari kontroler digital.

- **Perancangan Kontrol Digital**

Perancangan Kontrol digital dirancang setelah mendapatkan fungsi alih plant dan parameter K_p dan K_i . Manipulasi kawasan frekuensi (s) menjadi kawasan diskrit (z) hingga didapatkan persamaan beda dari ketiga metode pendiskritan, setelah itu dimasukkan secara bergantian kedalam program mikrokontroler sebagai fungsi kontroler hingga bisa dijalankan. Keluaran respon adalah sinyal diskrit yang akan di analisis dengan respon kontinu.

3.3 Penentuan Parameter Parameter Motor DC

Untuk pemodelan plant motor DC digunakan metode matematis sehingga dibutuhkan parameter parameter motor DC. Spesifikasi motor DC bisa diketahui melalui *name plate* yang tertera pada motor DC yaitu:

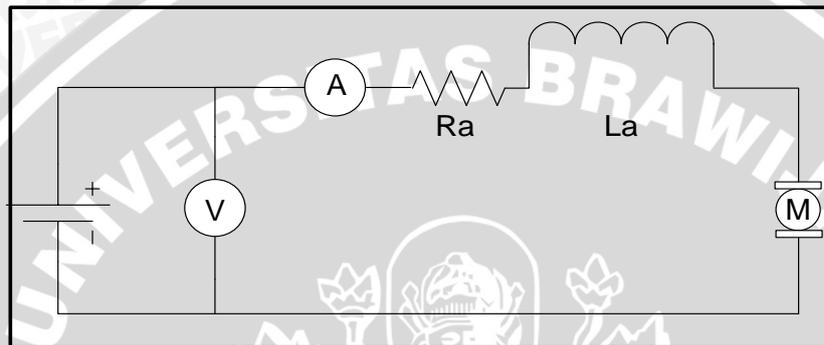
- Daya : 0,1 KW
- Arus jangkar : 0,63 A
- Arus medan nominal : 0,08 A
- Tegangan jangkar nominal : 220 V

- Tegangan medan nominal : 220 V
- Kecepatan nominal : 2000 rpm

Penentuan parameter motor DC yang lainnya dihitung berdasarkan data data pengukuran di Laboratorium sistem pengaturan. Parameter parameter tersebut adalah : R_a (tahanan jangkar), L_a (induktansi jangkar), J (momen inersia), berat rotor, dan diameter rotor.

3.3.1 Nilai R_a (tahanan jangkar)

Rangkaian pengukuran tahanan jangkar ditunjukkan dalam gambar 4.2.



Gambar 3.3 Rangkaian Pengukuran Tahanan Jangkar

Dari hasil pengukuran diperoleh data seperti berikut

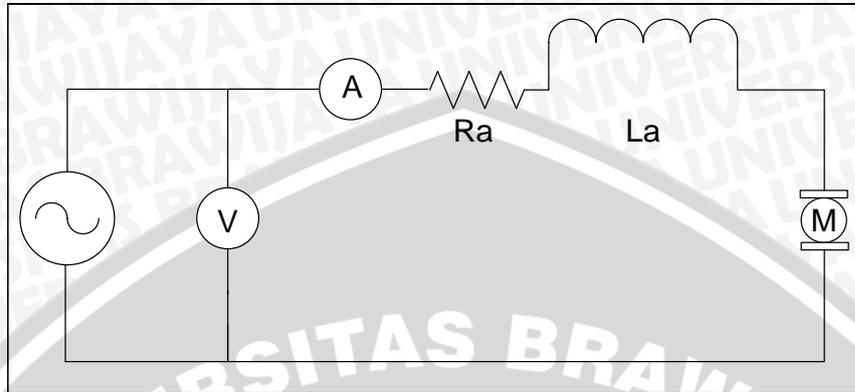
Tabel 3.1. Hasil Pengukuran dan Perhitungan Tahanan Jangkar

NO	V (volt)	Ia (mili ampere)	R (ohm)
1.	5,4	100,3	53,84
2.	8,2	150,7	54,41
3.	10,9	200,4	54,39
4.	13,6	250,8	54,23
5.	16,3	300,1	54,32

Dari tabel 3.1 didapatkan nilai rata rata tahanan jangkar sebesar 54,24 ohm.

3.3.2 Pengukuran Induktansi Jangkar

Rangkaian pengukuran induktansi jangkar ditunjukkan dalam gambar 4.3



Gambar 3.4 Rangkaian Pengukuran Induktansi Jangkar

Dari hasil pengukuran diperoleh data seperti pada tabel

Tabel 3.2. Hasil Pengukuran dan Perhitungan Induktansi Jangkar

NO	V (volt)	Ia (mili ampere)	Z(ohm)
1.	1	4,9	204,08
2.	2	8,7	229,89
3.	3	12,4	241,94
4.	4	15,8	253,16
5.	5	19,4	257,73

Dari tabel 3.2 maka diperoleh nilai Z rata rata sebesar 237,36 ohm.

Berdasarkan persamaan : $Z^2 = Ra^2 + \omega La^2$ maka dapat dihitung nilai La dengan cara sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\omega La &= \sqrt{z^2 - Ra^2} \\ &= \sqrt{237,36^2 - 54,24^2} \\ &= 231,08\end{aligned}$$

Sedangkan $\omega La = 2 \times \pi \times f \times La$, sehingga diperoleh nilai

$$La = \frac{231,08}{2 \times \pi \times 50} = 0,7355H$$

3.3.3 Pengukuran Nilai Momen Inersia

Untuk menentukan nilai momen inersia maka perlu diketahui diameter rotor dan berat rotor. Melalui pengukuran berat rotor = 0,9152 kg sedangkan diameter rotor yaitu 5cm.

Momen inersia dan beban tetap J dapat didekati dengan mengasumsikan poros dan rotor adalah benda pejal berbentuk silinder sehingga:

$$J = 0,5 \times \text{berat rotor} \times \text{jari jari rotor}^2$$

$$= 0,5 \times 0,9152 \times 0,025^2$$

$$= 2,86 \cdot 10^{-4} \text{ kg.m}^2$$

3.4 Pemodelan Motor DC

Dalam perancangan sistem kontrol perlu diketahui model plant yang akan diatur. Pengontrolan kecepatan motor DC dilakukan dengan cara mengatur tegangan jangkar sedangkan tegangan medan dibuat konstan.

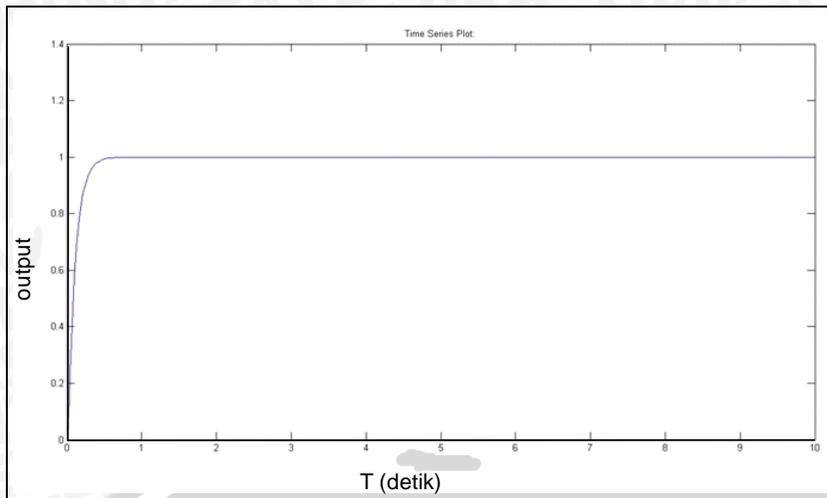
Untuk persamaan model motor DC diperoleh fungsi alih sebagai berikut :

$$\Omega(s) = \frac{bVa(s)}{T_{mn}s(T_a s + 1) + b^2} \quad (3.1)$$

Setelah memperoleh data dari hasil pengukuran, maka parameter tersebut dimasukkan kedalam persamaan 4.1

$$\begin{aligned} \Omega(s) &= \frac{Va(s)}{0,1136s(0,014s + 1) + 1^2} \\ &= \frac{Va(s)}{1,59 \cdot 10^{-3}s^2 + 0,1136s + 1} \\ &= \frac{628,93 Va(s)}{s^2 + 71,45s + 628,93} \end{aligned} \quad (3.2)$$

Respon masukan dengan input unit step ditunjukkan dalam gambar 3.5



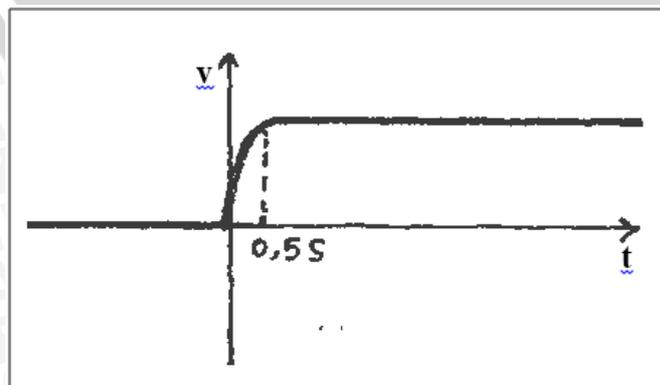
Gambar 3.5 Respon Transien Model Motor DC terhadap Masukkan Unit step

Pole pada persamaan model motor DC $s_1 = -10,28$ dan $s_2 = -61,17$. Fungsi alih model motor DC akan stabil jika pole terletak disebelah kiri sumbu khayal pada bidang s . dari hasil pole tersebut maka fungsi alih model motor DC adalah stabil.

3.5 Validasi Model Motor DC

Motor DC pada model harus diuji dengan motor DC yang sesungguhnya untuk mengetahui hasil pengukuran apakah sudah sesuai dengan motor DC yang digunakan dalam implementasinya. Validasi ada dua macam yaitu dengan mengamati karakteristik statis dan karakteristik dinamis.

Validasi karakteristik dinamis dilakukan dengan cara mengamati keluaran plant sebagai fungsi waktu. Bisa dilakukan dengan cara memberi masukan unit step pada motor DC penguatan terpisah pengaturan jangkar dengan daya 0,1 kW yang digunakan di laboratorium Sistem pengaturan. Keluaran tachogenerator diamati menggunakan plotter.



Gambar 3.6 keluaran dari Motor DC dengan Masukkan Unit Step

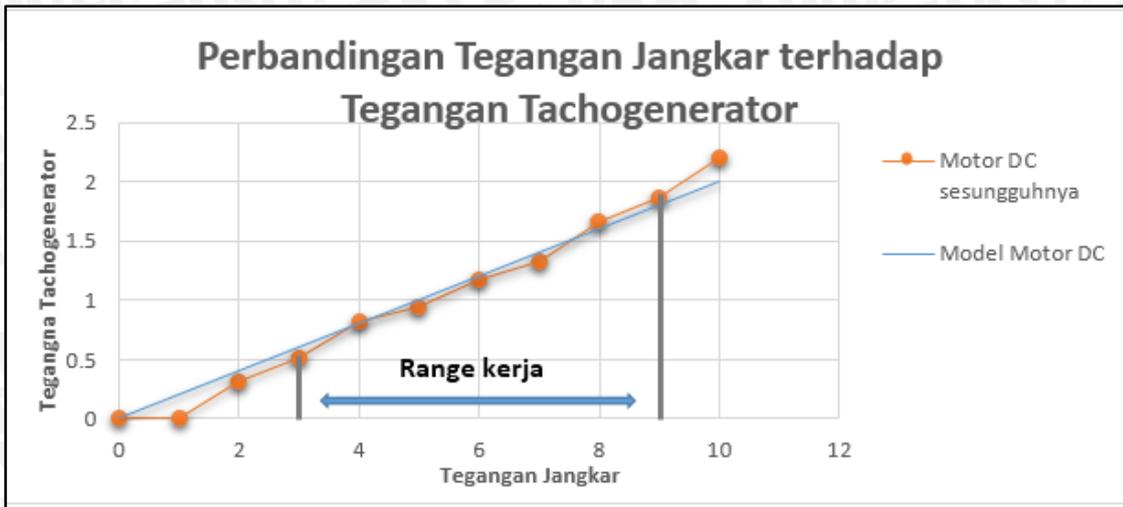
Gambar 3.6 menunjukkan keluaran pada motor DC, waktu keadaan tunaknya adalah 0,5 detik. Sedangkan pemodelan motor DC juga memerlukan waktu 0,5 detik untuk mencapai keadaan tunak seperti yang ditunjukkan dalam gambar 3.5.

Cara memvalidasi karakteristik statis dengan melihat perbandingan tegangan jangkar terhadap putaran motor DC antara model dengan motor DC sesungguhnya. Perbandingan dari hasil pengukuran model dan motor DC sesungguhnya dapat dilihat dalam tabel 3.3

Tabel 3.3 Perbandingan antara Tegangan Jangkar terhadap Tegangan Tachogenerator Pada Motor DC

Tegangan Jangkar	Tegangan tacho Pada model Motor DC	Tegangan tacho pada motor DC sesungguhnya	Persentase kesalahan
0	0	0	0%
1	0,2	0,002	99%
2	0,4	0,31	22,5%
3	0,6	0,52	13,33%
4	0,8	0,82	2,5%
5	1,0	0,95	5%
6	1,2	1,18	1,66%
7	1,4	1,33	5%
8	1,6	1,67	4,375%
9	1,8	1,87	3,88%
10	2,0	2,2	10%

Dari Tabel 3.3 didapatkan grafik antara tegangan jangkar Motor DC terhadap tegangan pada tachogenerator sebagai berikut:



Gambar 3.7 Perbandingan Tegangan Jangkar terhadap Tegangan Tachogenerator pada Motor DC

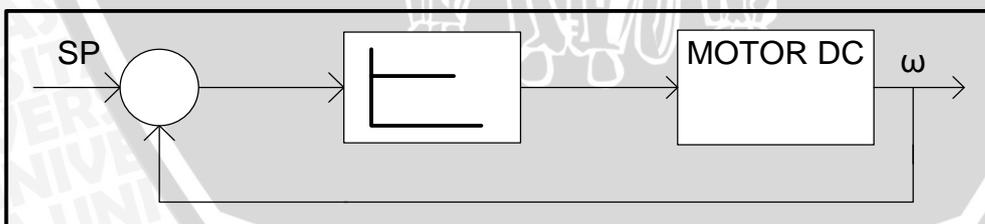
Gambar 3.7 menunjukkan bahwa motor DC bekerja dengan baik pada range tegangan jangkar antara 3,5 volt sampai 8,5 volt. Sedangkan persentase kesalahan pada tegangan jangkar 1 volt yang mencapai 99% disebabkan karena motor DC belum berputar pada tegangan tersebut sehingga keluaran tachogenerator kecil.

(Vianti 1999)

3.6 Perancangan Kontroler PI

Kontroler PI dirancang untuk mengontrol kecepatan motor DC, sehingga sistem bisa bekerja sesuai dengan nilai yang diinginkan. Untuk mencari nilai dari PI, menggunakan model fungsi alih dari motor.

Pertama untuk mencari parameter kontroler PI menggunakan metode kontroler *direct*.



Gambar 3.8 Blok Diagram Loop Tertutup Motor DC

Berikut ini adalah perhitungan *direct* dari fungsi alih untuk mencari parameter kontroler PI sebagai berikut:

Setelah melakukan uji fisik pada motor maka diperoleh fungsi alih seperti pada persamaan

4-2

$$\frac{\omega}{Va} = \frac{628,93}{s^2 + 71,45s + 628,93} \quad (3.3)$$

Persamaan fungsi alih motor kedalam persamaan 4-

$$\frac{V}{(T_1s + 1)(T_2s + 1)} \quad (3.4)$$

$$\begin{aligned} \frac{\omega}{Va} &= \frac{628,93}{(s + 61,1679)(s + 10,282)} \\ &= \frac{628,93}{(61,1679)(10,282) \left[\frac{1}{61,1679}s + 1 \right] \left[\frac{1}{10,282}s + 1 \right]} \end{aligned}$$

Maka didapatkan nilai T1 dan T2 sebagai berikut ;

$$Va = \frac{628,93}{(61,1679s + 1)(10,282s + 1)}$$

Niali T1 dan T2 masing masing didapatkan dari koefisien s. Nilai T terbesar digunakan untuk perhitungan selanjutnya. Nilai T1 kemudian diasumsikan menjadi Ti

$$Ti = 0,09726$$

$$T2 = 0,01635$$

diasumsikan bahwa nilai *time integral* (Ti) untuk kontroler PI sama dengan T1

$$\frac{Ki}{s} = \frac{1}{\left(\frac{1}{10,282}s + 1 \right) ki} \quad (3.5)$$

Nilai D atau redaman didapatkan dari persamaan sebagai berikut:

$$D = \frac{\alpha}{\beta} \quad (3.6)$$

Nilai α dan β didapatkan dari fungsi close loop persamaan 4.7 sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Fcl &= \frac{Ki}{s(0,09726s + 1)ki} \\ &= \frac{Ki}{0,09726s^2 + s + ki} \end{aligned} \quad (3.7)$$

Membagi penyebut dengan 0,09726 kemudian didapatkan perhitungan sebagai berikut:

$$\frac{\frac{Ki}{0,09726}}{s^2 + \frac{1}{0,09726}s + \frac{Ki}{0,09726}} \quad (3.8)$$

Dengan persamaan fungsi close loop tersebut maka nilai α dan β dapat diperoleh:

$$2\alpha = \frac{1}{0,09726}$$

$$\alpha = 0,19452$$

$$\beta = \sqrt{\frac{K_i}{0,09726}} \quad (3.9)$$

Nilai α dan β digunakan untuk mendapatkan nilai D persamaan(4) dengan nilai D diasumsikan sebagai 1:

$$D = \frac{1}{\frac{0,19452}{\sqrt{\frac{K_i}{0,09726}}}}$$

$$1 = \frac{5,1408}{\sqrt{\frac{K_i}{0,09726}}}$$

Dari perhitungan tersebut, mangasumsikan bahwa nilai D menjadi 1, maka nilai K_i dapat diperoleh:

$$\frac{K_i}{0,09726} = (5,1408)^2$$

$$K_i = 2,57$$

$$K_p = 2,57 \times 0,09726 = 0,2499$$

3.7 Modul Arduino Mega 2560

Pada sistem pengendalian kecepatan motor DC ini digunakan Arduino Mega 2560 sebagai pengolah data. Modul arduino dikendalikan komputer melalui port masukan/keluaran. Arduino mega memiliki 54 pin, pin yang digunakan dalam percobaan ini dapat dilihat pada tabel 3.4

Tabel 3.4 Penggunaan Pin pada Arduino Mega

No	Pin	Fungsi
1.	A0	Analog read/ input sensor
2.	Pin5	Output pwm/ sinyal kontrol
3.	gnd	Jalur ground
4.	5 v	Jalur masukkan 5 volt

3.8 Pembaca Data ADC

Pembaca data ADC berfungsi membaca data biner yang dikeluarkan dan mengubahnya menjadi nilai tegangan yang sesuai dengan tegangan masukkan ADC.

Tegangan dari tachogenerator digunakan sebagai sinyal umpan balik kecepatan. Tegangan maksimal input pada arduino adalah 5 volt, keluaran tegangan tachogenerator adalah 1 volt

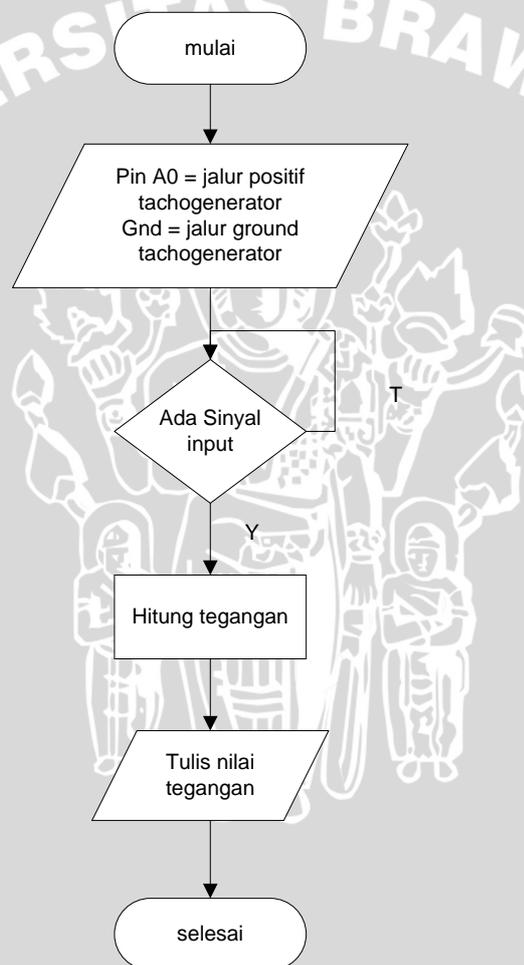
per 1000rpm, dan kecepatan nominal pada motor DC adalah 2000 sehingga keluaran tachogenerator tidak akan melebihi 5 volt.

Pada arduino bit yang digunakan adalah 8 bit sehingga diperlukan persamaan pengubah keluaran ADC berupa bilangan biner menjadi nilai tegangan yang sesuai masukkan ADC.

$$V = \text{nilai sensor} \frac{5}{1023}$$

V= tegangan yang dikeluarkan sinyal kontrol

Diagram alir proses ADC ditunjukkan dalam gambar 3.9



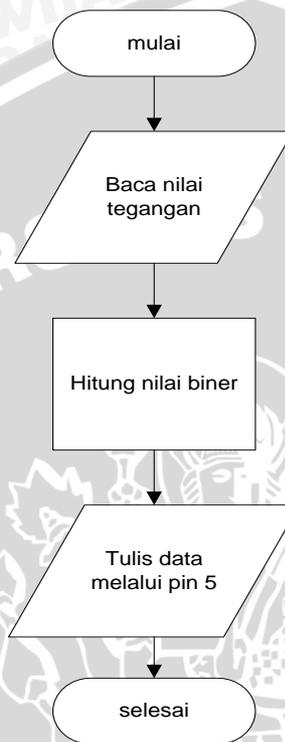
Gambar 3.9 Diagram Alir Proses ADC

Periode ini berlangsung setiap periode pencuplikan.

3.9 Pengiriman Data

Bagian pengiriman data mengeluarkan nilai tegangan sesuai dengan perubahan nilai kesalahan sinyal kontrol yang akan diumpun balikkan ke motor DC sebagai penggerak. Pin yang digunakan adalah pin 5 sebagai output pwm dengan tegangan maksimum adalah 5 volt

Diagram alir proses pengiriman sinyal ditunjukkan dalam gambar 3.10



Gambar 3.10 Diagram Alir Proses Pengiriman

3.10 Pengujian Karakteristik Perangkat Keras

Pengujian dilakukan untuk mengetahui respon dari tiap blok, kemudian dilakukan uji keseluruhan untuk mendapatkan hasil dari perancangan sistem

3.10.1 Pengujian Rangkaian Penguat

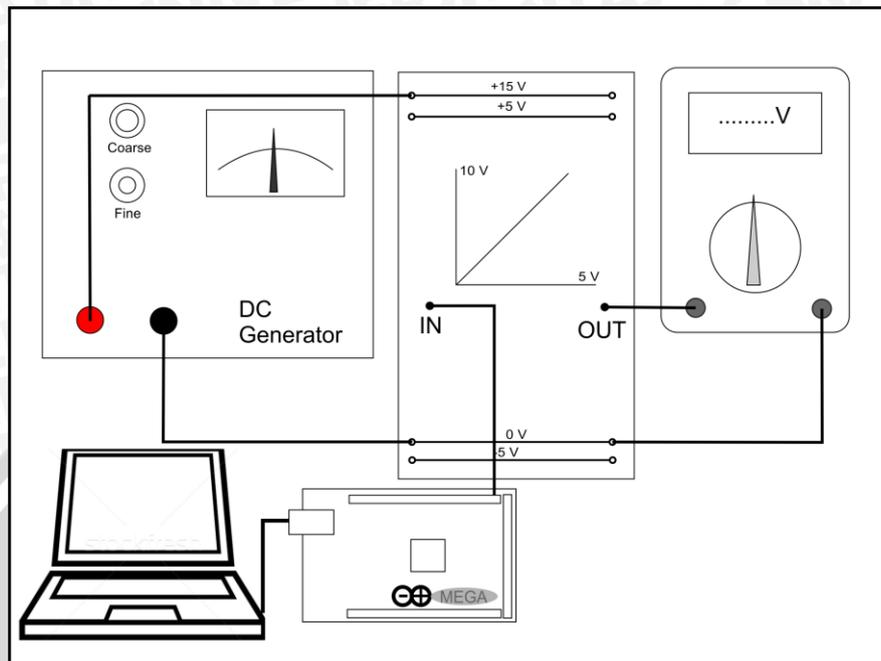
Rangkaian penguat ini tersusun dari komponen LM358p sebagai op-amp yang berfungsi untuk menguatkan keluaran dari arduino mega 2560 dari 0 volt sampai 5 volt menjadi 0 volt samai 10 volt. Tegangan ini digunakan untuk catu daya final control element. Tujuan pengujian ini untuk mengetahui rangkaian penguat sesuai dengan fungsinya.

Langkah langkah pengujian :

1. Menghubungkan rangkaian penguat dengan catu daya DC 15 Volt.
2. Menghubungkan pin arduino mega kedalam masukkan rangkaian penguat.
3. Menghubungkan keluaran rangkain penguat dengan multimeter digital.

4. Mengamati dan mencatat keluaran tegangan rangkaian ini pada multimeter digital.

Rangkaian lengkap pengujian penguat tegangan dapat dilihat dalam gambar 3.11



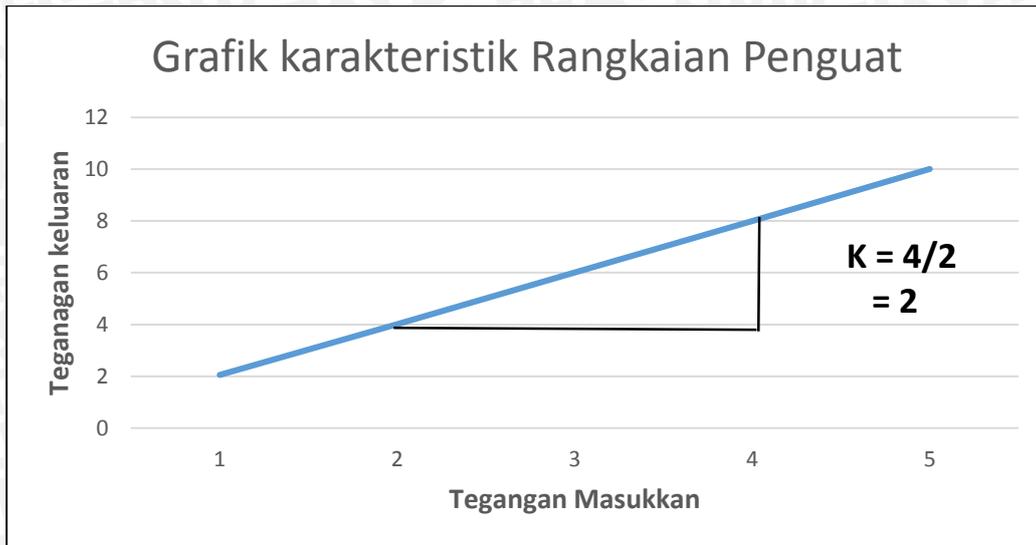
Gambar 3.11 Pengujian Rangkaian Penguat

Data hasil pegujian terdapat dalam 3.5

Tabel 3.5 Data Hasil Pengujian Rangkaian Penguat

Tegangan masukan (volt)	Tegangan Keluaran (volt)	Presentase Kesalahan
1,03	2,06	0%
2,01	4,02	0%
2,99	6,01	0,33%
4,00	8,00	0%
5,00	10,00	0%

Dari tabel didapatkan grafik karakteristik rangkaian penguat sebagai berikut:



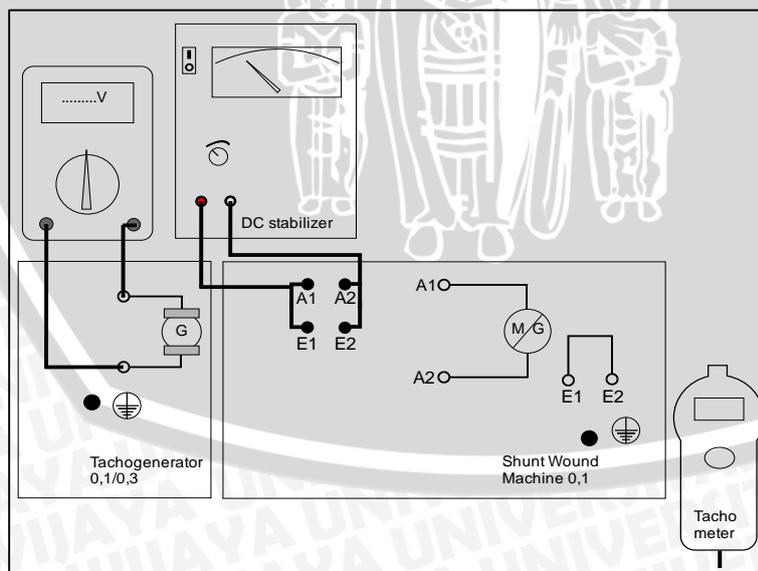
Gambar 3.12 Karakteristik Rangkaian Penguat

Dari hasil pengujian rangkaian penguat didapatkan penyimpangan sebesar 0,33%. Sehingga rangkaian penguat ini bisa berfungsi dengan baik, yaitu mengalikan tegangan menjadi dua kali lipat tegangan masukannya.

3.10.2 Pengujian Karakteristik Tegangan Tachogenerator Terhadap Kecepatan Putaran Motor

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan kecepatan motor DC terhadap tegangan ekuivalen yang dikeluarkan oleh tachogenerator. Langkah pengujian :

1. Rangkaian disusun seperti gambar 3.13



Gambar 3.13 Rangkaian Pengujian Tachogenerator

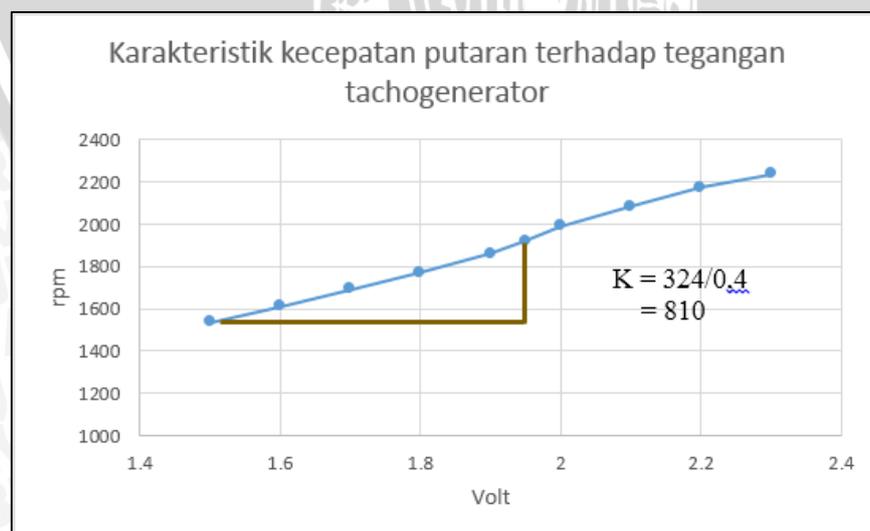
2. Tegangan jangkar diubah dari 0 volt sampai 10 volt, dengan memutar set point potensiometer hingga sesuai dengan tegangan yang diinginkan.

3. Mengamati dan mencatat tegangan keluaran yang dihasilkan pada tachogenerator melalui multimeter digital.
4. Mengamati dan mencatat kecepatan motor DC dengan tachometer.

Tabel 3.6 Data Hasil Pengukuran karakteristik Kecepatan Motor DC Terhadap Tegangan pada Tachogenerator

No	Tegangan Tachogenerator (volt)	Kecepatan Putar (rpm)
1.	2,3	2235
2.	2,2	2172
3.	2,1	2084
4.	2,0	1990
5.	1,95	1920
6.	1,9	1860
7.	1,8	1769
8.	1,7	1691
9.	1,6	1609
10.	1,5	1536

Dari tabel hasil percobaan, dibuat grafik kecepatan motor DC terhadap tegangan pada tachogenerator berikut:



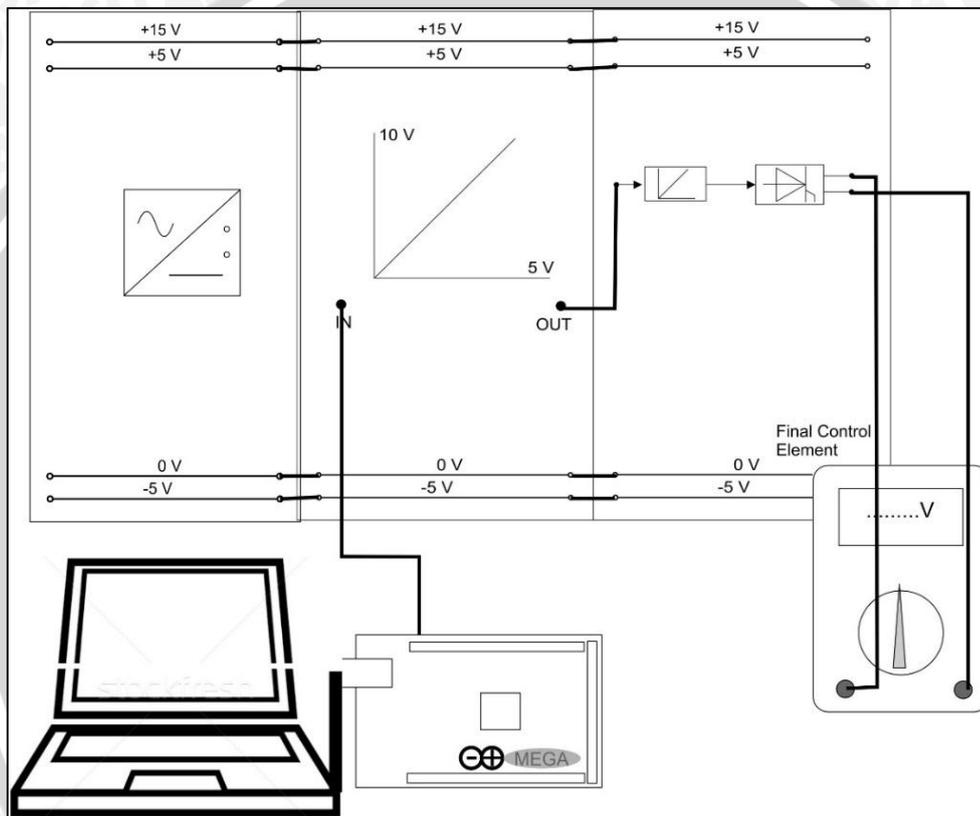
Gambar 3.14 Karakteristik Kecepatan Motor DC Terhadap Tegangan Tacho Generator

Hasil pengujian memperlihatkan bahwa dengan mengubah tegangan dari 150 volt sampai 220 volt didapatkan hubungan 1 volt pada keluaran tachogenerator mewakili 1000 rpm.

3.10.3 Pengujian Driver Motor

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik driver motor, dengan masukkan driver adalah pwm dan keluaran adalah tegangan pada driver.

1. Rangkaian disusun seperti pada gambar 3.14



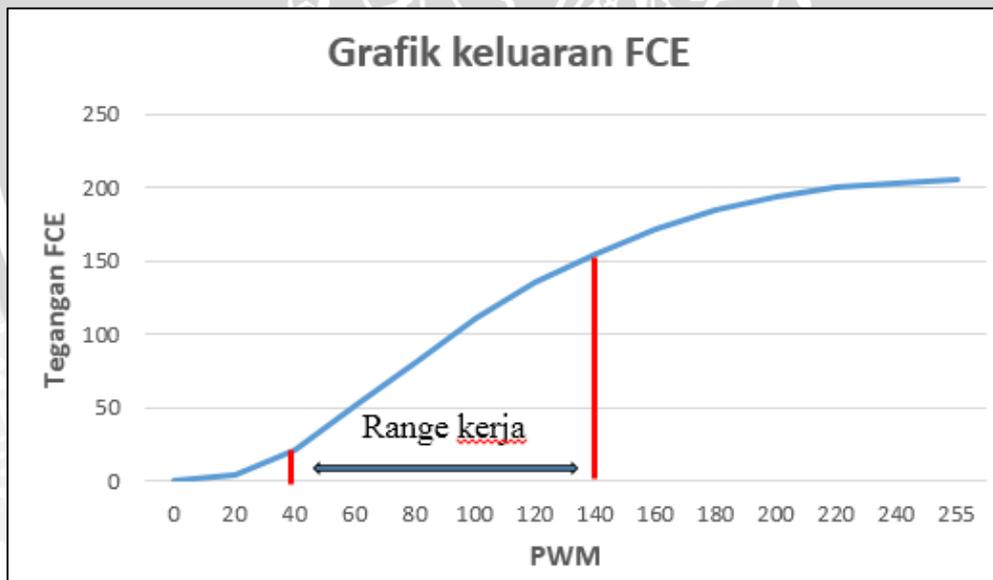
Gambar 3.14 Rangkaian Pengujian Driver FCE

2. Atur PWM pada arduino dari penskalaan 0 sampai 255, masukkan kedalam rangkaian penguat tegangan.
3. Masukkan keluaran dari penguat tegangan ke driver FCE.
4. Amati keluaran menggunakan multimeter.

Tabel 3.7 Data Hasil Pengukuran Driver FCE

PWM	FCE (volt)
0	0
20	4.1
40	21.3
60	50.7
80	81.4
100	110.2
120	136
140	155.5
160	171.6
180	184.7
200	194
220	200
240	203
255	205

Dari table tersebut diperoleh grafik sebagai berikut



Gambar 3.15 Karakteristik Driver Motor FCE

