

BAB IV PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

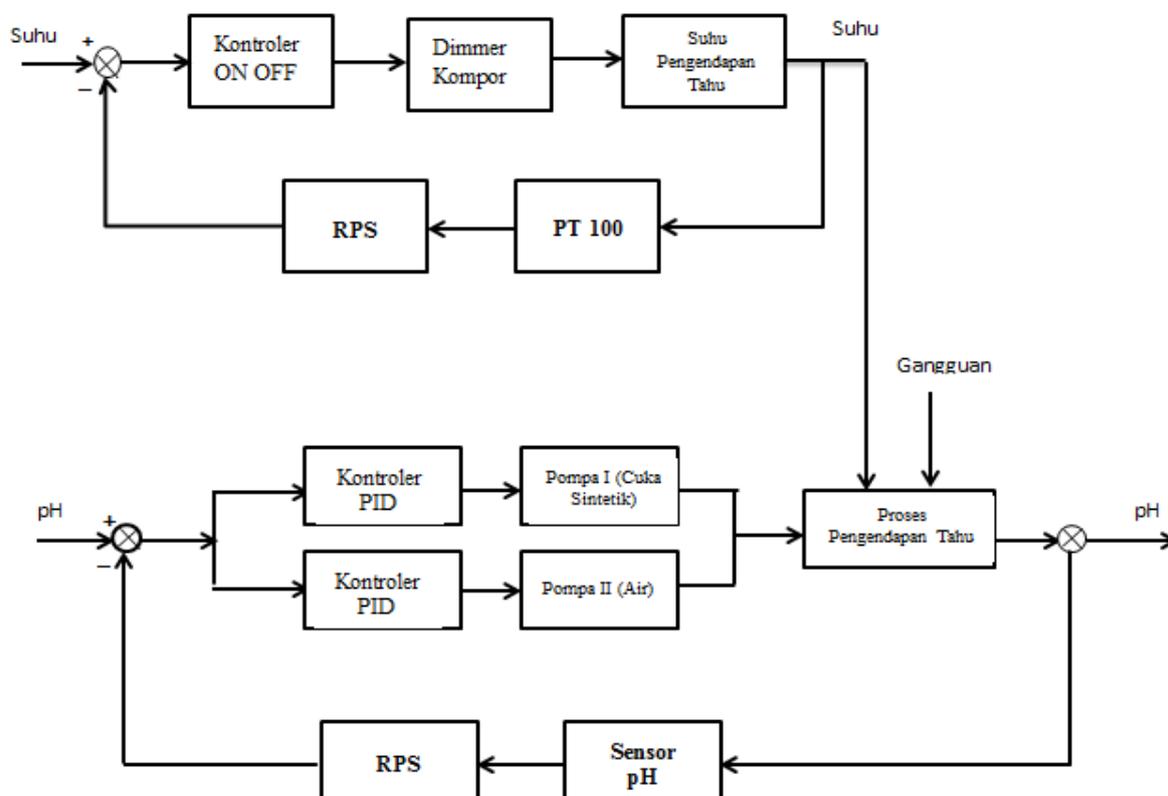
4.1 Perancangan Sistem

Dalam bab ini akan dibahas cara perancangan dan pembuatan alat untuk mengontrol kadar keasaman dalam pengendapan tahu . Perancangan alat meliputi perancangan perangkat keras dan perancangan software.

Perancangan perangkat keras terdiri atas perancangan rangkaian pengondisi sinyal, Arduino *shield*, rangkaian catu daya, rangkaian *driver* motor beserta pompa air, dan rangkaian driver motor beserta alat pengaduknya. Perancangan perangkat lunak terdiri atas identifikasi karakteristik motor menggunakan Matlab 7.7 dan perancangan program menggunakan *software* Arduino 1.0.5.

4.1 Diagram Blok Sistem

Diagram blok system yang dirancang ditunjukkan dalam gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Diagram Blok Sistem (Perancangan)



Keterangan dari blok diagram system tersebut adalah sebagai berikut :

1. *Set point* sistem berupa pH 5 yang dikonversi dalam bentuk tegangan sebesar 3 Volt.
2. Pusat pengendalian sistem menggunakan Arduino Uno yang memberikan sinyal keluaran berupa *pulse width modulation* (PWM) ke *driver* EMS H-Bridge 30A.
3. Pompa yang digunakan adalah pompa air dengan motor DC yang berfungsi sebagai aktuator.
4. Sebagai *feed back* digunakan sensor pH yang dihubungkan dengan rangkaian pengondisi sinyal karena tegangan yang dihasilkan sensor pH di luar cakupan tegangan masukan Arduino Uno.
5. *Set point* sistem adalah suhu 60° Celcius yang telah dikonversikan menjadi tegangan 4.94 V oleh rangkaian pengondisi sinyal.
6. *Dimmer* kompor diatur besar putarannya dengan aktuatornya adalah motor DC servo.
7. Sensor PT100 digunakan sebagai *feedback* sistem yang dihubungkan dengan rangkaian pengondisi sinyal agar menghasilkan tegangan yang sesuai dengan rentang tegangan masukan kontroler.
8. Keluaran dari sistem pengaturan suhu merupakan masukan pada proses utama dalam pengendapan tahu.

4.2 Spesifikasi Alat

Spesifikasi sistem pengendalian kadar keasaman menggunakan Arduino Uno adalah sebagai berikut :

1. Rentang pH yang diatur sebesar 0-14.
2. Dimensi alat pengendapan tahu berdiameter 30cm dan tinggi 40cm
3. Volume air pengendapan tahu sebesar 2,5 liter
4. Air yang digunakan merupakan air dari PDAM.
5. Sensor yang digunakan adalah sensor pH dengan rentang pH 0-14, *output* sensor pH berupa tegangan analog -341.8 - +341,8 mV DC.
6. Aktuator menggunakan dua pompa air dengan motor DC yang mendapat sinyal masukan dari *output* PWM *driver* EMS H-Bridge 30A.

4.3 Prinsip Kerja Sistem

Cara kerja sistem adalah sebagai berikut :

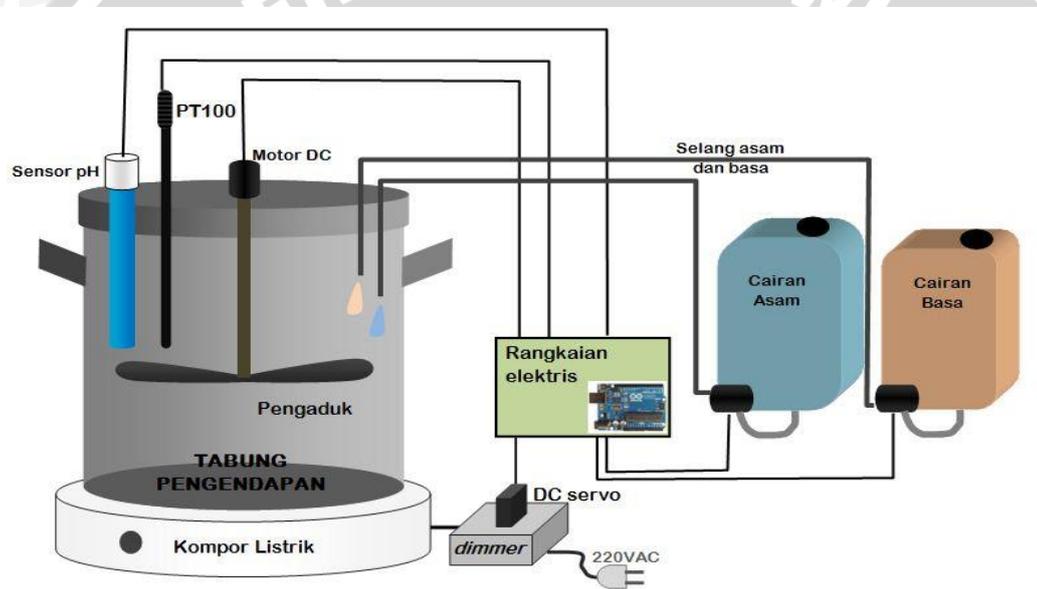
1. Catu daya sebesar +/- 5 Volt digunakan sebagai catu rangkaian pengondisi sinyal, dan *enable driver* motor. Catu daya 12 Volt digunakan sebagai catu motor DC pada pompa air.
2. *Port* komunikasi antara Arduino Uno dan PC menggunakan perantara kabel USB dengan kecepatan transfer data sebesar 9600 bps.
3. Menggunakan sensor pH, sinyal-sinyal keluaran dari sensor yang masih berupa sinyal analog diproses terlebih dahulu melalui rangkaian pengondisi sinyal agar sesuai dengan sinyal yang dibutuhkan untuk dapat dibaca oleh Arduino Uno.
4. Tegangan keluaran rangkaian pengondisi sinyal sebesar 0-5 Volt berfungsi sebagai masukan Arduino Uno.
5. Sinyal analog yang masuk ke Arduino Uno dikonversi ke dalam bentuk digital dengan resolusi 10 bit untuk kemudian diproses menjadi sinyal kontrol berupa PWM .
6. Sinyal kontrol dari Arduino Uno masuk ke *driver* EMS H-Bridge 30A. Driver berfungsi menguatkan sinyal yang dihasilkan Arduino Uno dari 0-5 Volt menjadi 0-12 Volt.
7. Motor DC pada pompa air yang terhubung pada tangki berisi cairan asam akan berputar ketika pembacaan sensor menunjukkan bahwa keadaan air terlalu basa atau lebih dari setpoint yaitu pH 5.
8. Motor DC pada pompa air yang terhubung pada tangki berisi air akan berputar ketika pembacaan sensor menunjukkan bahwa keadaan air terlalu asam atau kurang dari setpoint yaitu pH 5.
9. Dan keluaran sistem pengaturan suhu dengan sensor PT 100 merupakan masukan bagi proses utama dalam pengendapan tahu.

Spesifikasi sistem pengendalian suhu pada alat pengendapan tahu berbasis arduino UNO adalah sebagai berikut:

1. Rentang suhu yang dapat diproses adalah 0-100° Celcius.
2. Tabung untuk pengendapan berupa sebuah tabung stainless steel dengan diameter 24,5 cm dan tinggi 17,5 cm.

3. Kedelai yang digunakan untuk pengendapan tahu adalah kedelai yang sudah digiling sampai menjadi bubur, yang kemudian direbus dan menjadi cair seperti susu.
4. Proses pengendapan dilakukan dengan menggunakan 2,5 liter kedelai cair.
5. Sensor yang digunakan adalah sensor suhu PT100 pada rentang suhu 0-100° Celcius. Resistansi PT100 pada rentang suhu tersebut adalah 100-138,5 Ω .
6. Rangkaian pengondisi sinyal PT100 memiliki rentang keluaran 0-4,94 V.
7. Pengaturan panas kompor listrik ditentukan dengan putaran *dimmer* yang diatur besar sudutnya oleh motor DC Servo. Motor DC servo menerima sinyal PWM dari *driver* motor DC Servo.

Skema perancangan sistem dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Skema Keseluruhan Sistem (Sumber: Perancangan)

4.5 Perancangan Perangkat Keras (*Hardware*)

Berdasarkan diagram blok perancangan alat yang telah disusun, perancangan perangkat keras meliputi perancangan rangkaian pengondisi sinyal, Arduino *shield*, rangkaian catu daya, rangkaian *driver* motor beserta pompa air, dan rangkaian servo dimmer. Di bawah ini adalah penjelasan masing-masing rangkaian penyusun keseluruhan alat.

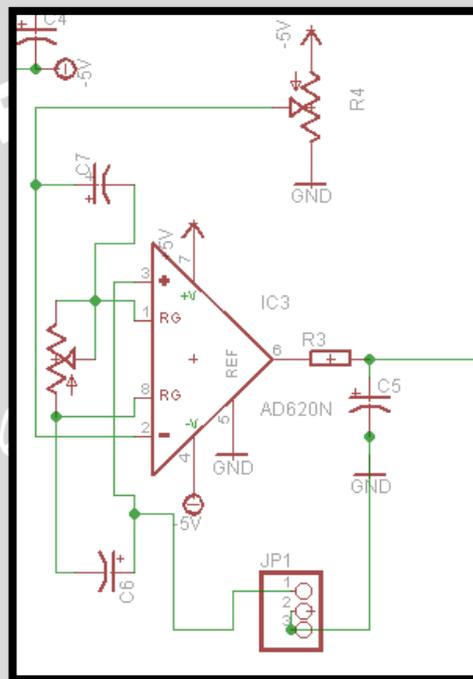
4.5.1 Sensor pH

Sensor pH pada perancangan ini berfungsi sebagai sensor pengukur kadar keasaman air pada pengendapan tahu. Keluaran dari sensor pH ini digunakan sebagai

masukannya untuk perhitungan algoritma PID yang dirancang. Sensor pH mampu melakukan pembacaan pada rentang pH 0-14. Tegangan keluaran pada pH 1 sebesar 134.96 mV, pada pH 7 sebesar -10.90 mV dan pada pH 10 sebesar -127.47 mV.

4.5.2 Rangkaian Pengondisi Sinyal

Rangkaian pengondisi sinyal berfungsi untuk menguatkan tegangan keluaran sensor pH agar tegangan keluaran sensor pH dapat dibaca oleh Arduino Uno yaitu pada rentang 0-5 V. Rangkaian pengondisi sinyal terdiri atas IC AD620 dan rangkaian low pass filter. Skematik Rangkaian Pengondisi Sinyal ditunjukkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4. 3 Skematik Rangkaian Pengondisi Sinyal (Perancangan)

AD620 merupakan penguat instrumentasi yang telah dikemas dalam bentuk IC (*Integrated Circuit*). IC AD620 mempunyai tingkat akurasi tinggi dan hanya memerlukan 1 resistor eksternal untuk mengatur penguatan dengan rentang 1 hingga 1000 kali. Resistor eksternal (R_G) dapat dihitung dengan Persamaan 4.1 (*Datasheet AD620*).

$$R_G = \frac{49.4 \text{ k}\Omega}{G-1} \quad (4.1)$$

Dimana:

R_G = Resistor eksternal

G = Penguatan

Pada rangkaian pengondisi sinyal ini menggunakan penguatan (G) sebesar 5 kali, berdasarkan Persamaan 4.1 dapat dihitung R_G yang harus digunakan adalah seperti pada Persamaan 4.2.

$$R_G = \frac{49.4 \text{ k}\Omega}{5-1} \quad (4.2)$$

$$= \frac{49.4 \text{ k}\Omega}{4} \quad (4.3)$$

$$= 12.35 \text{ k}\Omega$$

Keluaran sensor pH pada pH 10 mencapai sebesar -127 mV, agar Arduino Uno dapat membaca keluaran sensor maka dibutuhkan *offset* sebesar -500mV. Sehingga dapat dinyatakan keluaran rangkaian pengondisi sinyal seperti pada Persamaan 4.4

$$V_{out} = G(V_{sensor} - V_{offset}) \quad (4.4)$$

$$V_{out} = 5 (V_{in+} + 500) \quad (4.5)$$

Keluaran sensor pH rentan terhadap *noise* sehingga perlu ditambahkan *low pass filter* untuk mengurangi *noise* yang terjadi. Frekuensi *cut off* pada *low pass filter* dapat dihitung menggunakan Persamaan 4.6.

$$f_c = \frac{1}{2 \pi R C} \quad (4.6)$$

$$f_c = \frac{1}{(2 \pi)(1 \text{ k}\Omega)(100 \mu\text{F})} \quad (4.7)$$

$$f_c = 1.59 \text{ Hz}$$

Dimana:

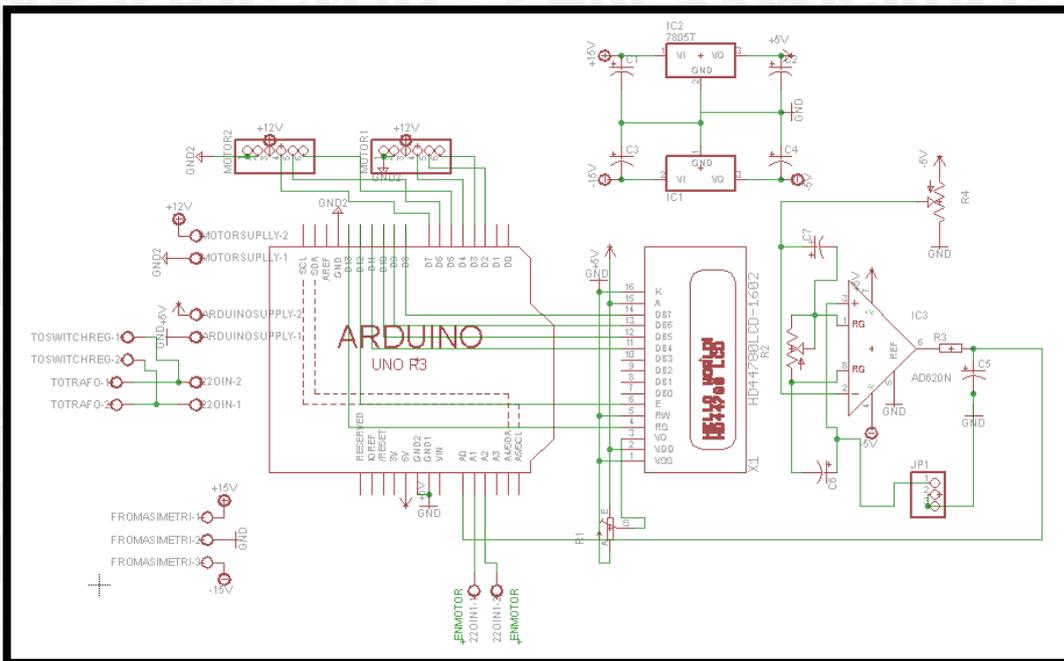
f_c = Frekuensi *cut-off* (Hz)

R = Resistansi (Ω)

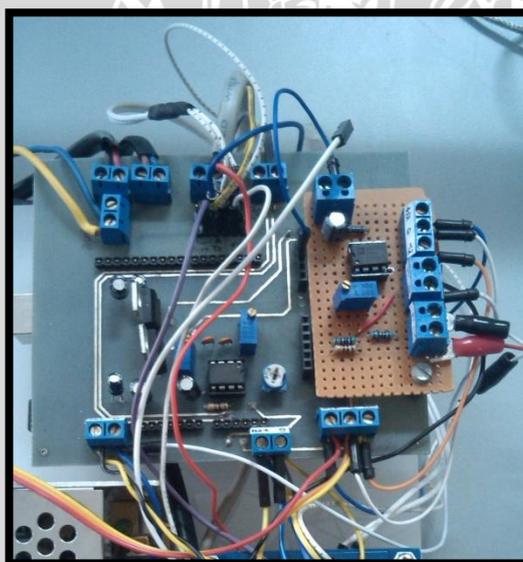
C = Kapasitansi (F)

4.5.3 Rangkaian Arduino Uno Shield

Shield adalah istilah untuk modul tambahan pada Arduino, karena cara menggunakan modul tambahan pada Arduino adalah dengan cara menumpuk di bagian atas Arduino, maka diberi istilah *shield* (tameng/perisai). *Arduino shield* yang digunakan pada penelitian ini berisi rangkaian pengondisi sinyal, regulator tegangan, dan LCD. Skematik Arduino Uno *shield* dapat dilihat dalam Gambar 4.4 serta rangkaian Arduino Uno *shield* dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.4 Skematik Arduino Uno Shield (Perancangan)

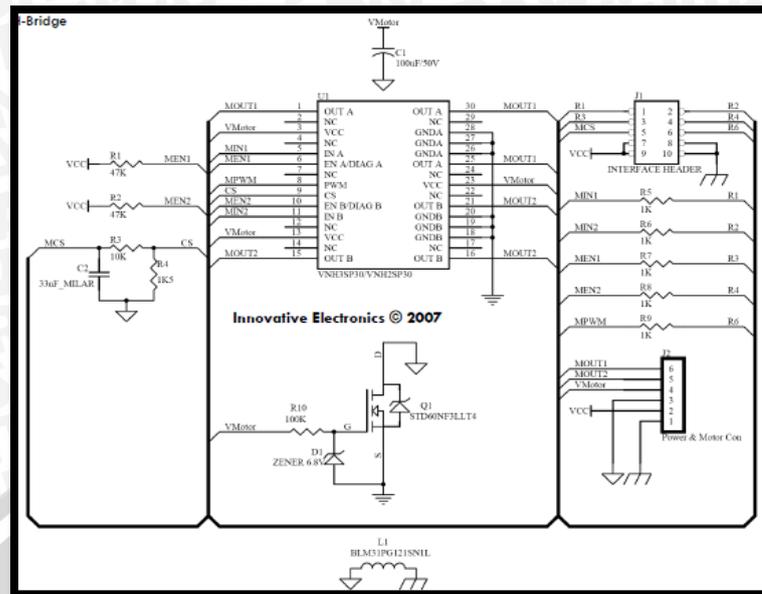


Gambar 4.5 Rangkaian Arduino Uno Shield (Perancangan)

4.5.4 Driver EMS H-Bridge 30 A

Modul pengendali motor DC digunakan untuk mengendalikan putaran motor DC yang menjadi penggerak pompa. Rangkaian ini dihubungkan dengan Arduino Uno. *Driver* pengendali pada perancangan ini menggunakan *driver* EMS H-Bridge 30 A yaitu sebuah perangkat keras berupa rangkaian yang berfungsi untuk menggerakkan motor DC. Rangkaian skematik *driver* motor EMS H-Bridge 30 A ditunjukkan pada Gambar 4.6.





Gambar 4.6 Skematik Rangkaian Driver EMS H-Bridge 30 A (datasheet EMS H-Bridge 30 A)

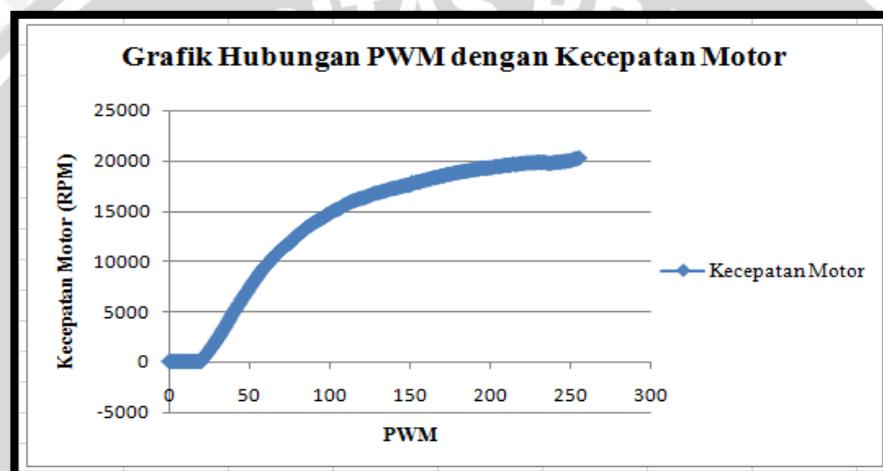
Interface Header pada driver EMS H-Bridge 30 A berfungsi sebagai input untuk antarmuka dengan input-output digital serta output analog dari modul H-Bridge. Berikut deskripsi dari masing-masing pin ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Fungsi Pin EMS H-Bridge 30 A

No. Pin	Fungsi
1	Pin <i>input</i> untuk menentukan <i>output</i> MOUT1
2	Pin <i>input</i> untuk menentukan <i>output</i> MOUT2
3	Pin <i>enable</i> untuk <i>output</i> MOUT1 Diberi logika <i>high</i> untuk mengaktifkan <i>half</i> H-Bridge 1, diberi logika <i>low</i> secara eksternal untuk menonaktifkan <i>half</i> H-Bridge 1 Jika terjadi kondisi <i>fault</i> (<i>thermal shutdown</i> , <i>undervoltage</i> , <i>overvoltage</i> , dsb.), maka pin ini akan ditarik <i>low</i> secara internal oleh modul H-Bridge untuk melaporkan adanya kondisi <i>fault</i>
4	Pin <i>enable</i> untuk <i>output</i> MOUT2 Diberi logika <i>high</i> untuk mengaktifkan <i>half</i> H-Bridge 2, diberi logika <i>low</i> secara eksternal untuk menonaktifkan <i>half</i> H-Bridge 2 Jika terjadi kondisi <i>fault</i> (<i>thermal shutdown</i> , <i>undervoltage</i> , <i>overvoltage</i> , dsb.), maka pin ini akan ditarik <i>low</i> secara internal oleh modul H-Bridge untuk melaporkan adanya kondisi <i>fault</i>
5	<i>Output</i> tegangan analog yang berbanding lurus dengan arus beban (<i>range output</i> 0 – 5 Volt)
6	Pin <i>input</i> untuk mengatur kerja modul H-Bridge secara PWM
7,9	Terhubung ke catu daya untuk <i>input</i> (5 Volt)
8,10	Titik referensi untuk catu daya <i>input</i>

4.5.5 Motor DC

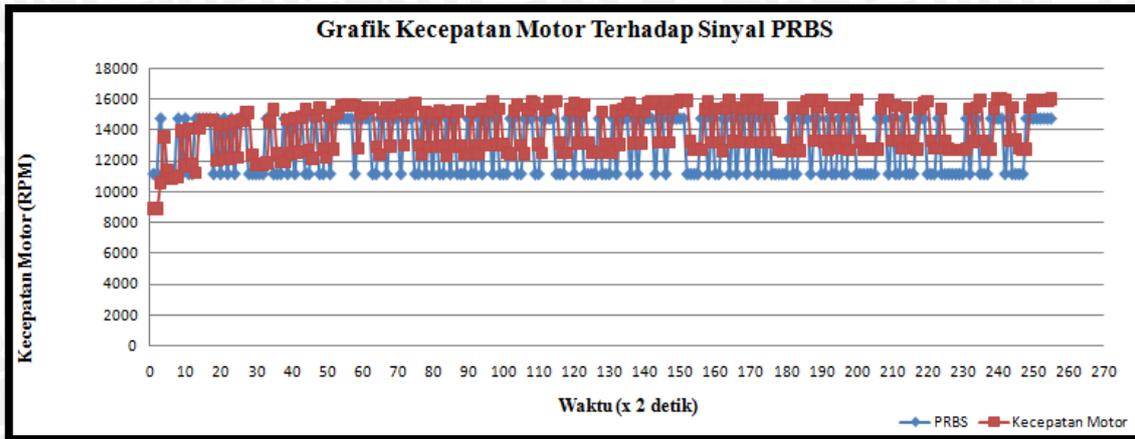
Pengendalian motor DC menggunakan rangkaian Arduino Uno sebagai pengolah dan memberikan data berupa *Pulse width Modulation* (PWM) agar motor dapat bergerak. Motor DC yang digunakan pada perancangan ini tidak diketahui karakteristiknya, sehingga yang perlu dilakukan adalah melakukan pengujian dengan menggunakan rangkaian *optocoupler*. Karakteristik motor DC pada perancangan ini didapatkan dengan cara memberi masukan unit *step*. Hasil kecepatan motor terhadap PWM ditunjukkan pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Grafik Karakteristik Motor DC (Perancangan)

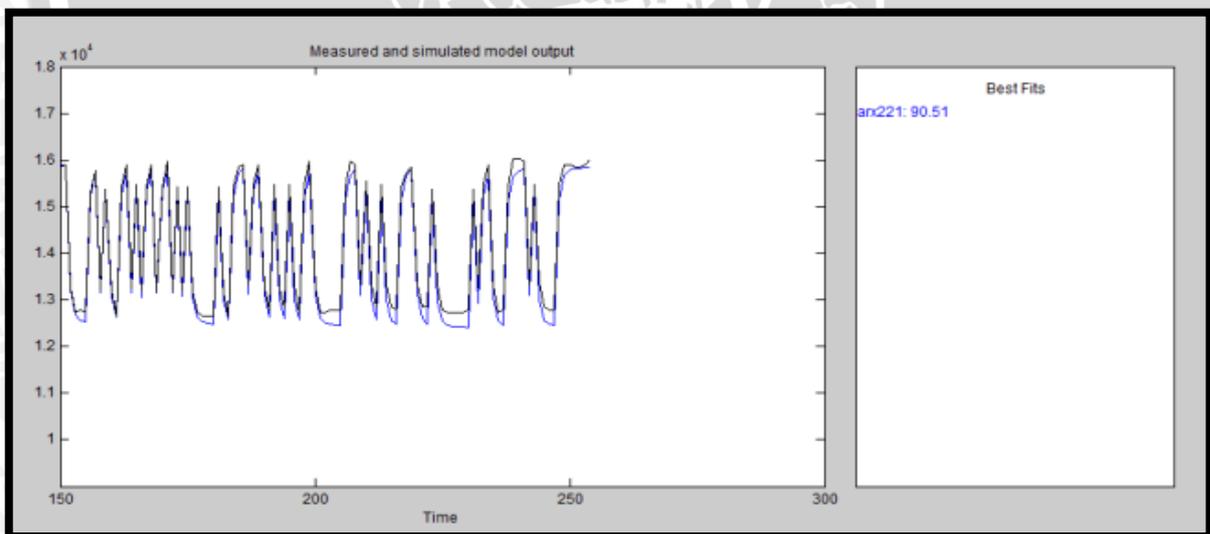
Fungsi alih motor didapatkan melalui pemodelan dengan cara membangkitkan sinyal *Pseudo Random Binary Sequence* (PRBS). Langkah yang dilakukan untuk membangkitkan sinyal PRBS adalah sebagai berikut :

- Mencari nilai yang linear dari hasil kecepatan motor terhadap PWM pada Gambar 4.7
- Memasukkan nilai dari grafik yang telah dicuplik pada Gambar 4.7 untuk membangkitkan sinyal PRBS. Hasil dari keluaran motor terhadap sinyal PRBS yang telah dibangkitkan ditunjukkan pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Grafik Kecepatan Motor DC Terhadap Sinyal PRBS (Perancangan)

- Setelah didapatkan sinyal PRBS selanjutnya adalah melakukan identifikasi dengan menggunakan MATLAB 2010.
- Digunakan ident yaitu sistem identifikasi yang ada pada MATLAB. Data sinyal PRBS yang tadi telah disimpan kemudian diimport pada blok *system identification tool* sistem model yang digunakan adalah *Auto Regressive with Exogenous Input* (ARX) dan estimasi parameter yang sesuai adalah 2 2 1 dengan *best fit* sebesar 90.51 % yang ditunjukkan pada Gambar 4.9



Gambar 4.9 Grafik Simulasi Model Output dengan Best Fit 90.51% (Perancangan)

- Dari hasil identifikasi, fungsi alih motor $\frac{Y(s)}{U(s)}$ yang didapat adalah

$$\frac{1.554 s + 0.07376}{s^2 + 1.688 s + 0.06762} \quad (4.8)$$

- Dengan melakukan pengujian whiteness test didapatkan hasil sebagai berikut

$$rn1=0.2567$$

$$rn2=0.0974$$

$$rn3=0.0727$$

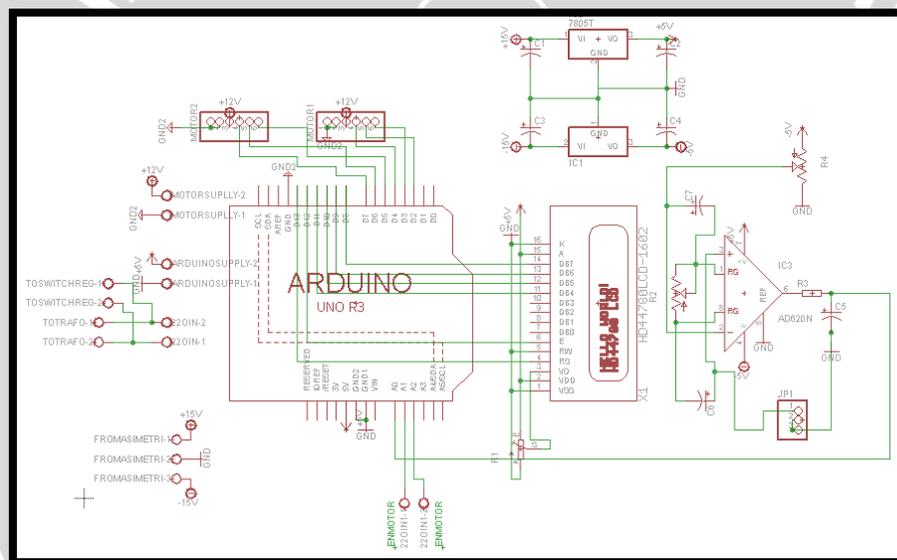
$$rn4 = 0.0680$$

dengan ketentuan $|RN(i)| \leq 0.15$

dapat menunjukkan model telah lolos meskipun pada $RN(1) > 1.5$ namun untuk RN selanjutnya bernilai < 0.15 .

4.5.6 Konfigurasi I/O Arduino Uno

Pada alat ini digunakan Arduino Uno sebagai pusat pengolah utama dalam melakukan proses pengendalian. Konfigurasi I/O dari Arduino Uno ditunjukkan pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Skematik I/O Arduino Uno (Perancangan)

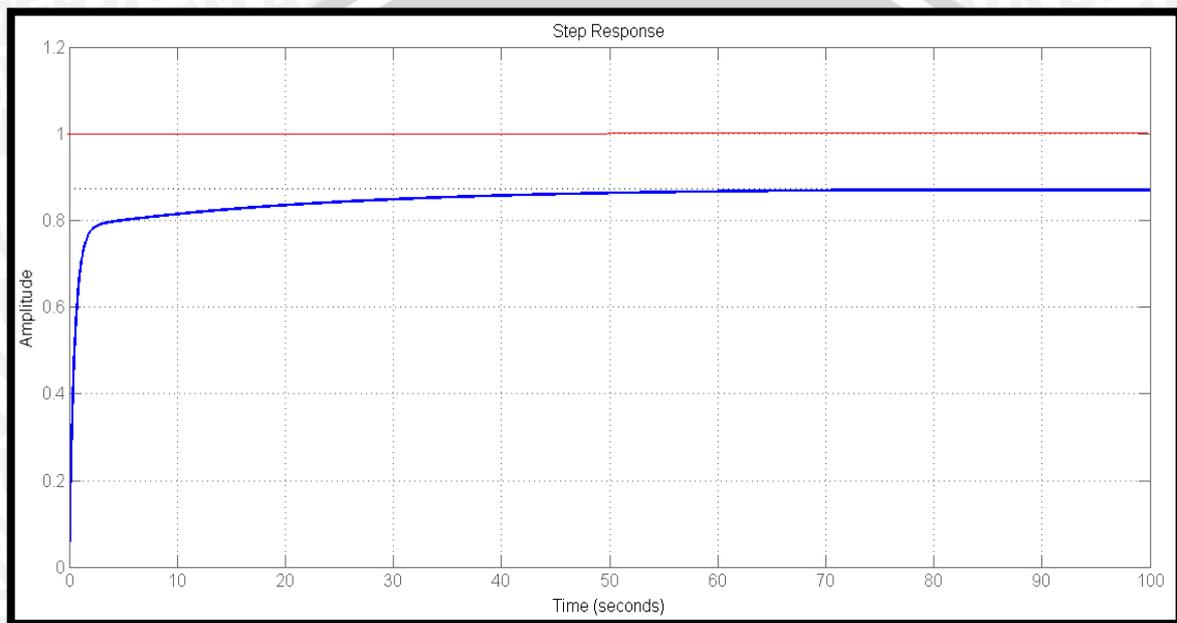
Tabel fungsi masing masing pin Arduino Uno dapat dilihat dalam Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Fungsi Pin Arduino Uno

No.	Pin	Fungsi
1	A0	Digunakan sebagai jalur masukan dari rangkaian pengondisi sinyal
2	A1	Digunakan sebagai <i>enable driver</i> motor 1
3	A2	Digunakan sebagai <i>enable driver</i> motor 2
8	A3	Digunakan sebagai masukan dari sensor PT 100
4	D2	Digunakan sebagai antar muka <i>driver</i> motor 1
6	D3	Digunakan sebagai antar muka <i>driver</i> motor 1
4	D4	Digunakan sebagai antar muka <i>driver</i> motor 1
5	D5	Digunakan sebagai antar muka <i>driver</i> motor 2
6	D6	Digunakan sebagai antar muka <i>driver</i> motor 2
7	D7	Digunakan sebagai antar muka <i>driver</i> motor 2

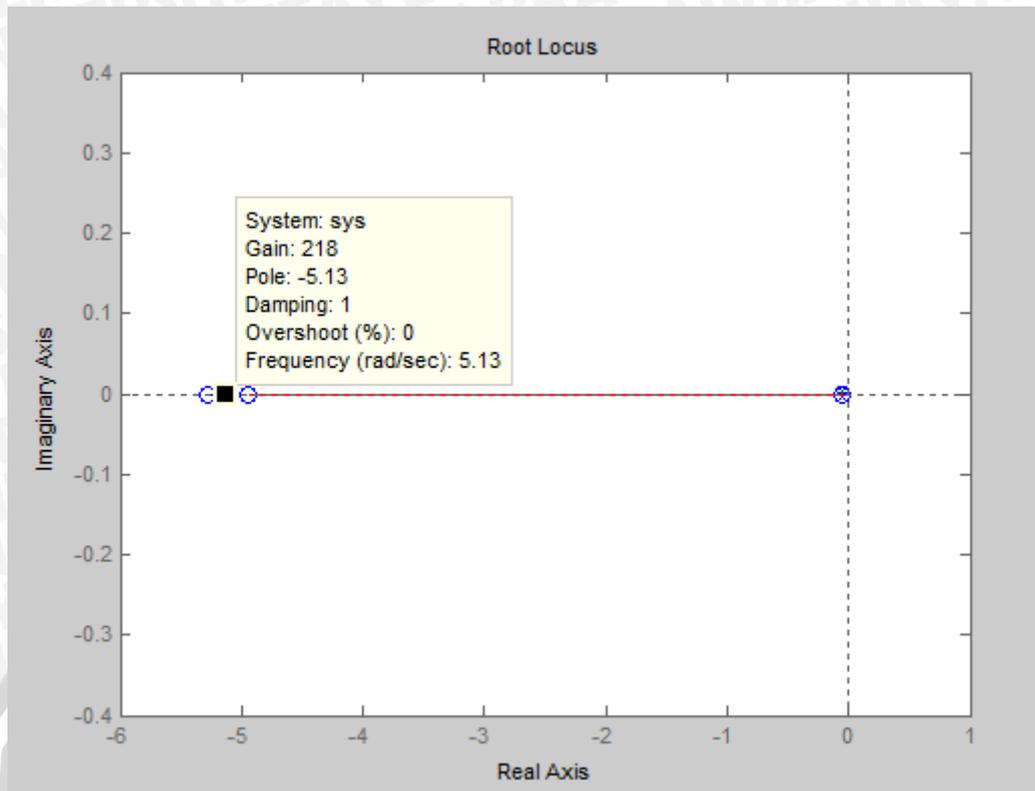
4.5.7 Perancangan Kontroler

Memenuhi tujuan performansi loop yang diinginkan, maka perlu ditambahkan kontroler pada sistem tersebut. Kontroler yang dipilih ialah kontroler Proporsional Integral Differensial (PID). Setelah didapatkan fungsi alih sistem yaitu $F(s) = \frac{1.554s + 0.07376}{s^2 + 1.688s + 0.06762}$. Selanjutnya adalah menentukan letak simpul *loop* tertutup. Respon sistem terhadap masukan fungsi unit *step* dapat dilihat pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11 Grafik Simulasi Respon Sistem Tanpa Kontroler (Perancangan)

Dari respon yang didapat, sistem memiliki *error steady state* yang besar sehingga diperlukan kontroler untuk memperbaiki sistem. Memperbaiki sistem dapat diperoleh dengan memodifikasi *loop – loop* tertutupnya. Berdasarkan fungsi alih *loop* tertutup dapat diketahui sistem berorde dua. Nilai parameter PID ditentukan oleh pemilihan *pole* pada diagram *root locus*. Pada penelitian ini digunakan $s_1 = -5.1109$. Penentuan letak *pole* pada diagram *root locus* terlihat dalam Gambar 4.12



Gambar 4.12 Letak Pole Pada Diagram *Root Locus* (Perancangan)

Setelah ditentukan letak *pole* yang diinginkan kemudian dengan mensubstitusi nilai s_1 dan nilai fungsi alih sistem dalam Persamaan 2.16 dan memvariasikan nilai K_i akan didapatkan parameter PID dalam Tabel 4.3. Pencarian parameter K_p , K_i , dan K_d dalam persamaan 2.16 dengan menggunakan MATLAB 2008 ditunjukkan pada *listing* program berikut :

%nilai pole yang ditentukan dari gambar root locus

```
s1=-5.1109
```

```
KI=[100 10 4 0.1 0.25]
```

```
plant_num=[0 1.554 0.07376];
plant_den=[1 5.1548 0.2248];
```

```
s1mag = abs(s1)
beta = angle(s1)
```

```
plant_al = polyval(plant_num,s1)/polyval(plant_den,s1);
```

```
plants1mag = abs(plant_al)
psi = angle(plant_al)
t=0:1:20:300;
```

```
for k =1:5
```

```
KP = -sin(beta+psi)/(plants1mag*sin(beta))-2*KI(k)*cos(beta)/s1mag
```

```

nilai_KI = KI(k)
KD = sin(psi)/(s1mag*plants1mag*sin(beta))+KI(k)/s1mag^2

Gcnum = [KD KP KI(k)];
Gcden = [0 1 0];

Tnum = conv(plant_num,Gcnum);
Tden = conv(plant_den,Gcden)+conv(plant_num,Gcnum);

r = roots(Tden)

step (Tnum,Tden,t)
hold on
end

hold off
figure, rlocus(Tnum,Tden)

```

Hasil pencarian parameter Kp, Ki dan Kd dari perhitungan pada program diatas ditunjukkan dalam Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Parameter PID dengan $s_1 = -5.1109$

No.	Kp	Ki	Kd	Pole 1	Pole 2	Pole 3
1	39.1322	100	3.8283	-5.1109	-4.3749	-0.0475
2	3.9133	10	0.3828	-5.1109	-1.9041	-0.0475
3	1.5654	4	0.1531	-5.1109	-0.9795	-0.0476
4	0.0392	0.1	0.0038	-5.1109	-0.037+0.0076i	-0.0371-0.0076i
5	0.0979	0.25	0.0096	-5.1109	-0.06+0.0043i	-0.0595-0.0043i

Setelah didapatkan nilai Kp, Ki dan Kd hasil perhitungan, kemudian dilakukan pengujian terhadap sistem, dan parameter yang sesuai dengan sistem.

4.5.8 Pengaturan Suhu dengan Sensor PT 100

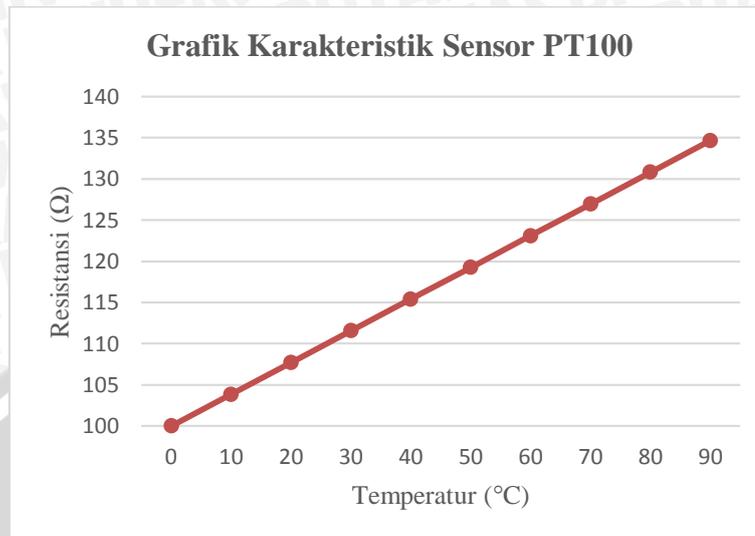
Berdasarkan diagram blok perancangan alat yang telah disusun, perancangan perangkat keras untuk mempertahankan suhu meliputi perancangan rangkaian pengondisi sinyal sensor PT100, rangkaian *driver* motor DC servo, dan *driver* motor DC. Di bawah ini merupakan penjelasan masing-masing perancangan perangkat keras dalam alat pengendalian tahu.

1. Rangkaian Pengondisi Sinyal Sensor PT100

Sebelum merancang rangkaian pengondisi sinyal, perlu diketahui karakteristik sensor suhu PT100. Sensor PT100 merupakan sensor suhu berjenis *Resistance Temperature Detector* (RTD) dengan koefisien positif, sehingga perubahan temperatur akan berbanding lurus dengan resistansi PT100 (*Datasheet*).

PT100 yang digunakan pada alat pengendalian tahu ini digunakan untuk pembacaan suhu dengan rentang antara 0-100°C. Gambar 4.13 menunjukkan

grafik karakteristik resistansi PT100 terhadap perubahan suhu dengan rentang suhu 0-100°C.



Gambar 4.13 Grafik Karakteristik Sensor PT100 (Datasheet)

Berdasarkan *datasheet* sensor PT100, maka didapatkan persamaan resistansi PT100 terhadap perubahan suhu pada Persamaan 4.8.

$$\frac{R_{PT100}-100}{138,5-100} = \frac{T-0}{R_0-0}$$

$$\frac{R_{PT100}-100}{38,5} = \frac{T}{R_0}$$

$$R_{PT100} = R_0 + (0.385T) \quad (4.8)$$

dengan:

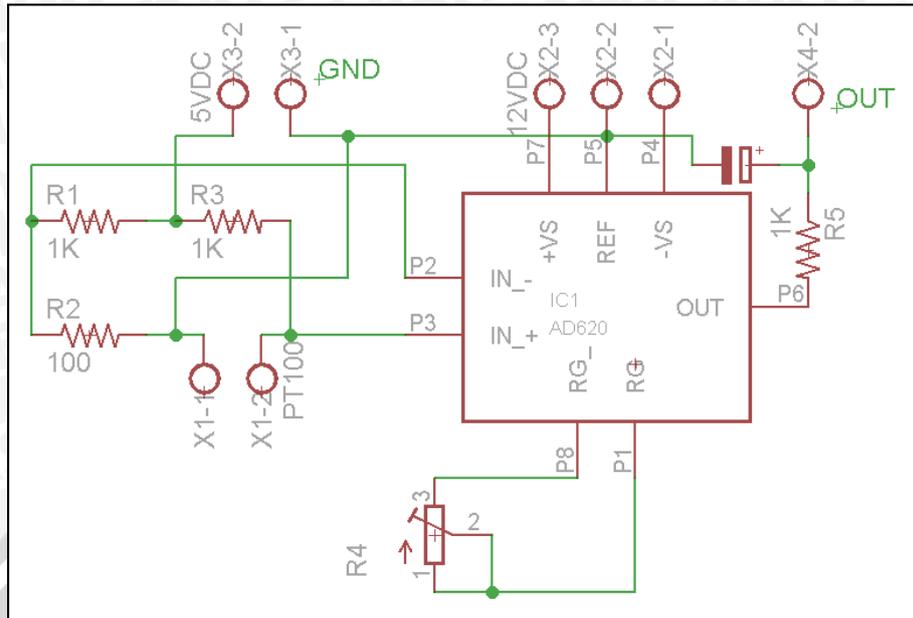
R_{PT100} = Resistansi Sensor PT100 (Ω)

R_0 = Resistansi saat 0°C (100 Ω)

T = Temperatur (°C)

Keluaran sensor PT100 adalah resistansi. Oleh karena itu, diperlukan suatu rangkaian yang dapat mengubah besar resistansi sensor PT100 ke dalam tegangan tertentu agar perubahan suhu yang di deteksi oleh sensor PT100 dapat dideteksi pada perubahan level tegangan. Rangkaian yang dibutuhkan PT100 tersebut adalah jembatan *wheatstone*.

Rangkaian jembatan *wheatstone* termasuk dalam rangkaian pengondisi sinyal sensor PT100. Selain rangkaian jembatan *wheatstone*, pada rangkaian pengondisi sinyal juga terdapat penguat tegangan *op-amp* AD620 dan *low-pass filter*. Gambar 4.14 menunjukkan skema lengkap dari rangkaian pengondisi sinyal PT100.



Gambar 4.14 Rangkaian Pengondisi Sinyal PT100 (Perancangan)

Berikut ini akan dibahas mengenai perhitungan masing-masing rangkaian pada pengondisi sinyal.

1. Rangkaian Jembatan *Wheatstone*

Untuk mengetahui tegangan keluaran jembatan *wheatstone* maka diperlukan nilai resistansi PT100 ketika 0°C dan 100°C menggunakan Persamaan 4.9 dan 4.10.

Pada suhu 0°C:

$$R_{PT100} = R_0 + (0,385T)$$

$$R_{PT100} = 100 + (0,385 \times 0^\circ C)$$

$$R_{PT100} = 100 \Omega \tag{4.9}$$

Pada suhu 100°C:

$$R_{PT100} = R_0 + (0,385T)$$

$$R_{PT100} = 100 + (0,385 \times 100^\circ C)$$

$$R_{PT100} = 138.5 \Omega \tag{4.10}$$

Berdasarkan gambar 4.4 maka dapat dihitung nilai V_a , V_b , dan ΔV menggunakan rumus pembagi tegangan jembatan *wheatstone* pada suhu 0°C dan 100°C.

Pada suhu 0°C:

$$V_a = \frac{60}{1100} \times 4.94 = 0.45 V \tag{4.11}$$

$$V_b = \frac{60}{1100} \times 4.94 = 0.45 V \tag{4.12}$$

$$\Delta V_0 = 0 \tag{4.13}$$



Pada suhu 100°C :

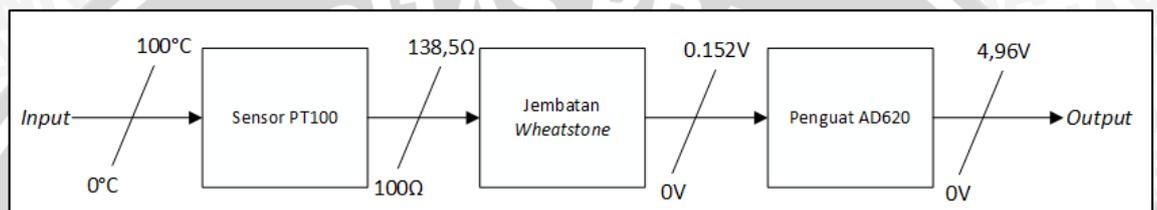
$$V_a = \frac{138,5}{1138,5} \times 4,94 = 0,602 \text{ V} \quad (4.14)$$

$$V_b = \frac{100}{1100} \times 4,94 = 0,45 \text{ V} \quad (4.15)$$

$$\Delta V_{60} = 0,152 \text{ V} \quad (4.16)$$

2. Penguat AD620

Sebagai cara untuk mempermudah perhitungan perancangan rangkaian pengondisi sinyal PT100, maka dibuatlah ilustrasi skema *input-output* seperti Gambar 4.15 berdasarkan hasil perhitungan pada Persamaan 4.13 dan 4.16.



Gambar 4.4 Skema input dan output rangkaian pengondisi sinyal (Perancangan)

Berdasarkan Gambar 4.15, penguat AD620 digunakan untuk menguatkan tegangan keluaran jembatan *wheatstone* menjadi 0-4,94 V sesuai dengan tentang tegangan yang dapat dibaca oleh *input* analog ADC. Besarnya penguatan (G) yang dilakukan AD620 dihitung menggunakan Persamaan 4.10.

$$G = \frac{4,94}{\Delta V_{100} - \Delta V_0} \quad (4.14)$$

$$G = \frac{4,94}{0,152} = 33,068$$

Besarnya penguatan yang dilakukan AD620 diatur dengan memberikan nilai R_G yang sesuai. Besarnya R_G ditentukan dengan menggunakan Persamaan 4-11. Rumus tersebut didapatkan dari *datasheet* AD620.

$$R_G = \frac{49,400 \Omega}{G-1} \quad (4.15)$$

$$R_G = \frac{49,400 \Omega}{33,068-1} = 1540,5 \approx 1540 \Omega$$

3. Rangkaian *Low-pass Filter*

Keluaran sensor PT100 rentan terhadap *noise* sehingga perlu ditambahkan *low-pass filter* untuk mengurangi *noise* yang terjadi. Rangkaian *low-pass filter* dibuat dengan komponen pasif yaitu R dan C

yang masing-masing 1000Ω dan $100 \mu\text{F}$ agar dapat meredam frekuensi diatas $1,591 \text{ Hz}$. Frekuensi *cut-off* pada *low-pass filter* dapat dihitung menggunakan Persamaan 4-16.

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (4.16)$$

$$f_c = \frac{1}{(2\pi)(1000\Omega)(100\mu\text{F})} \quad (4.17)$$

$$f_c = 1,59 \text{ Hz}$$

dimana:

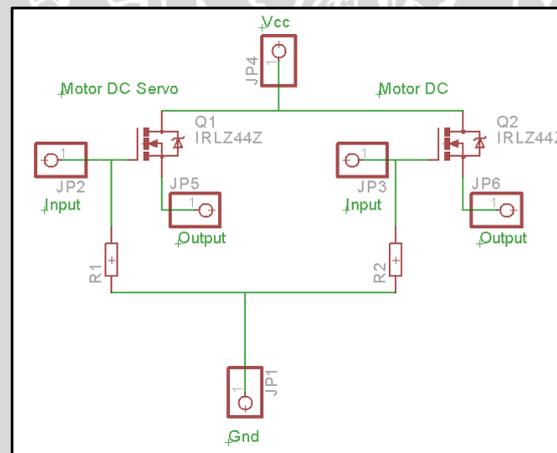
f_c = Frekuensi *cut-off*

R = Resistansi (Ω)

C = Kapasitansi (F)

2. Driver Motor DC Servo dan Motor DC

Driver motor yang digunakan sebagai pengendali putaran motor DC Servo dan motor DC. *Driver* motor yang digunakan adalah E-MOSFET N-channel jenis IRLZ144N. Pada dasarnya, motor DC servo dan motor DC mendapat sinyal PWM dari Arduino UNO berupa tegangan maksimal 5V . Skema rangkaian *driver* motor DC servo dan motor DC ditunjukkan pada Gambar 4.16 dibawah ini.



Gambar 4.16 Rangkaian Driver Motor DC Servo dan Motor DC (Perancangan)

A. Kompor Listrik Induksi

Kompor listrik induksi dalam penelitian ini digunakan untuk menghasilkan panas yang dapat membantu proses pengendapan tahu, ditunjukkan dalam Gambar 4.17. Kompor listrik tersebut memiliki rentang kerja daya antara $80\text{-}700 \text{ Watt}$. Kompor induksi bekerja akibat efek induksi yang diakibatkan oleh arus listrik yang melewati kumparan yang ada dalam kompor tersebut.



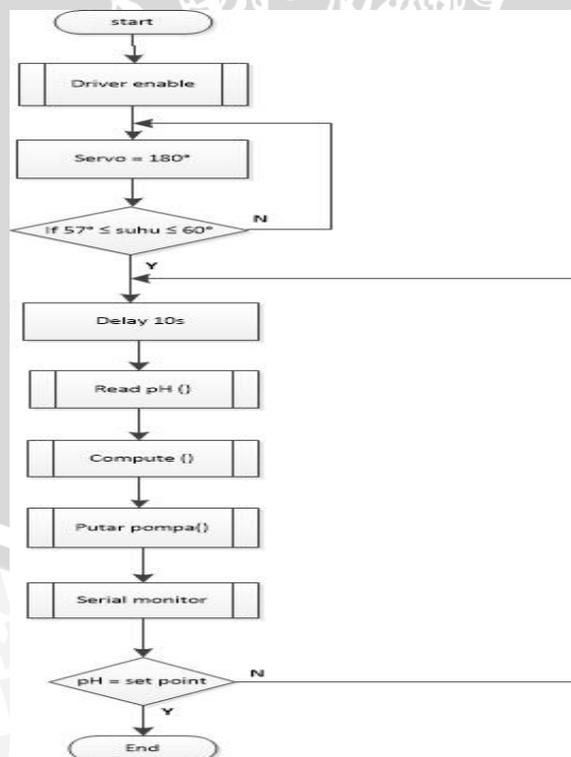
Gambar 4.17 Kompor Listrik Induksi

Kompor listrik induksi hampir sama dengan kompor listrik biasa, menggunakan energi listrik. Perbedaannya terletak dari cara kerjanya. Kompor listrik induksi biasa menggunakan filamen untuk menghasilkan panas, sedangkan kompor induksi menggunakan alat masak itu sendiri (panci atau kuah) untuk menghasilkan panas. Jadi, ketika kompor ini tidak memiliki beban masak, tidak ada panas yang dihasilkan.

4.6 Perancangan Perangkat Lunak

4.6.1 Flowchart Sistem Keseluruhan

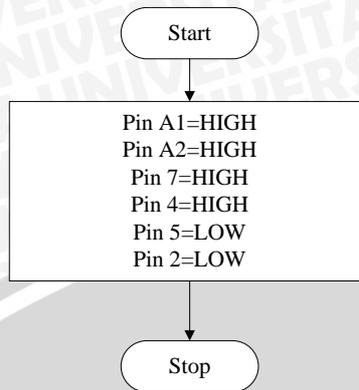
Flowchart keseluruhan sistem ditunjukkan pada Gambar 4.18.



Gambar 4.18 Flowchart Keseluruhan Sistem (Perancangan)

4.6.2 Flowchart Driver Enable

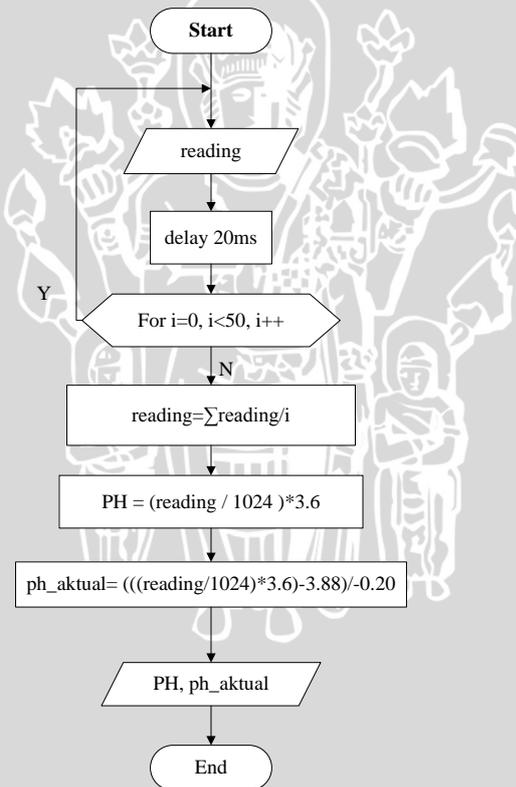
Flowchart driver enable ditunjukkan pada Gambar 4.19.



Gambar 4.19 Flowchart Driver Enable (Perancangan)

4.6.3 Flowchart Pembacaan Sensor pH

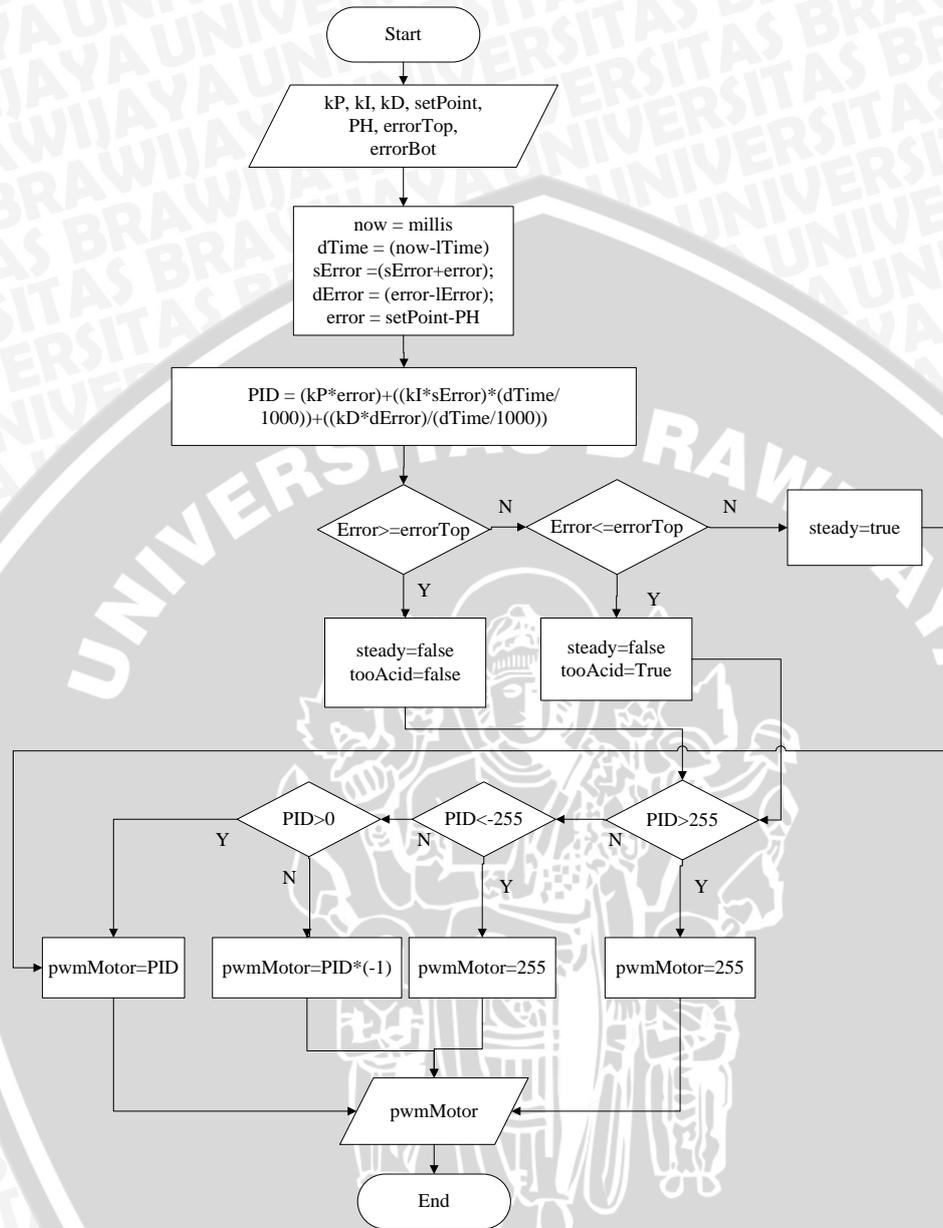
Flowchart pembacaan sensor pH ditunjukkan pada Gambar 4.20.



Gambar 4.20 Flowchart Pembacaan Sensor pH (Perancangan)

4.6.4 Flowchart Perhitungan Parameter PID

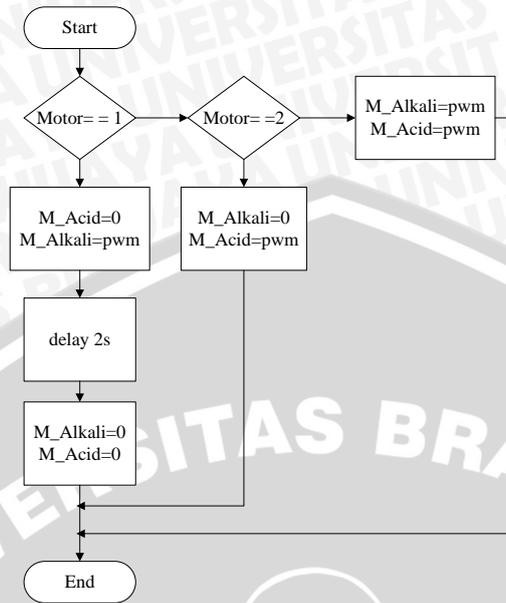
Flowchart perhitungan parameter PID ditunjukkan pada Gambar 4.21.



Gambar 4.21 Flowchart Perhitungan Parameter PID (Perancangan)

4.6.5 Flowchart Putaran Pompa

Flowchart putaran pompa ditunjukkan pada Gambar 4.21.



Gambar 4.22 Flowchart Putaran Pompa (Perancangan)

