BAB V
PENGUJIAN DAN ANALISIS SISTEM

Tujuan pengujian sistem ini adalah untuk menentukan apakah alat pengendapan tahu yang telah dibuat berfungsi dengan baik dan sesuai dengan perancangan. Pengujian pada sistem ini meliputi pengujian setiap blok maupun pengujian secara keseluruhan. Pengujian setiap blok ini dilakukan untuk menemukan letak kesalahan dan mempermudah analisis pada sistem apabila alat tidak bekerja sesuai dengan perancangan.

5.1 Pengujian Sensor pH

a. Tujuan

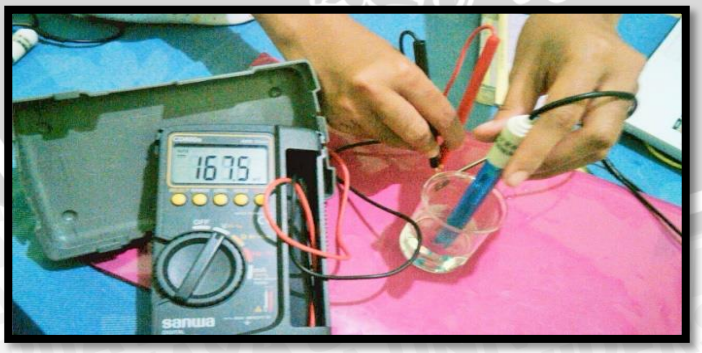
Mengetahui kemampuan sensor pH dalam membaca perubahan pH.

b. Peralatan yang digunakan

1. Sensor pH.
2. Multimeter.
3. pH meter.
4. Larutan pH *buffer*.

c. Langkah pengujian

1. Merangkai peralatan seperti dalam Gambar 5.1
2. Meletakkan larutan pH *buffer* pada wadah
3. Mencelupkan ujung sensor pH pada larutan pH *buffer*
4. Mencatat data tegangan keluaran tiap larutan pH *buffer* untuk melihat kelinierannya.



Gambar 5.1 Rangkaian Pengujian Sensor pH (Perancangan)

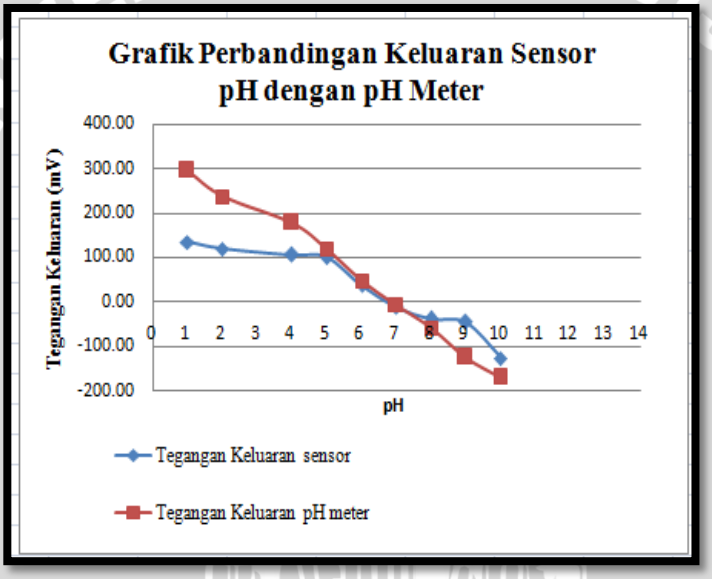
d. Hasil Pengujian

Data hasil pengujian sensor pH ditunjukkan dalam Tabel 5.1 berikut.

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Sensor pH

pH	Tegangan Keluaran Sensor (mV)	Tegangan Keluaran pH Meter (mV)
1	134.96	295.2
2	119.33	236
4	105.69	167.1
5	101.26	118.6
6	37.44	48
7	-10.9	-6.6
8	-37.85	-55.5
9	-45.51	-75.9
10	-127.47	-167.1

Grafik hubungan antara pH dengan tegangan dapat dilihat dalam Gambar 5.2.



Gambar 5.2 Grafik Hubungan Antara Jarak dengan Tegangan Keluaran Sensor (Perancangan)

Dari hasil pengujian yang dilakukan pada sensor pH dapat dilihat bahwa hasil pembacaan sensor pH yang digunakan mampu mendeteksi perubahan pH. Rentang kerja sensor pH pada penelitian ini berkisar pH 4-10.

5.2 Pengujian Rangkaian Pengondisi Sinyal (RPS)

a. Tujuan

Mengetahui tegangan keluaran RPS pada pH yang berbeda-beda.

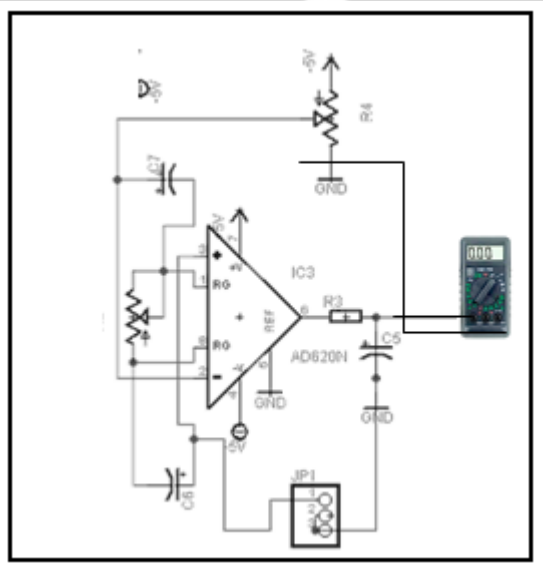
b. Peralatan yang digunakan

- AD620
- 7805 Voltage Regulator IC
- 7905 Voltage Regulator IC

- Resistor Variable 20kΩ
- Resistor 1kΩ
- Kapasitor 22 pF
- Kapasitor 100μF
- Catu daya +/- 12V
- Multimeter

c. Langkah pengujian

1. Merangkai peralatan seperti dalam Gambar 5.3
2. Mengaktifkan catu daya +/- 12 volt
3. Menghubungkan sensor pH dengan RPS
4. Mencelupkan sensor pH pada larutan pH *buffer* yang berbeda-beda
5. Melihat tegangan keluaran RPS



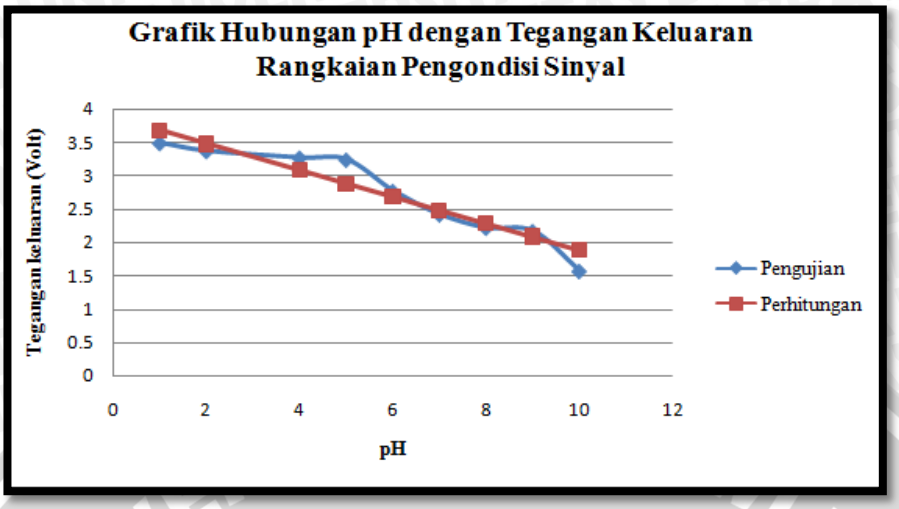
Gambar 5.3 Rangkaian Pengujian RPS (Perancangan)

d. Hasil pengujian

Tabel 5.2 Hasil Pengujian RPS

pH	Pengujian	Perhitungan
1	3.49	3.68
2	3.37	3.48
4	3.27	3.08
5	2.24	2.88
6	2.77	2.68
7	2.42	2.48
8	2.22	2.28
9	2.17	2.08
10	1.57	1.88

Grafik hubungan antara pH dengan tegangan keluaran RPS dapat dilihat dalam Gambar 5.4.



Gambar 5.4 Grafik Hubungan Antara Tegangan Keluaran dengan RPS (Perancangan)

Berdasarkan hasil pengujian dalam Tabel 5.2 dapat diketahui bahwa RPS dapat menguatkan tegangan keluaran sensor menjadi sebesar 1,57-3.49 Volt sesuai kemampuan pembacaan Arduino Uno.

5.3 Pengujian *Driver* EMS H-Bridge 30A

a. Tujuan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja dan respon dari rangkaian *driver* pengendali motor EMS H-Bridge 30A dengan membandingkan dan menguji sinyal respon dari *driver* motor terhadap sinyal masukan PWM yang diberikan oleh Arduino Uno.

b. Peralatan yang digunakan

1. *Driver* EMS H-Bridge 30A
2. *Digital Osciloscope* Vellemen PCSU1000
3. Arduino Uno

c. Langkah pengujian

1. Menghubungkan masukan *driver* EMS H-Bridge 30A ke Arduino Uno.
2. Menghubungkan keluaran *driver* EMS H-Bridge 30A ke *Digital Osciloscope* Vellemen PCSU1000
3. Arduino Uno memberikan instruksi sinyal masukan pada pin PWM *driver* motor EMS H-Bridge 30A dengan *duty cycle* 0 - 100%

4. Pengujian terhadap *input duty cycle* dan *output duty cycle* dilakukan secara bergantian
5. Mencatat hasil perbandingan antara masukan *duty cycle driver* dengan keluaran *duty cycle driver*

d. Hasil pengujian

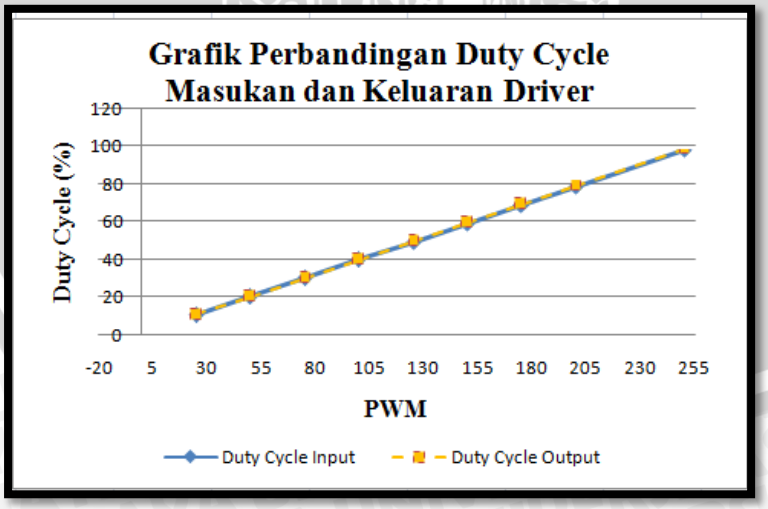
Besar perbandingan antara *duty cycle* masukan *driver* dengan *duty cycle* keluaran *driver* dapat dilihat dalam Tabel 5.4.

Tabel 5.3 Hasil Pengujian *Driver* EMS H-Bridge 30A

Duty Cycle Input (%)	*Duty Cycle Output Driver (%)*	*Error (%)*
10.2	10.5	0.3
19.9	20.2	0.3
29.7	30.1	0.4
39.5	39.7	0.2
49.2	49.5	0.3
59.0	59.3	0.3
68.8	69.0	0.2
78.5	78.8	0.3
98.1	98.4	0.3
Error rata-rata		0.26

Berdasarkan Tabel 5.4 dapat disimpulkan *driver* EMS H-Bridge 30A dapat bekerja dengan baik, karena rata-rata *error* yang dihasilkan hanya sebesar 0.26%.

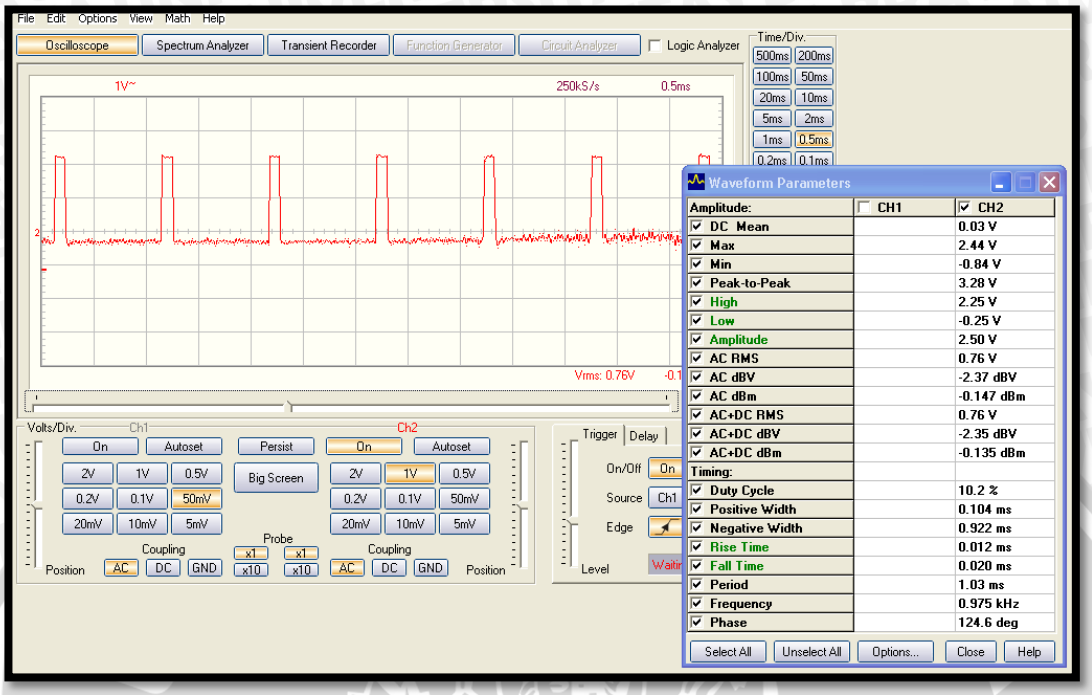
Grafik hubungan antara *duty cycle* masukan dengan *duty cycle* keluaran driver EMS H-Bridge 30A dapat dilihat dalam Gambar 5.5.



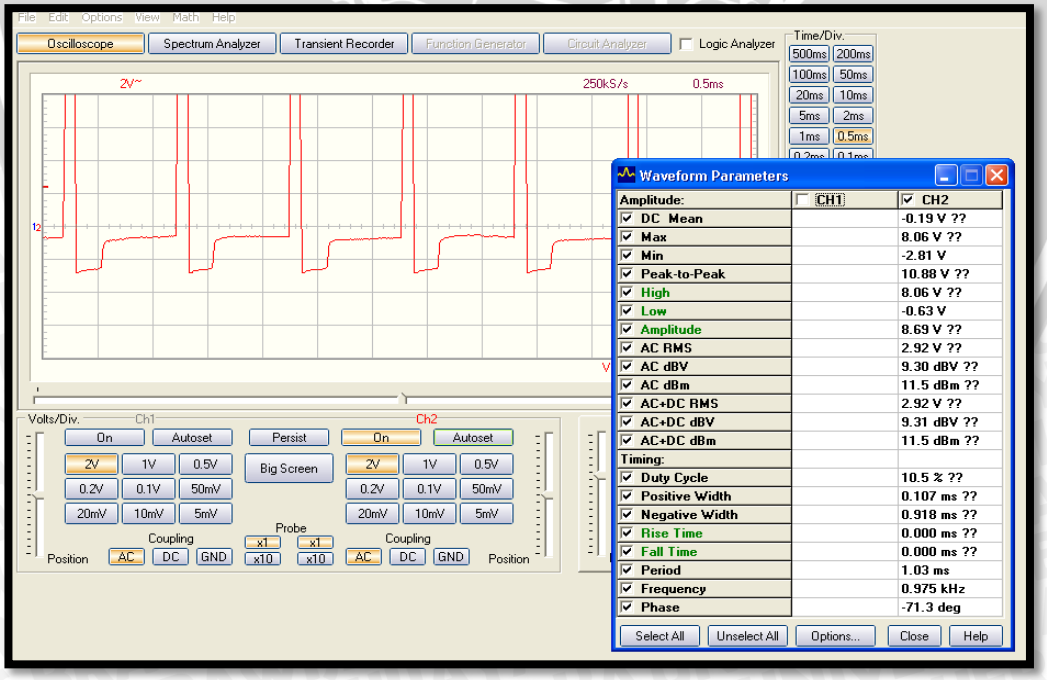
Gambar 5.5 Grafik Perbandingan *Duty Cycle* Masukan dan Keluaran *Driver* (Perancangan)

Hasil pengujian sinyal PWM Arduino Uno dan keluaran *driver* motor EMS H-Bridge 30A dengan menggunakan Osiloskop Velleman PCSU1000 dan tampilan

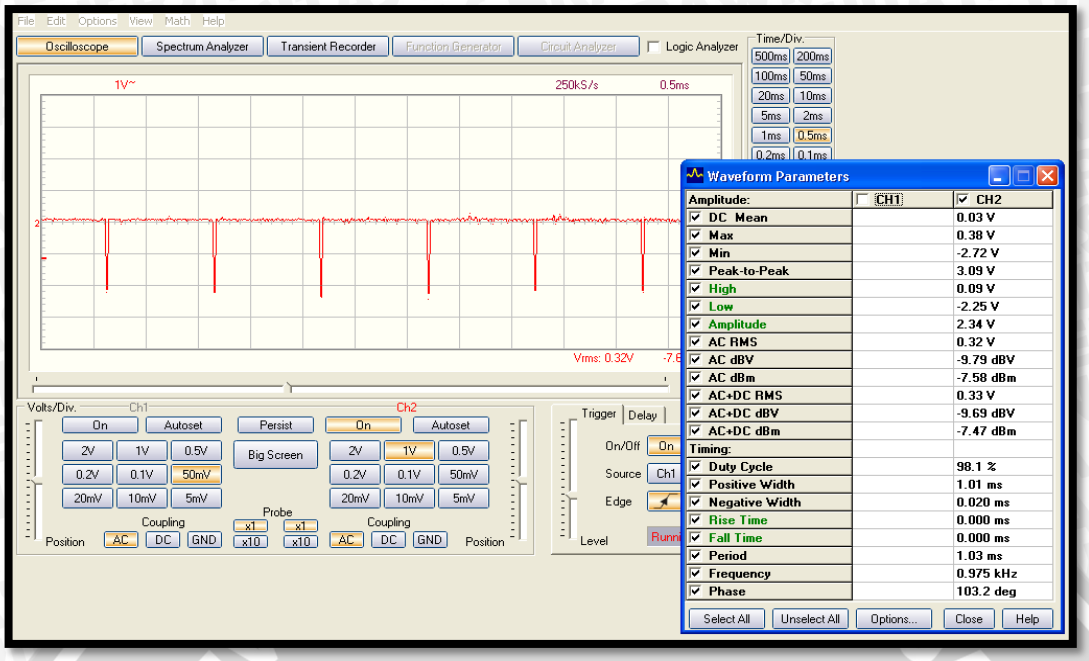
program *waveform* parameter dengan *duty cycle* 10% dan 98% ditunjukkan dalam Gambar 5.6, Gambar 5.7, Gambar 5.8, Gambar 5.9.



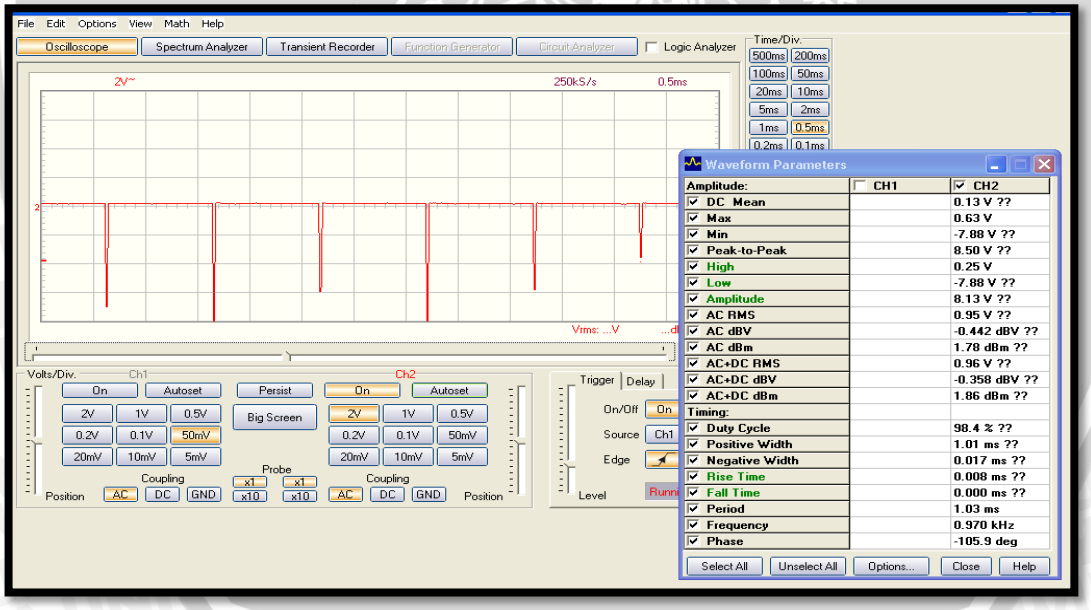
Gambar 5.6 Sinyal Respon *Input Driver* EMS H-Bridge 30A dengan Sinyal *Duty Cycle* 10% (Perancangan)



Gambar 5.7 Sinyal Respon *Output Driver* EMS H-Bridge 30A Terhadap *Duty Cycle Input* 10,2% (Perancangan)



Gambar 5.8 Sinyal Respon *Input Driver* EMS H-Bridge 30A dengan Sinyal *Duty Cycle* 98.1% (Perancangan)



Gambar 5.9 Sinyal Respon *Output Driver* EMS H-Bridge 30A Terhadap *Duty Cycle Input* 98,1% (Perancangan)

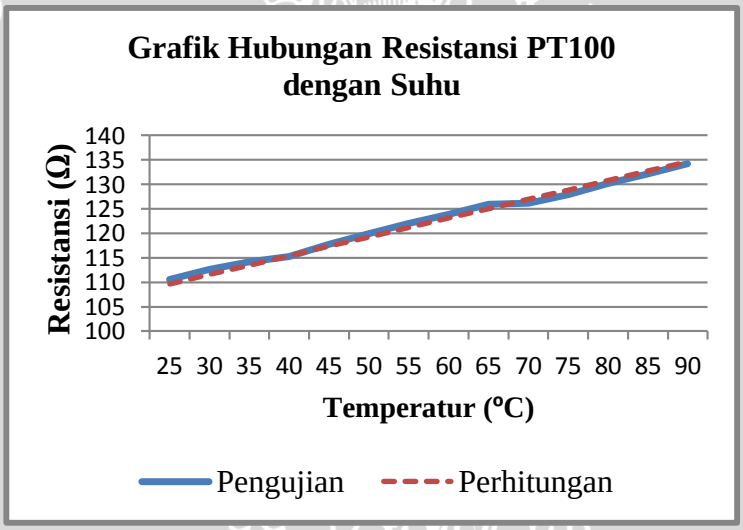
5.4 Pengujian Sensor PT100

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan pembacaan sensor PT100 terhadap perubahan suhu dengan melihat perubahan resistansi sensor PT100, dapat dilihat dalam Tabel 5.4.

Tabel 5.4 Hasil Pengujian PT100

Suhu (°C)	Pengujian (Ω)	Perhitungan (Ω)	Error (%)
25	110,6	109,625	0,89%
30	112,6	111,55	0,94%
35	114,2	113,475	0,64%
40	115,2	115,4	0,17%
45	117,8	117,325	0,40%
50	119,9	119,25	0,55%
55	122	121,175	0,68%
60	123,9i	123,1	0,65%
65	125,9	125,025	0,70%
70	126,1	126,95	0,75%
75	127,9	128,875	1,03%
80	130,2	130,8	0,46%
85	132,2	132,725	0,40%
90	134,2	134,65	0,33%
Rata-Rata			0,61%

Hubungan Resistansi PT100 dengan suhu pada tabel 5.4 ditunjukkan pada gambar 5.10.



Gambar 5.10 Grafik Hubungan Resistansi PT100 dengan Suhu

Hasil pengujian pembacaan perubahan suhu dibuktikan dengan linearitas grafik hasil resistansi pengujian dan *error* rata-rata antara resistansi pengujian dengan resistansi penghitungan adalah 0,61% sesuai dengan Tabel 5.4 dan Gambar 5.10.

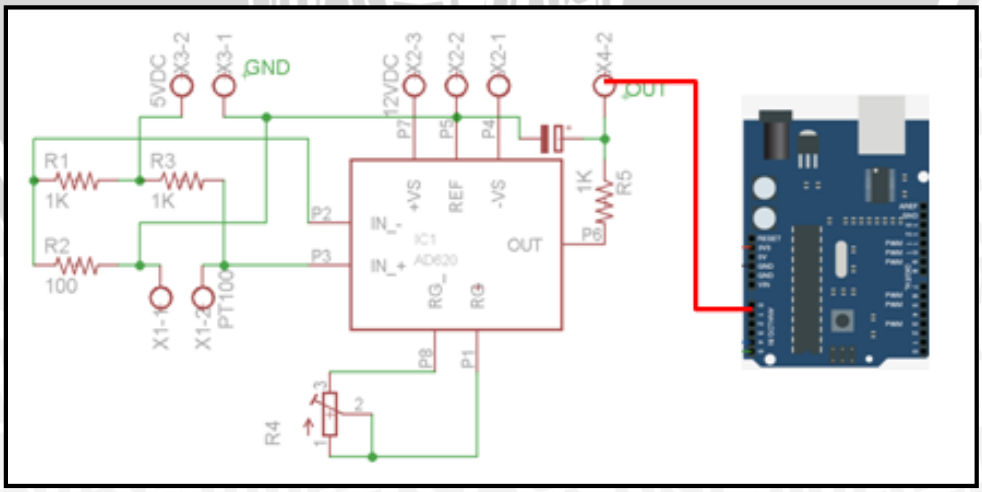
Dalam penelitian ini, suhu dipertahankan antara 57-60℃. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor PT100 memiliki sifat linier dalam melakukan pembacaan perubahan suhu.

5.5 Pengujian Rangkaian Pengondisi Sinyal (RPS) Sensor PT100

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja rangkaian pengokondisi sinyal sensor PT100 terhadap perubahan suhu dengan melihat hasil pembacaan suhu melalui *Serial Monitor* Arduino.

a. Peralatan yang Digunakan
   - Sensor PT100
   - Kompor Pemanas
   - Panci
   - Termometer Digital
   - Arduino UNO
   - Komputer
   - Air

b. Langkah Pengujian
   1. Menghubungkan PT100 dengan rangkaian pengondisi sinyal.
   2. Menghubungkan Arduino UNO dengan PC.
   3. Menghidupkan catu daya rangkaian pengondisi sinyal.
   4. Memanaskan air dalam panci dengan PT100 dan siapkan termometer digital.
   5. Hidupkan *serial monitor* pada *software* Arduino ERW 1.0.5.
   6. Amati dan catat setiap perubahan suhu pada termometer dan hasil pembacaan suhu *serial monitor*. Perancangan rangkaian pengujian RPS PT100 ditunjukkan pada Gambar 5.11.



Gambar 5.11 Rangkaian Pengujian RPS PT100 (Perancangan)

c. Hasil Pengujian dan Analisis

Hasil pengujian rangkaian pengondisi sinyal sensor PT100 ditunjukkan pada Tabel 5.5.

Tabel 5.5 Hasil Pengujian RPS PT100

Suhu Pembacaan Termometer (°C)	Suhu Pembacaan Serial Monitor (°C)	Error (°C)
30	34.55	4.55
35	39.7	4.7
40	44.67	4.67
45	49.78	4.78
50	55.05	5.05
55	59.89	4.89
60	64.93	4.93
65	70.08	5.08
70	75.02	5.02
75	80.39	5.39
80	84.98	4.98
Rata-rata		**4.91**

Berdasarkan hasil pengujian pada tabel 5.5 dapat dilihat bahwa *error* yang dihasilkan sangat besar yaitu sebesar 4.91°C. Karena error cukup besar, dilakukan kompensasi *error* dengan metode regresi linear. Sehingga didapatkan fungsi regresi linear pada persamaan berikut.

$$\sum x_i\, a_0 + \sum x_i^2 a_1 = \sum x_i y_i \qquad (5\text{-}1)$$

$$f = a_0 + a_1 x$$

$$f = -4{,}20889 + 0.988250178x$$

Hasil pengujian setelah kalibrasi dengan menggunakan persamaan 3 dapat dilihat dalam Tabel 5.6

Tabel 5.6 Hasil Pengujian RPS PT100 setelah kalibrasi

Suhu Pembacaan Termometer (°C)	Suhu Pembacaan Serial Monitor (°C)	Error (°C)
30	29.79	0.21
35	34.425	0.58
40	39.755	0.25
45	44.72	0.28
50	49.55	0.45
55	54.34	0.66
60	59.37	0.63
65	64.385	0.62
70	69.45	0.55
75	74.55	0.45
80	79.43	0.57
Rata-rata		**0.48**

Hasil pengujian menunjukkan bahwa RPS PT100 setelah dilakukan kalibrasi dapat membaca perubahan suhu dengan baik dengan error rata-rata 0,48. Hal ini menunjukkan bahwa kalibrasi yang dilakukan pada rangkaian pengondisi sinyal sensor PT100 dapat bekerja dengan baik.

5.6 Pengujian sinyal Kontrol Motor DC Servo

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh perubahan pulsa PWM terhadap sudut putaran dan *duty cycle* pada motor DC servo.

- Peralatan yang digunakan
  - Motor DC Servo Micro GWS 2BBMG
  - Driver motor servo
  - Busur 180°
  - Komputer
  - *Digital Oscilloscope* Vellemen PCSU1000
- Langkah Pengujian
  - Menghubungkan *input driver* motor DC servo dengan *output* pada pin 5.
  - Menghubungkan *output driver* motor DC servo dengan pin motor DC servo.
  - Menghubungkan *output* PWM *driver* motor dengan *Digital Oscilloscope* Vellemen PCSU1000.
  - Menghubungkan rangkaian dengan catu daya.
  - Mengamati dan mengukur besar sudut putaran motor DC servo dengan menggunakan busur.

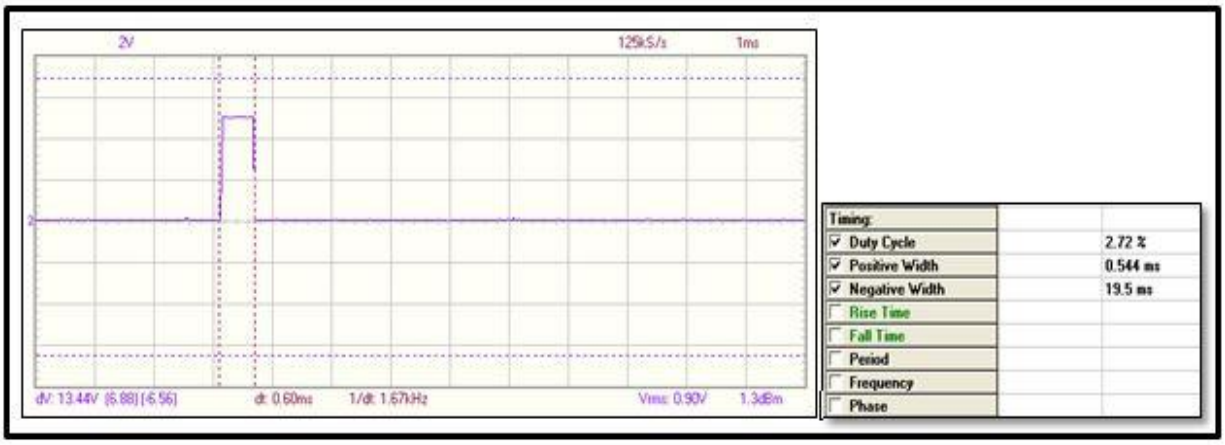
- Mengamati dan mencatat *duty cycle* PWM pada tampilan *waveform parameter software* PC-Lab

Hasil pengujian dapat dilihat dalam Tabel 5.7.

Tabel 5.7 Hasil Pengujian Motor DC Servo

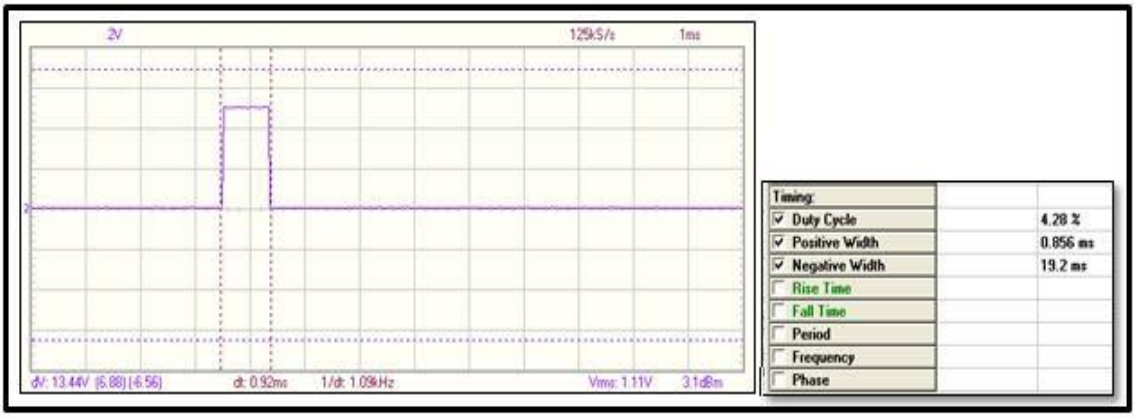
Sudut	*Duty Cycle* (%)	PWM
10	3.2	8.3
20	3.8	9.6
30	4.3	10.9
40	4.8	12.2
50	5.3	13.5
60	5.8	14.9
70	6.3	16.1
80	6.8	17.4
90	7.4	18.7
100	7.9	20
110	8.4	21.3
120	8.9	22.7
130	9.4	24
140	9.9	25.3
150	10.4	26.5
160	10.9	27.9
170	11.5	29.2
180	12	30.6

Hasil pengujian motor DC Servo menunjukkan bahwa semakin besar pulsa, maka sudut putaran DC servo akan semakin besar karena *duty cycle* juga semakin besar. Sinyal kontrol motor DC servo pada sudut 0° ditunjukkan dalam Gambar 5.12.



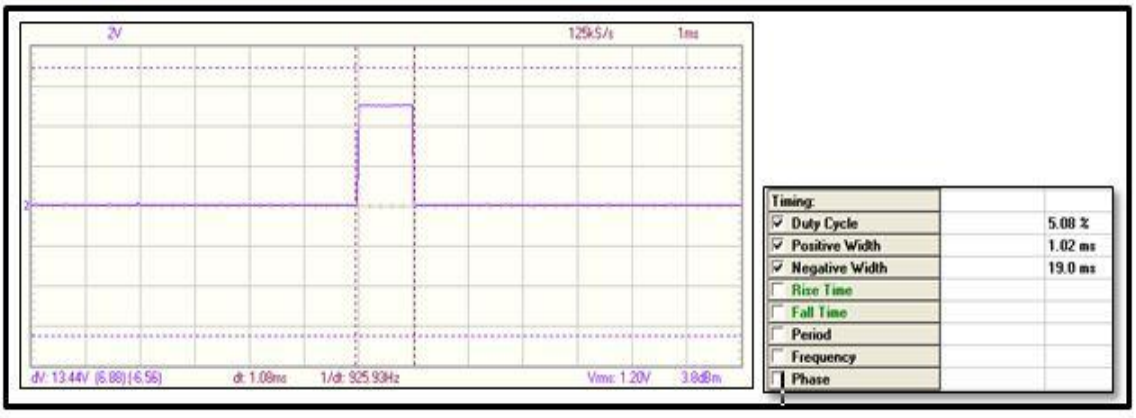
Gambar 5.12 Gambar Sinyal Kontrol Motor DC Servo pada Sudut 0°

Sinyal kontrol motor DC servo pada sudut 30° ditunjukkan dalam Gambar 5.13.



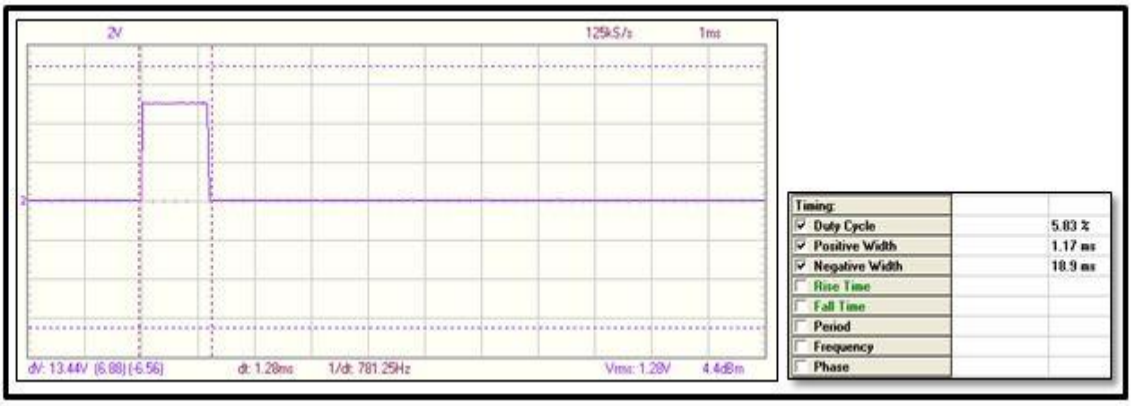
Gambar 5.13 Sinyal Kontrol Motor DC servo pada sudut 30°

Sinyal kontrol motor DC servo pada sudut 45° ditunjukkan dalam Gambar 5.14.



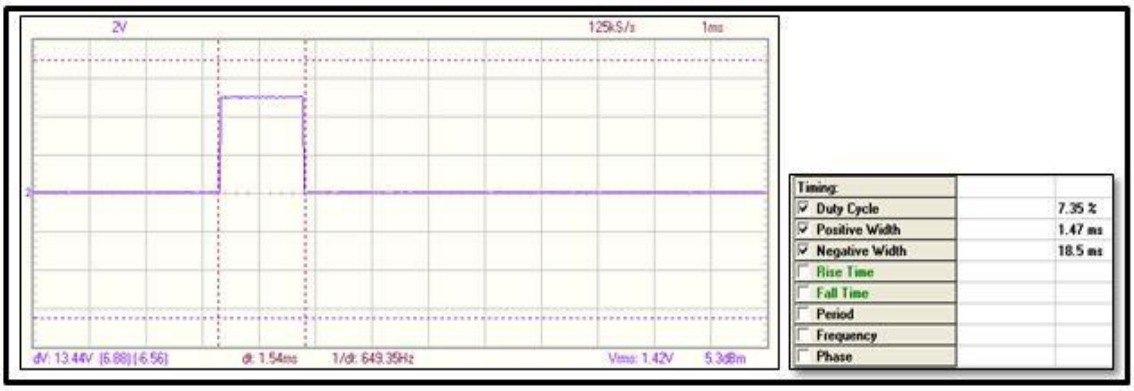
Gambar 5.14 Sinyal Kontrol Motor DC servo pada sudut 45°

Sinyal kontrol motor DC servo pada sudut 60° ditunjukkan dalam Gambar 5.15.



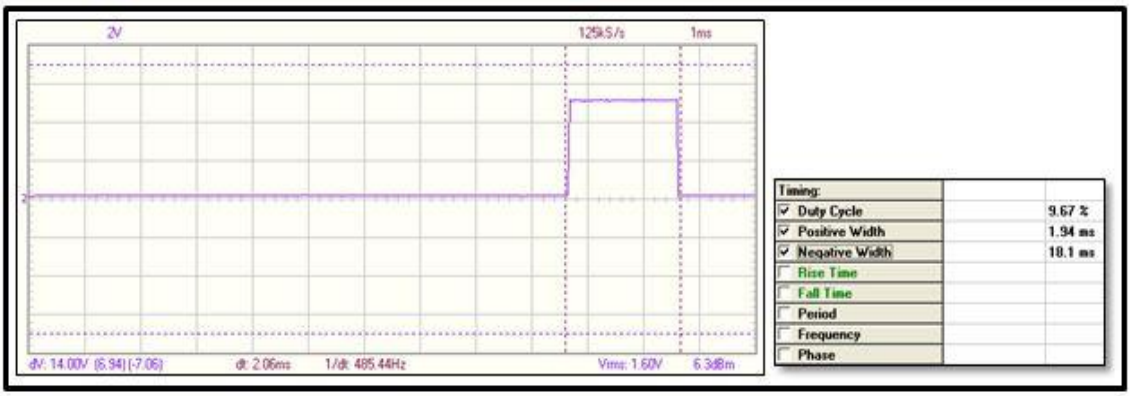
Gambar 5.15 Sinyal Kontrol Motor DC servo pada sudut 60°

Sinyal kontrol motor DC servo pada sudut 90° ditunjukkan dalam Gambar 5.16.



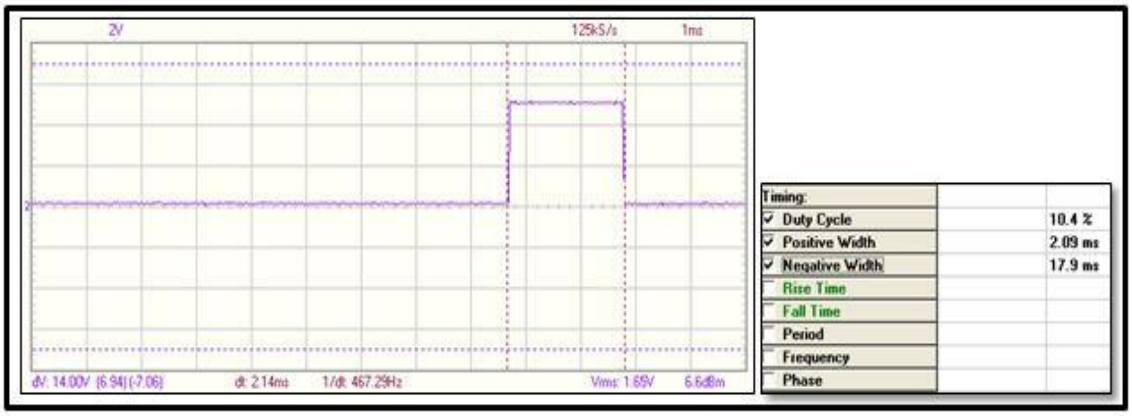
Gambar 5.16 Sinyal Kontrol Motor DC servo pada sudut 90°

Sinyal kontrol motor DC servo pada sudut 135° ditunjukkan dalam Gambar 5.17.



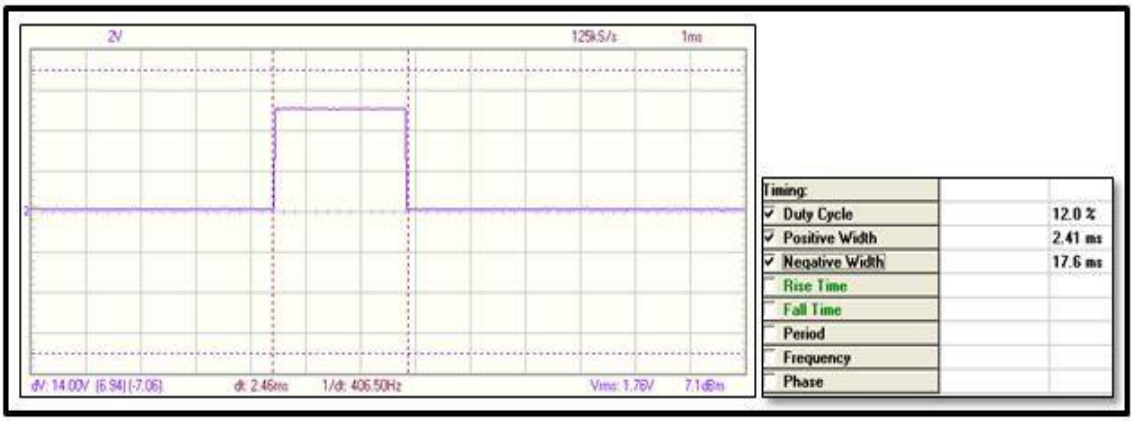
Gambar 5.17 Sinyal Kontrol Motor DC servo pada sudut 135°

Sinyal kontrol motor DC servo pada sudut 150° ditunjukkan dalam Gambar 5.18.



Gambar 5.18 Sinyal Kontrol Motor DC servo pada sudut 150°

Sinyal kontrol motor DC servo pada sudut 180° ditunjukkan dalam Gambar 5.19.



Gambar 5.19 Sinyal Kontrol Motor DC servo pada sudut 180°

5.7 Pengujian Keseluruhan Sistem

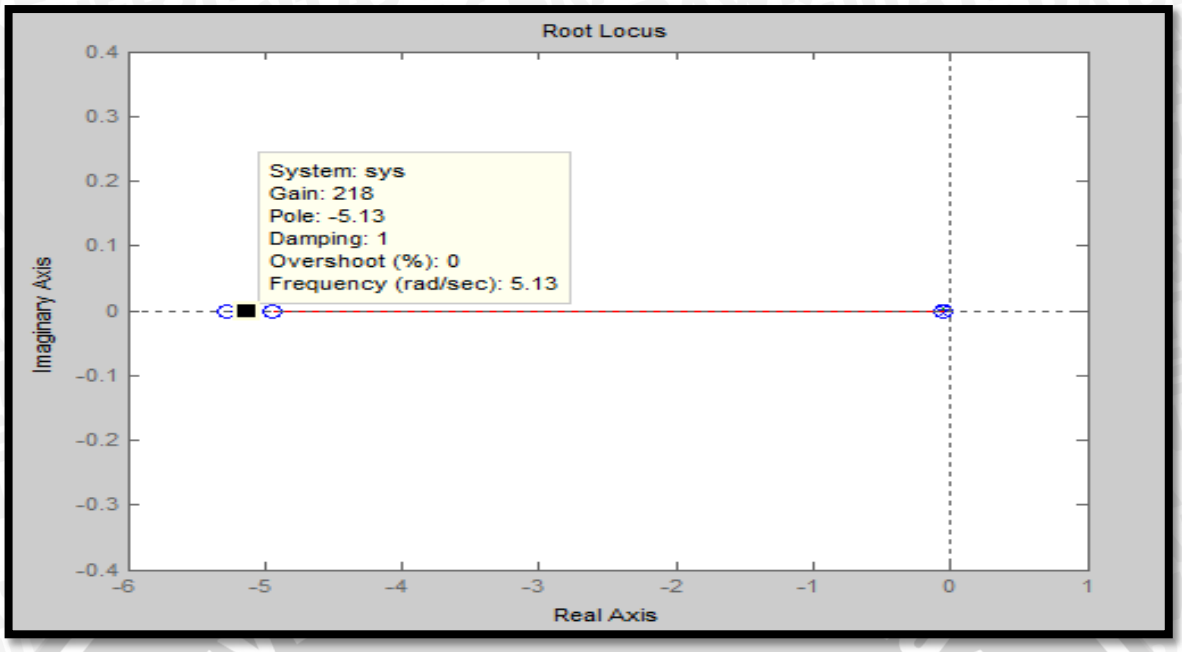
Pengujian keseluruhan sistem dilakukan untuk menguji apakah parameter yang sudah ditentukan dapat diaplikasikan pada alat dan sudah sesuai dengan *setpoint* yang diinginkan. Pada pengujian ini semua blok rangkaian dihubungkan setelah itu memasukkan nilai parameter yang telah ditentukan, serta mengamati dan menganalisa hasil kinerja alat.

Langkah – langkah pengujian keseluruhan adalah sebagai berikut :

1. Memasukkan nilai parameter Kp, Ki dan Kd dari hasil perhitungan.
2. Memasukkan *setpoint* yang diinginkan.
3. Mengamati dan menganalisa hasil dari kinerja sistem.

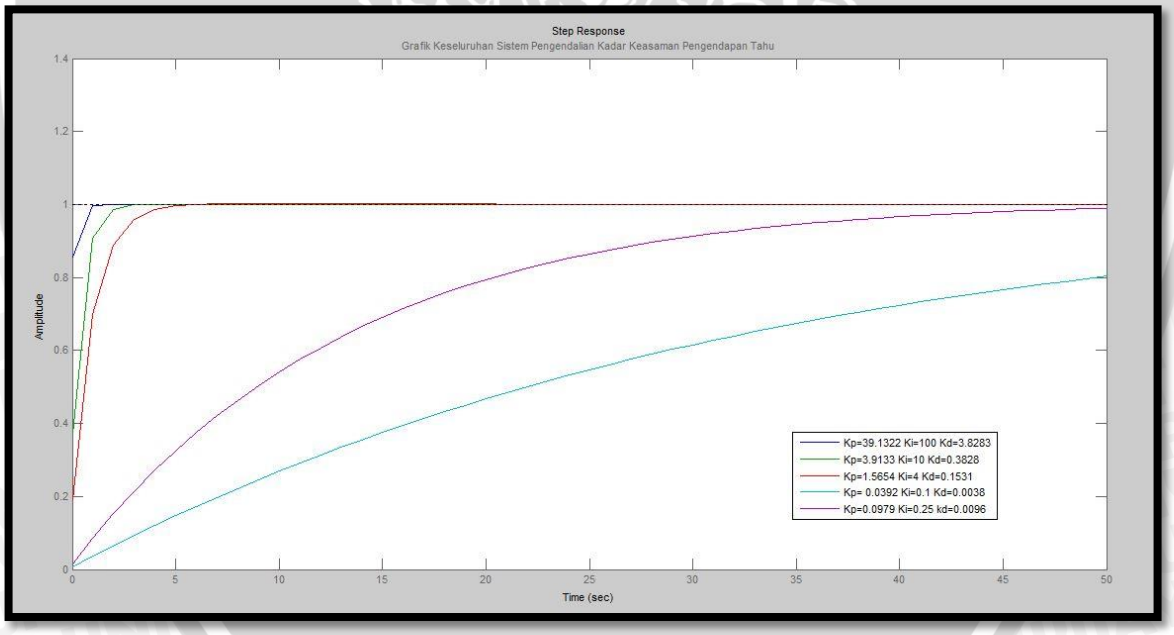
Penentuan pole dari fungsi alih sistem *loop* terbuka dilakukan dengan verifikasi model sistem. Verifikasi dilakukan untuk mengetahui apakah model sistem yang telah disusun menghasilkan respon sistem yang memenuhi kriteria kestabilan mutlak. Dalam hal ini model sistem akan diuji dengan memberikan masukan berupa unit *step*, selain itu akar-akar *loop* dari sistem ditampilkan dalam *root locus* diagram.

Akar – akar *loop* terbuka sistem ditunjukkan dalam diagram *root locus* seperti terlihat dalam Gambar 5.20. Dapat dilihat letak *pole – pole* sistem dalam Gambar 5.20 ada pada sebelah kiri bidang s sehingga memenuhi syarat kestabilan. Langkah selanjutnya adalah penentuan parameter PID dengan memasukkan s_1 dalam Persamaan 2.16 dengan memodifikasi nilai Ki yang diinginkan dihasilkan respon dalam Gambar 5.21.



Gambar 5.20 Diagram *Root Locus* Tanpa Kontroler (Perancangan)

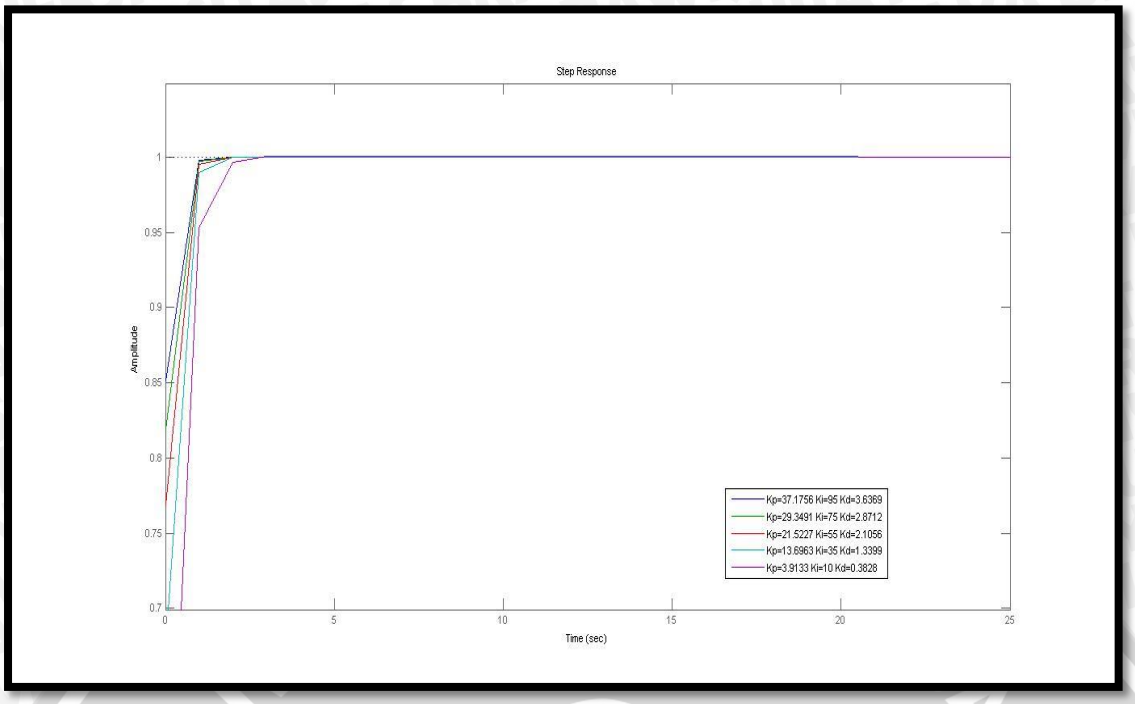
Berdasarkan Gambar 5.21 respon sistem dengan Kp=3.9133 Ki=10 dan Kd=0.3828 memiliki *error* terkecil dengan nilai 0.17 dengan ts tercepat sebesar 91s.



Gambar 5.21 Respon Sistem Berdasarkan Parameter PID pada Tabel 4.3 (Perancangan)

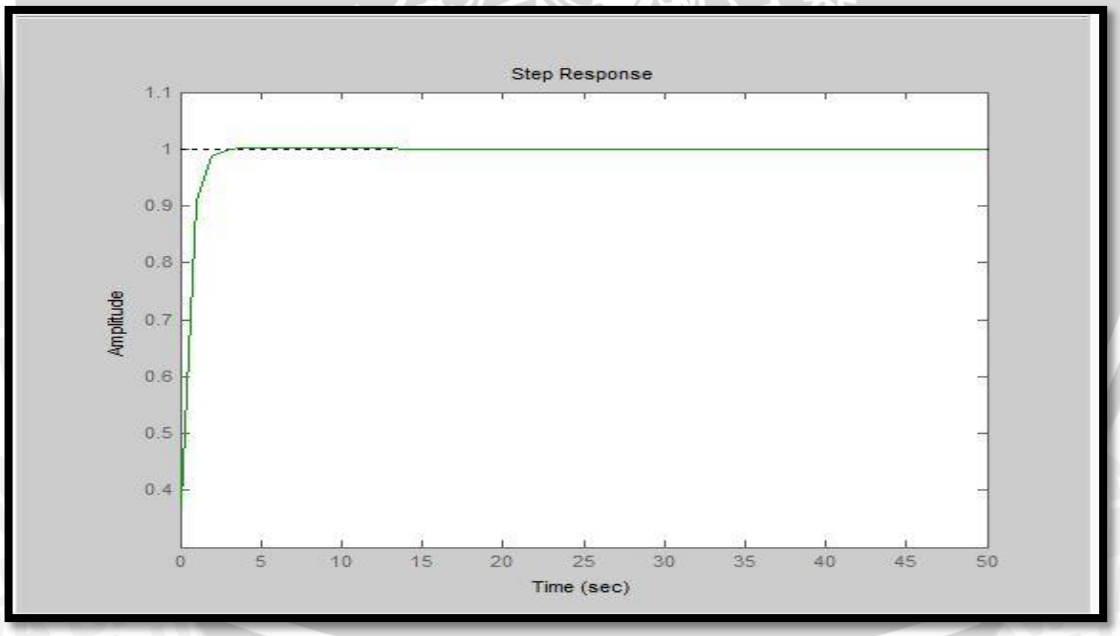
Gambar 5.21 menunjukkan keluaran respon dengan kontroler menggunakan simulasi MATLAB 2010. Masukan berupa unit *step* . Dari hasil simulasi respon yang dihasilkan sesuai dengan *setpoint* yang diinginkan.

Untuk mengetahui respon sistem dengan rentan Kp 3.9133 - 37.1756 ditampilkan dalam Gambar 5.22.



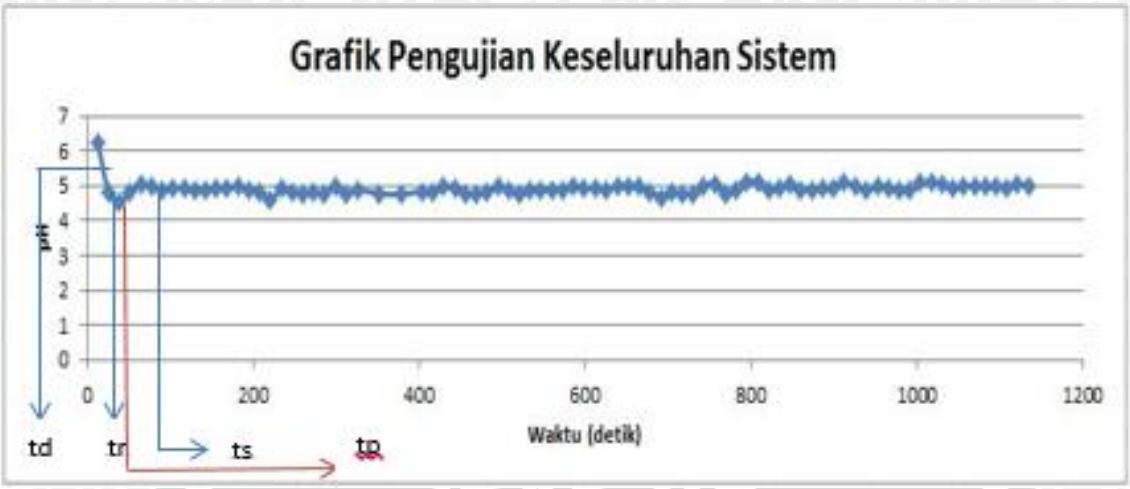
Gambar 5.22 Respon Sistem Berdasarkan Parameter PID pada Kp 3.9133-37.1756 (Perancangan)

Berdasarkan Gambar 2.22 diamati bahwa respon sistem yang terbaik didapatkan dengan nilai Kp=3.9133 Ki=10 dan Kd=0.3828.



Gambar 5.23 Grafik Respon Sistem dengan Kp=3.9133 Ki=10 dan Kd=0.3828 pada MATLAB 2010 (Perancangan)

Hasil parameter PID hasil perhitungan kemudian diimplementasikan pada sistem dan didapatkan pembacaan pH terhadap waktu pada Gambar 5.24.



Gambar 5.24 Grafik Pembacaan pH Terhadap Waktu (Perancangan)

$$F(s) = \frac{1.554s+0.07376}{S^2+1.688s+0.06762} = \frac{\omega_n{}^2}{s^2+2\xi\omega_n s+\omega_n{}^2} \quad (5.1)$$

$$2\xi\omega_n = 1.688 \quad (5.2)$$

$$\omega_n = \sqrt{0.06762} = 0.26 \quad (5.3)$$

$$\xi = \frac{1.688}{2 \text{ x } 0.26} = 0.032 \quad (5.4)$$

tr=50s

td=25s

tp=30s

ts=91s

Mp= $\left|\frac{4-5}{5}\right|$ x 100%

=0.2 x 100%

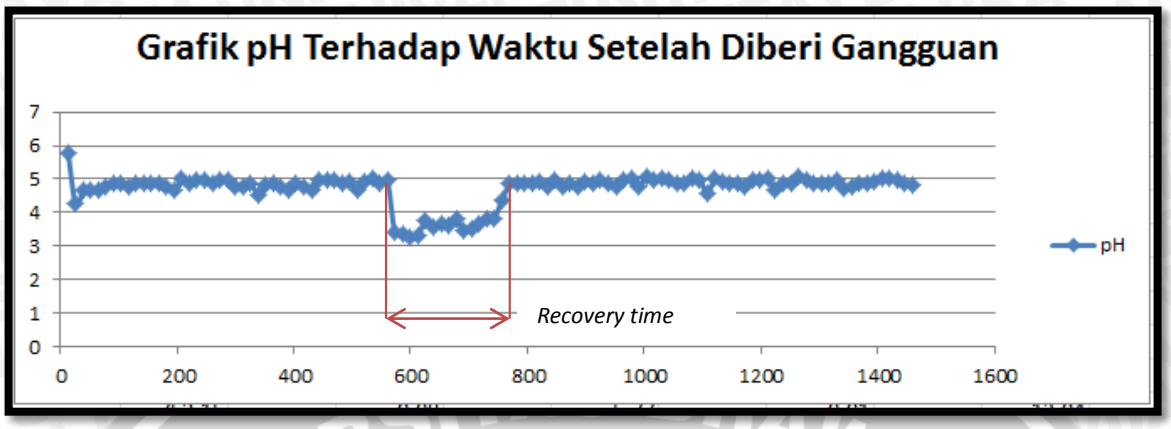
=20%

Keterangan :

tr : *Rise Time*
td : *Delay Time*
tp : *Peak Time*
ts : *Settling Time*
Mp: *Maximum Overshoot*

Pada Gambar 5.25 menunjukkan kinerja system saat diberi gangguan berupa pemberian asam cuka sebanyal 150mL. Sistem dengan Kp=3.9133 Ki=10 dan

Kd=0.3828 dapat mempertahankan pH air pengendapan dengan nilai ts = 91s. Sistem dapat mempertahankan pH setelah mengalami *recovery time* selama 220s.



Gambar 5.25. Grafik Respon Sistem dengan Gangguan (Perancangan)

5.7 Pengujian Protein

Untuk mengetahui kadar protein yang terkandung dalam pengendapan tahu, maka dilakukan pengujian protein pada tahu hasil pengendapan dan air pengendapan tahu. Hasil pengujian ditunjukkan pada tabel 5.8.

Tabel 5.8 Hasil Uji Protein

Kode	Protein (%)
Tahu	7.71
Air pengendapan Tahu	0.20

Menurut Penelitian Khomsan dan Anwa mahar Universitas Sumatera Utara, tabel 5.8 menunjukkan bahwa protein yang terkandung pada tahu sebesar 7.71% hal ini menunjukkan bahwa tahu ini dapat dikonsumsi dan memiliki kandungan gizi yang baik. Prosentase 0.20% pada air pengendapan tahu menunjukan bahwa hampir tidak ada protein yang terbuang pada limbah pengendapan tahu dalam penelitian ini.