

SISTEM PENGENDALIAN SUHU PADA PROSES DISTILASI VAKUM BIOETANOL DENGAN MENGGUNAKAN ARDUINO

Akhmad Salmi Firsyari, Pembimbing 1: Ir. Purwanto MT., Pembimbing 2: dan M Aziz Muslim ST., MT., Ph.D.

Abstrak - Bioetanol adalah bahan bakar pengganti bensin yang prospektif. Dalam pembuatannya, terdapat beberapa tahap proses, salah satunya adalah distilasi vakum. Distilasi vakum merupakan proses distilasi bahan baku dengan suhu dan tekanan tertentu.

Pada penelitian awal ini dikembangkan kontroler untuk menjaga kestabilan suhu, sedangkan untuk pengendalian tekanan masih dikendalikan secara manual. Metode kontrol yang digunakan untuk pengendalian ini ialah kontrol PID menggunakan Arduino. Salah satu keuntungan kontrol PID adalah sebuah sistem yang sederhana sehingga lebih cepat dalam mengambil keputusan. Pada skripsi ini digunakan metode *hand tuning* sebagai penentu parameter PID. Dalam pembuatan, penelitian ini menggunakan sensor suhu PT100, Arduino Mega 2560, elemen pemanas listrik.

Hasil pengujian kontroler PID dengan menggunakan parameter yang didapatkan dari metode *hand tuning*, sistem pengendalian suhu distilasi ini cukup berhasil dalam menjaga kestabilan suhu dengan *error steady state* sebesar 0.17%.

Kata Kunci: Bioetanol, Distilasi Vakum, kontrol PID, arduino mega, PT100, rangkaian *dimmer*.

I. PENDAHULUAN

Dewasa ini kebutuhan energi di dunia semakin tinggi. Menurut para ahli minyak bumi, bahan bakar fosil diperkirakan akan habis 30 tahun lagi. Perkiraan itu didasari dengan adanya peningkatan permintaan energi rata-rata sebesar 1.6% per tahun dan sekitar 80% kebutuhan energi dunia tersebut pasok oleh bahan bakar fosil. Data di atas merupakan sebuah proyeksi dari Internasional Energy Agency (IEA).

Bioetanol adalah bahan bakar pengganti bensin yang prospektif. Dalam pembuatannya, terdapat beberapa tahap proses, salah satunya adalah distilasi vakum. Distilasi vakum merupakan proses distilasi bahan baku dengan suhu dan tekanan tertentu. Distilasi vakum dilakukan sebagai pengganti dari proses absorpsi yang dapat memakan waktu 2-3 hari, oleh karena itu dibutuhkan kontroler yang dapat menjaga tekanan dan suhu pada kondisi tertentu.

Tahap awal pengembangan, dirancang sistem pengendalian suhu menggunakan Arduino Mega yang berbasis kontroler PID sebagai algoritma kontrolnya. Keuntungan dari kontroler PID adalah sebuah sistem sederhana sehingga lebih cepat dalam mengambil keputusan. Penggunaan kontroler PID bertujuan agar sistem distilasi vakum bisa mempertahankan suhu sesuai setpoint tanpa adanya *overshoot*.

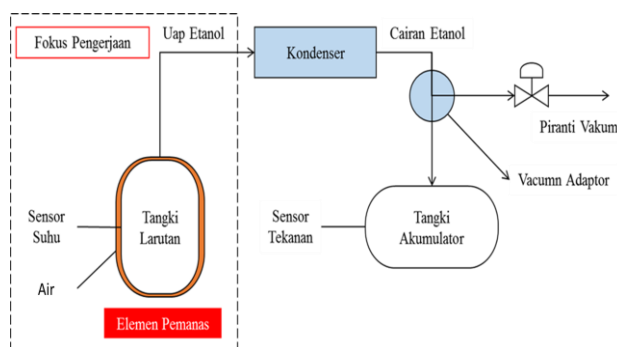
II. PERANCANGAN SISTEM

A. Spesifikasi Alat

Adapun spesifikasi alat sebagai berikut:

1. Tangki larutan, merupakan tempat berlangsungnya proses pemanasan dan distilasi larutan bahan baku bioetanol.
2. Kondenser disini disambungkan dengan hasil penguapan di tangki larutan.
3. Piranti vakum dipasang pada tangki akumulator.
4. Sensor Suhu PT100 dipasang di dalam tangki, sehingga bisa bersentuhan langsung dengan larutan bahan baku.
5. Elemen Pemanas dengan total daya sebesar 1200W
6. Perangkat kontrol yang digunakan adalah Arduino Mega 2560.
7. Kontroler yang digunakan ialah kontroler Proporsional, Derferensial dan Integral (PID).

Perancangan perangkat keras *vacuum distiller* dapat dilihat pada gambar 1.



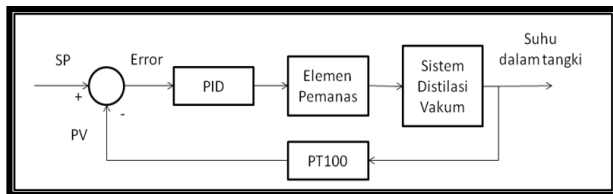
Gambar 1. Perancangan *vacuum distiller*



Gambar 2. Perancangan *vacuum distiller*

B. Blok Diagram Sistem

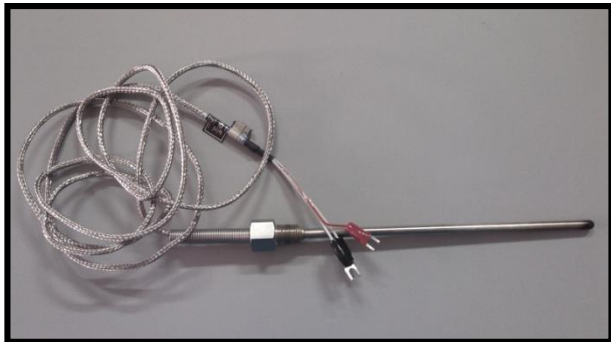
Gambar 3 adalah gambar blok diagram dari sistem yang telah dirancang.



Gambar 3. Blok Diagram Sistem

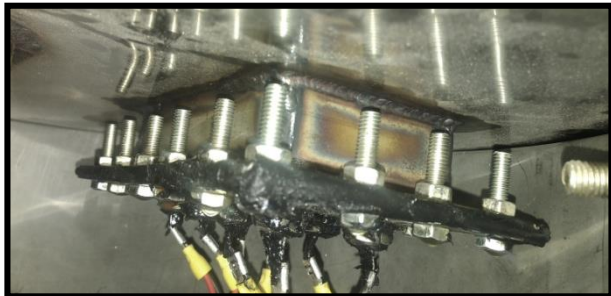
Berikut keterangan dari blok diagram di atas:

1. Sensor PT100 merupakan sensor suhu yang digunakan dalam sistem distilasi vakum.



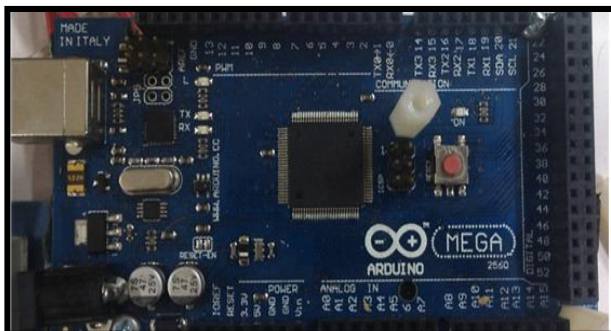
Gambar 4. Sensor Suhu RTD PT100

2. Elemen pemanas yang digunakan ada 4 buah dan masing-masingnya memiliki daya 300 W.



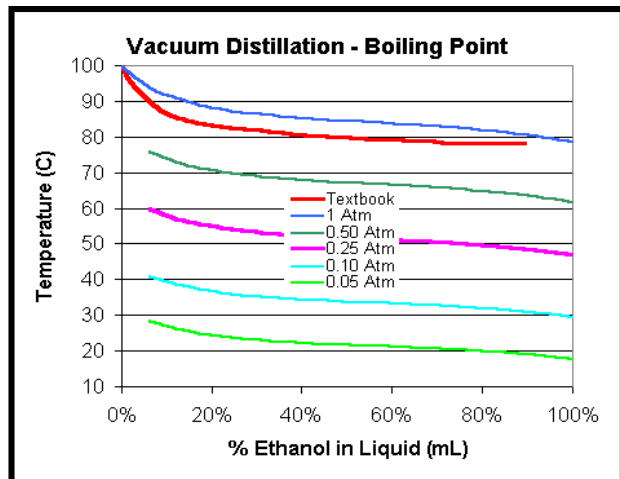
Gambar 5. Elemen Pemanas

3. Kontroler yang digunakan adalah kontroler PID yang diproses di dalam Arduino Mega 2560.



Gambar 6. Arduino Mega

4. Setpoint suhu di sini adalah sebesar 62°C dengan pengaturan tekanan sebesar 0,5 atm.



Gambar 7. Titik didih alkohol di berbagai macam tekanan [1]

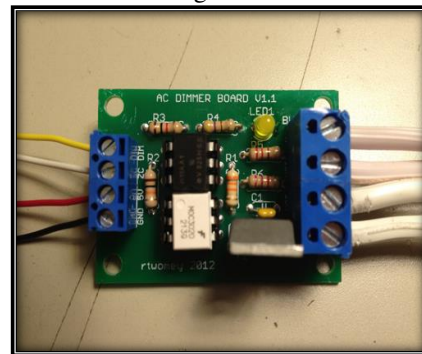
C. Prinsip Kerja Alat

Cara kerja alat ini yaitu sebagai berikut:

1. Sistem pengendalian dimulai dengan terdeteksinya suhu di dalam tangki oleh PT100 dan kemudian arduino mulai mengeluarkan sinyal terkontrol pada rangkaian dimmer. Ketika itu juga elemen pemanas mulai memanaskan sesuai dengan masukan sinyal terkontrol.
2. Semakin besar nilai *dimming* semakin lama juga delay untuk pemicuan TRIAC yang ada pada rangkaian *dimmer*. Hal itu membuat tegangan AC semakin kecil.
3. Suhu dijaga agar bisa tetap berada di 62°C.

D. Modul Rangkaian Dimmer

Perlunya sebuah rangkaian yang bisa digunakan untuk melakukan pengendalian AC, rangkaian tersebut rangkaian *dimmer* yang di dalamnya terdiri dari rangkaian TRIAC dan rangkaian *Zero Cross Detector*.



Gambar 8. AC Dimmer Module Lite (v1.1)

1. Rangkaian TRIAC

TRIAC atau *Triode for Alternating Current* (Trioda untuk arus bolak-balik) adalah komponen yang tersusun atas dua buah *thyristor* antiparalel dengan terminal *gate* yang sama. Ini menunjukkan sakelar dua arah yang dapat mengalirkan arus listrik ke kedua arah ketika dipicu (dihidupkan). Konfigurasi tersebut membuat TRIAC merupakan komponen yang digunakan untuk mengatur tegangan AC sehingga pemicuan dari *gate* TRIAC juga dapat dilakukan dengan pulsa negatif atau pulsa positif (sesuai tegangan AC). Dalam penggunaannya dibutuhkan DIAC sebagai *driver* dari TRIAC. Selain itu dibutuhkan juga komponen yang

mampu berfungsi sebagai isolator antara tegangan 220V dan 5V untuk melindungi mikrokontroler dari tegangan balik. Sehingga komponen yang sesuai dengan spesifikasi di atas adalah *optocoupler*. Optocoupler yang komponen utamanya berupa DIAC adalah MOC3020.

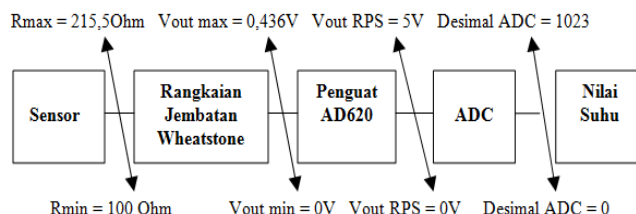
2. Rangkaian Zero Cross Detector

Zero cross detector merupakan rangkaian yang digunakan untuk mendeteksi gelombang sinusoidal AC 220 volt saat melewati titik tegangan nol. Seberangan titik nol yang dideteksi adalah peralihan dari positif menuju negatif dan peralihan dari negatif menuju positif. Seberangan-seberangan titik nol ini merupakan acuan yang digunakan sebagai awal pemberian nilai waktu tunda untuk pemicuan triac.

Penggunaan rangkaian *zero crossing detector* bertujuan agar sistem bisa mendeteksi *zero point* sekaligus mengubah suatu sinyal sinusoidal menjadi sinyal kotak. Sinyal keluaran rangkaian *zero cross detector* ini akan dimasukkan ke mikrokontroler, oleh karena itu dibutuhkan juga komponen yang mampu memisahkan tegangan 5V dan 220V. Untuk rangkaian ini digunakan komponen optocoupler 4N35.

E. Perancangan Pengondisi Sinyal Sensor Suhu PT100

PT100 adalah sensor suhu, dimana apabila terjadi perubahan suhu, berubah pula besar resistansinya, perubahan tersebut sesuai dengan Persamaan (1). Dibutuhkan rangkaian yang bisa mengubah besar resistansi PT100 ke dalam tegangan tertentu agar perubahan suhu yang dideteksi oleh PT 100 dapat terdeteksi pada perubahan level tegangan. Rangkaian tersebut adalah jembatan wheatstone [2]. Diagram blok perancangan sensor suhu PT100 ditunjukkan pada gambar di bawah.



Gambar 9. Diagram Blok Sensor Suhu PT100

Karakteristik PT100 yang terdapat di datasheet menjelaskan tentang persamaan perubahan resistansi PT 100 terhadap perubahan suhu[3]:

$$R_{pt} = 100 + (0.385 * \text{suhu}) \dots\dots\dots (1)$$

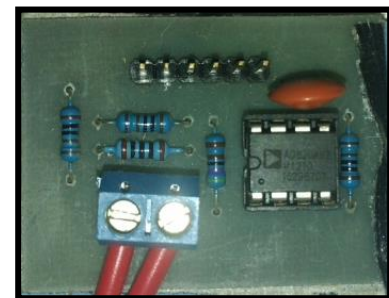
PT100 dibuat agar bisa membaca suhu dalam range 0 - 300°C. Dari kedua batas tersebut didapatkan range resistansi PT 100 adalah 100 ohm hingga 215.5 ohm.

Perhitungan pembagian tegangan pada jembatan wheatstone mendapatkan nilai VB selalu tetap yaitu 0.45V dan nilai maksimal VA yaitu 0.886V maka didapatkan range ΔV yaitu VA dikurangi VB adalah 0 – 0.436V.

Langkah selanjutnya adalah membuat suatu rangkaian yang dapat mengubah besar level tegangan 0 - 0.436V menjadi 0 – 4.9951V. Penyebabnya karena ADC bertegangan referensi 5V dan hanya bisa menerima range tegangan sebesar 0 – 4.9951 V. Rangkaian tersebut adalah rangkaian penguat. Penguat instrumentasi yang digunakan di perancangan ini adalah penguat AD 620.

$$G = \frac{49.4 \text{ k}\Omega}{R_g} + 1 \dots\dots\dots (2)$$

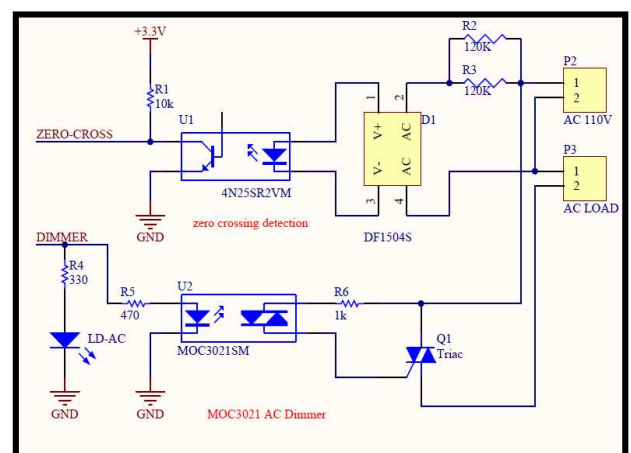
Persamaan (2) adalah persamaan penguat instrumentasi AD 620 [4]. Setelah sinyal pada sensor suhu sudah memenuhi syarat dan ketentuan ADC *internal* mikrokontroler, maka sinyal tersebut masuk pada bagian *port analog* atau *port* ADC mikrokontroler Atmega 2560 untuk dicacah menjadi suatu sinyal digital. Hasil cacahan tersebut menunjukkan besar resolusi suhu yang dapat diukur adalah 0.26 °C. Modul rangkaian pengkondisi sinyal PT100 ditunjukkan pada gambar 6.



Gambar 10. Modul RPS sensor suhu PT100

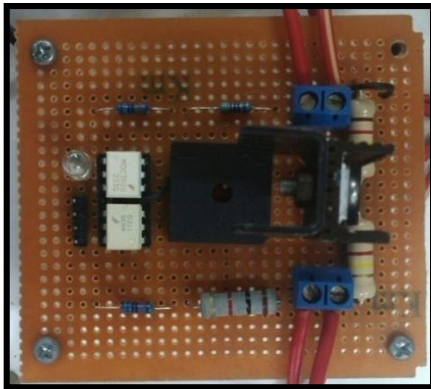
F. Perancangan Modul Rangkaian Dimmer

Modul pengendali tegangan yang digunakan adalah *AC dimmer module lite* (v.2). Dengan berfungsikan sebagai pendeteksi gelombang sinus AC 220 volt saat melewati titik tegangan nol dan mengatur tegangan AC melalui pemicuan dari *gate* TRIAC.



Gambar 11. Rangkaian AC dimmer module lite (v.1.1)

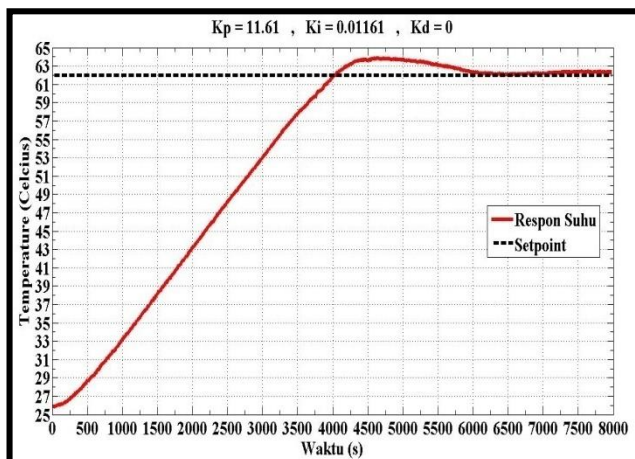
Hasil rangkaian dapat dilihat pada gambar 12.



Gambar 12. Modul Rangkaian Dimmer

G. Perancangan Kontroler PID

Penentuan parameter dari kontroler PID bisa menggunakan beberapa cara, antara lain Ziegler-Nichols *tuning*, *loop tuning*, metode analitis, optimisasi, *pole placement*, *auto tuning*, dan *hand tuning* [5]. Pada perancangan kontroler PID sistem pengendalian suhu ini, awalnya menggunakan metode Ziegler-Nichols, Gambar 13 adalah hasil respon dengan menggunakan parameter $K_p = 11.61$, $K_i = 0.01161$, $K_d = 0$.

Gambar 13. Grafik respon dengan $K_p = 11.61$, $K_i = 0.01161$

Hasil respon dengan menggunakan metode Ziegler-Nichols masih terdapat overshoot, maka dari itu digunakan metode *hand tuning* untuk menentukan parameter K_p , K_i , dan K_d . Langkah awal proses *tuning* ini dilakukan dengan mengatur nilai K_p sehingga didapatkan respon sistem mendekati *setpoint*. Respon hasil perancangan nilai K_p ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil perancangan nilai K_p dengan *setpoint* 62°C

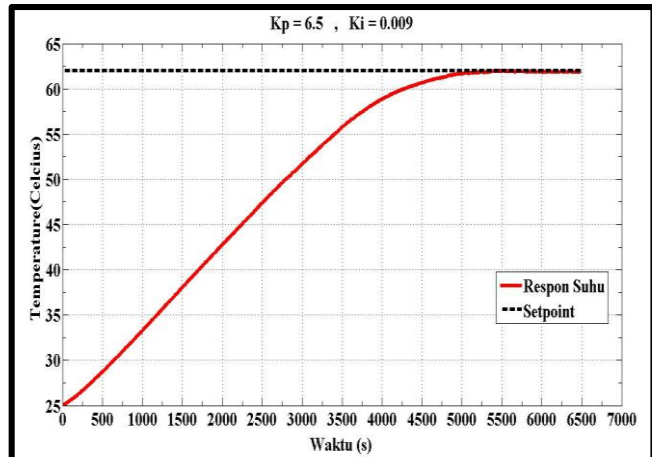
K_p	Offset (%)
5.5	9.17
6.5	8.05

Perancangan tersebut menunjukkan bahwa nilai $K_p = 6.5$ memiliki nilai *ESS* paling kecil yaitu 8.05%. Nilai Error ini nantinya bisa dihilangkan dengan cara menambahkan kontroler integral. Maka dari itu pengujian dilanjutkan untuk mencari nilai K_i dengan menggunakan nilai $K_p = 6.5$ dan *setpoint* tetap yaitu 62°C. Respon hasil perancangan parameter K_i ditunjukkan pada tabel 2 berikut.

Tabel 2. Hasil perancangan K_i dengan *setpoint* 62°C

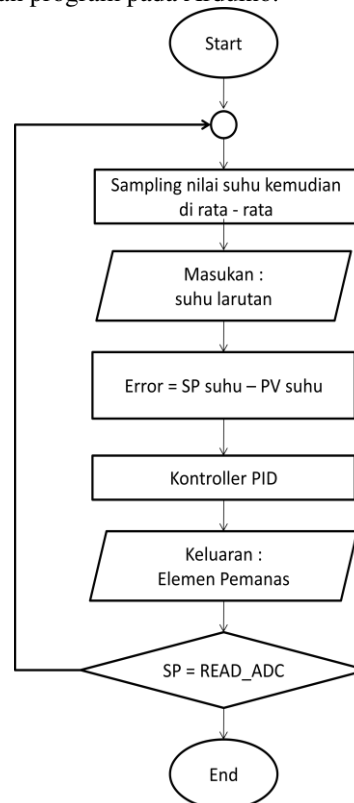
K_p	K_i	ESS (%)	Overshoot
6.5	0.012	0,19%	Ada
6.5	0.010	0,16%	Ada
6.5	0.009	0,17%	Tidak Ada

Perancangan dengan bermacam nilai parameter K_i dibandingkan dan didapatkan nilai $K_i = 0.009$ dengan nilai *error steady state* sebesar 0.17% dan tanpa adanya overshoot. Mengacu pada data diatas, dianggap sudah memenuhi kebutuhan sistem sehingga tidak memerlukan penggunaan kontroler differensial atau nilai K_d dianggap = 0. Hasil respon nilai $K_p = 6.5$ dan $K_i = 0.009$ ditunjukkan pada gambar 14.

Gambar 14. Respon dengan menggunakan $K_p = 6.5$, $K_i = 0.009$

H. Perancangan Perangkat Lunak

Gambar 15 merupakan gambar diagram alir perancangan program pada Arduino.



Gambar 15. Diagram alir program

III. PENGUJIAN DAN ANALISA

A. Pengujian Sensor Suhu

Pengujian sensor suhu dilakukan untuk melihat bagaimana penyimpangan yang dilakukan sensor suhu dalam beberapa kali pengukuran.

Tabel 3. Hasil Pengujian Sensor Suhu PT100

No	Suhu Termometer	Suhu Pembacaan
1	20	20.4
2	25	25.43
3	30	30.19
4	35	35.2
5	40	40.19
6	45	45.23
7	50	49.94
8	55	55.28
9	60	60.08
10	65	65.6
11	70	70.24
12	75	75.35
13	80	80.1
14	85	84.46

Metode kalibrasi yang digunakan adalah regresi linier:

$$\sum n a_0 + \sum x_i a_1 = \sum y_i$$

$$\sum x_i a_0 + \sum x_i^2 a_1 = \sum x_i y_i$$

$$f = a_0 + a_1 x$$

$$f = -0,468847111 + 1,005251338x$$

Dengan keterangan :

- a_0 = *intercept*
 a_1 = *slope / regression coefficient*
 x_i = *independent variable*
 y_i = *dependent variable*

Tabel 4. Suhu hasil perhitungan regresi

No	Suhu Termometer	Suhu Pembacaan	Suhu Perhitungan dengan Kalibrasi
1	20	20,4	20,03
2	25	25,43	25,09
3	30	30,19	29,87
4	35	35,2	34,91
5	40	40,19	39,93
6	45	45,23	44,99
7	50	49,94	49,73
8	55	55,28	55,10
9	60	60,08	59,92
10	65	65,6	65,47
11	70	70,24	70,14
12	75	75,35	75,27
13	80	80,1	80,05
14	85	84,46	84,43

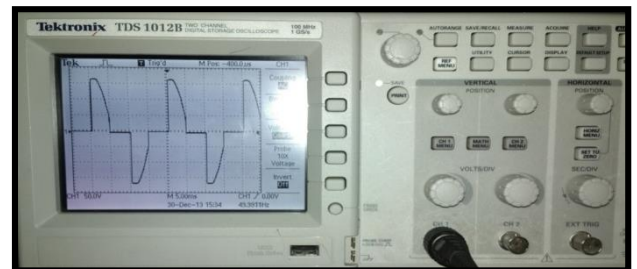
B. Pengujian Penyulutan TRIAC

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah rangkaian yang telah dirancang bisa mengatur gelombang sinusoida tegangan AC. Hasil pengujian keseluruhan ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 5. Hasil pengujian sudut penyalan TRIAC

Sudut Penyalan (°)	Perhitungan waktu tunda (ms)	Pengujian waktu tunda (ms)	error (ms)	error (%)
90	5,00	5,4	0,40	8,00%
105	5,83	6,2	0,37	6,29%
120	6,67	7	0,33	5,00%
135	7,50	7,6	0,10	1,33%
150	8,33	8,2	0,13	1,60%
165	9,17	9	0,17	1,82%
Rata Rata Error (%)				4,01%

Gambar 16 merupakan salah satu contoh hasil pengujian penyulutan TRIAC dengan sudut penyalan sebesar 90°.



Gambar 16. Hasil pengujian penyulutan TRIAC dengan sudut penyalan 90°

C. Pengujian Rangkaian Dimmer

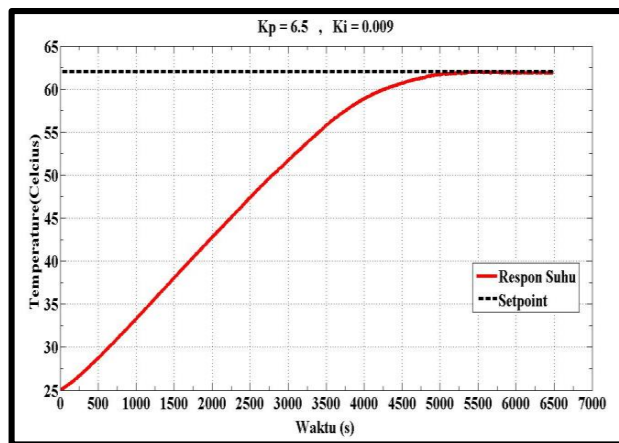
Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui tentang hubungan tegangan dan perubahan *dimmer*. Berikut hasil pengujian tentang hubungan tegangan dan perubahan *dimmer*.

Tabel 6. Hubungan tegangan dengan perubahan *dimming*

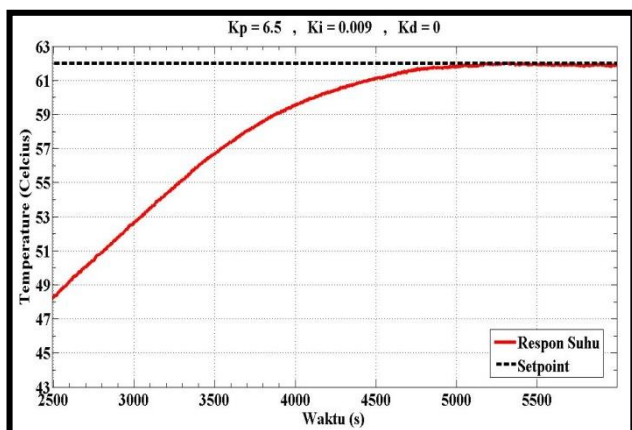
No	Dimming	Tegangan (VAC)
1	5	218.8
2	15	218.2
3	25	215.8
4	35	209.2
5	45	198.5
6	55	183.61
7	65	160.8
8	75	139
9	85	111.1
10	95	81.9
11	105	53.7
12	115	28.12
13	125	11.28

D. Pengujian Keseluruhan

Pengujian dilakukan untuk mengetahui bagaimana respon sistem pengendalian suhu pada proses distilasi vakum bioetanol bisa bekerja dengan baik sesuai *setpoint* yang diharapkan. Gambar 17 dan gambar 18 merupakan hasil respon sistem keseluruhan dengan *setpoint* 62 °C dengan parameter $K_p = 6.5$, $K_i = 0.009$, dan $K_d = 0$.



Gambar 17. Grafik respon pengujian keseluruhan sistem pengendalian suhu



Gambar 18. Grafik respon pengujian keseluruhan sistem pengendalian suhu yang diperjelas

Hasil pengujian didapatkan *error steady state* sesuai dengan respon pada sistem sebesar:

$$\begin{aligned} \% \text{ ESS} &= \frac{|T_{\text{steady}} - T_{\text{setpoint}}|}{T_{\text{setpoint}}} \times 100 \% \\ &= \frac{|61.92 - 62|}{62} \times 100 \% \\ &= 0.129\% \end{aligned}$$

Untuk perhitungan toleransi kesalahan 2% yaitu:

- $62 \times 0.02 = 1.24 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- Batas toleransi: $62 - 1.24 = 60.76 \text{ }^{\circ}\text{C}$ sampai $62 + 1.24 = 63.24 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Perhitungan error yang didapatkan dari hasil respon adalah sebesar 0.129% dan tanpa adanya overshoot.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Hasil perancangan, pengujian dan pengamatan yang telah dilakukan pada penelitian sistem pengendalian suhu distilasi vakum, bisa diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan data respon sistem yang diperoleh dari pengujian dengan metode *hand tuning*, maka parameter kontroler PID dapat ditentukan dengan gain $K_p = 6.5$, $K_i = 0.009$, dan $K_d = 0$.
2. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa Arduino Mega dengan metode kontrol PID menghasilkan respon sesuai dengan yang diharapkan dan mampu diaplikasikan pada sistem pengendalian suhu karena *error* yang didapatkan sebesar 0.129% dan masih masuk dalam toleransi 2%.

B. Saran

Saran untuk pengembangan lebih lanjut:

1. Menambahkan sensor tekanan vakum. dan melakukan penelitian untuk pengendalian tekanan vakum.
2. Melakukan penelitian lebih mendalam tentang pengendalian suhu adaptif yang terpengaruh oleh tekanan pada proses distilasi vakum.
3. Melakukan penelitian lebih mendalam mengenai pengendalian MIMO antara suhu dan tekanan.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Akland, Toni, (2012), *Home Distillation of Alcohol*, Diakses dari <http://homedistiller.org> tanggal 17 Maret 2013
- [2] Hoffmann, K. (n.d.). *Applying the Wheatstone Bridge Circuit*. www.hm.com.pl/pdfw16.pdf.
- [3] *Datasheet* sensor suhu PT100.
- [4] *Datasheet* AD620.
- [5] Amstrom, K. J., & Hagglund, Tore. 1995 *PID Controllers: Theory, Design and Tuning*. Instrument Society of America: Research Triangle Park.