

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum wr.wb. Alhamdulillah, puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik dari jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan, bimbingan serta dorongan dari semua pihak penyelesaian skripsi ini tidak mungkin bisa terwujud. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar – besarnya kepada :

1. Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan kelancaran, kemudahan, dan hidayahnya.
2. Ayah dan Ibu tercinta, serta keluarga yang telah banyak memberikan kasih sayang, dukungan, doa serta semangat.
3. Bapak M. Aziz Muslim, ST., MT., Ph.D. selaku ketua jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.
4. Bapak Hadi Suyono ST., MT., Ph.D selaku Sekretaris jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
5. Bapak Ir. Purwanto, MT. selaku KKDK Sistem Kontrol.
6. M. Aziz Muslim, ST., MT., Ph.D. selaku dosen pembimbing skripsi yang telah banyak memberikan pengarahan, bimbingan dalam penyelesaian ini serta atas segala bentuk bantuan, saran dan motifasinya yang membangun.
7. Ir. Purwanto, MT. selaku dosen pembimbing skripsi yang telah banyak memberikan pengarahan, bimbingan dalam penyelesaian ini serta atas segala bentuk bantuan, saran dan motifasinya yang membangun.
8. Dr. Ir. Erni Yudaningtyas MT., selaku Ketua Laboratorium Sistem Kontrol Universitas Brawijaya atas segala bantuannya pada penulis selama penulis mengikuti perkuliahan serta selama menjabat menjadi asisten Laboratorium Sistem Kontrol Universitas Brawijaya.

9. Eka Desiana H. I. ST., atas bantuannya pada penulis selama penulis menyelesaikan skripsi.
10. Laboratorium Sistem Kontrol Elektro Universitas Brawijaya atas segala alat serta sarana dan prasarana yang dimanfaatkan penulis dalam melakukan penelitian.
11. Bapak, Ibu dosen serta segenap staf dan karyawan Jurusan Teknik Elektro baik secara langsung maupun tidak langsung yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan skripsi ini.
12. Rekan – rekan Asisten Laboratorium Sistem Kontrol, Darmo, Adek, Gladi, Sam, Arga, Yoshiko, Along, Irjan, Ika, Hamu, Ade, Ayu, Hakiki, Neta, Sendok, Dina, Dito, dan Khairul.
13. Teman – teman seperjuangan, Akhyar, Ryan, Dimas, Akbar, Tery, Zaky, dan Gojin yang telah memberikan motivasi serta saran-saran yang membantu penulis.
14. Ana yang selalu menemani dan menjadi teman pelepas penat lewat canda tawa dan semangat yang telah diberikan.
15. Rekan – rekan mahasiswa Teknik Elektro Brawijaya, keluarga Ampere'09 serta sahabat – sahabatku terima kasih untuk semuanya.
16. Semua pihak yang telah memberikan bantuan serta dukungan baik secara langsung maupun tidak langsung atas penyusunan skripsi ini.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa skripsi ini belumlah sempurna, karena keterbatasan ilmu dan kendala – kendala lain yang terjadi selama pengerjaan skripsi ini. Semoga tulisan ini dapat bermanfaat dan dapat digunakan untuk pengembangan lebih lanjut. Wassalamualaikum wr.wb.

Malang, 4 Februari 2014

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL	vii
ABSTRAK.....	viii
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan.....	2
1.5 Sistematika Pembahasan	3
TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Bioetanol	4
2.2 Distilasi.....	4
2.3 Sensor Suhu <i>Resistive Temperature Detector</i> (RTD) PT100.....	7
2.4 Elemen Pemanas.....	7
2.5 Rangkaian <i>Dimmer</i>	8
2.5.1 Rangkaian TRIAC	9
2.5.2 Rangkaian Zero Cross Detector.....	9
2.6 Arduino Mega.....	10
2.7 Kontroler	11
METODOLOGI	18
3.1 Spesifikasi Alat.....	18
3.2 Perancangan dan realisasi pembuatan alat	18
3.4 Pengujian Alat.....	19
3.5 Pengambilan Kesimpulan.....	20
PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT.....	21
4.1 Perancangan Sistem.....	21

4.2	Diagram Blok Sistem.....	21
4.3	Prinsip Kerja Alat.....	22
4.4	Perancangan Perangkat Keras (hardware)	22
4.4.1	Pemilihan Elemen Pemanas	22
4.4.2	Perancangan Rangkaian <i>Dimmer</i>	23
4.4.3	Perancangan Rangkaian Pengondisi Sinyal Sensor Suhu PT100 ...	23
4.5	Perancangan Kontroler PID	26
4.6	Modul Arduino Mega 2560.....	34
4.7	Perancangan Algoritma Perangkat Lunak.....	35
PENGUJIAN DAN ANALISIS SISTEM		36
5.1	Pengujian Sensor	36
5.2	Pengujian LCD	39
5.3	Pengujian Penyulutan TRIAC	40
5.3.1	Peralatan yang digunakan.....	40
5.3.2	Prosedur Pengujian	40
5.3.3	Hasil Pengujian	41
5.4	Pengujian Rangkaian <i>Dimmer</i>	44
5.4.1	Peralatan yang digunakan.....	44
5.4.2	Prosedur Pengujian	45
5.4.3	Hasil Pengujian	45
5.5	Pengujian Keseluruhan.....	46
5.5.1	Peralatan yang digunakan.....	46
5.5.2	Prosedur Pengujian	47
5.5.3	Hasil Pengujian	47
PENUTUP		50
6.1	Kesimpulan	50
6.2	Saran	50
DAFTAR PUSTAKA		51

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses Dasar Pembuatan Bioetanol..... 4

Gambar 2.2 Titik Didih Campuran Etanol-Air Pada Tekanan 1 Atmosfer 5

Gambar 2.3 Distilasi Alkohol Pada Tekanan Dibawah 1 Atmosfer 6

Gambar 2.4 Proses Pembuatan Bioetanol Dengan Distilasi Vakum..... 6

Gambar 2.5 PT 100 7

Gambar 2.6 Elemen Pemanas Listrik Bentuk Dasar 8

Gambar 2.7 Elemen Pemanas Listrik Bentuk Lanjut..... 8

Gambar 2.8 AC Dimmer Module Lite (V1.1)..... 9

Gambar 2.9 Tampak Depan Arduino Mega 10

Gambar 2.10 Diagram Blok Kontroler Proporsional 12

Gambar 2.11 Diagram Blok Kontroler Integral 12

Gambar 2.12 Diagram Blok Kontroler Diferensial..... 13

Gambar 2.13 Diagram Blok Kontroler Pid..... 13

Gambar 2.14 Respon Unit Step Menunjukkan 25% Maximum Overshoot 14

Gambar 2.15 Respon Pant Terhadap Masukan Berupa Unit Step 14

Gambar 2.16 Kurva Yang Berbentuk S 15

Gambar 2.17 Sistem Loop Tertutup Dengan Kontroler Proporsional 16

Gambar 2.18 Osilasi Berkesinambungan Dengan Periode Pcr 16

Gambar 3.1 Diagram Sistem Keseluruhan 19

Gambar 4.1 Blok Diagram Sistem 21

Gambar 4.2 Elemen Pemanas 22

Gambar 4.3 Rangkaian Dimmer..... 23

Gambar 4.4 Modul Rangkaian *Dimmer*..... 23

Gambar 4.5 Diagram Blok Perancangan Sensor Suhu Pt100..... 24

Gambar 4.6 Rangkaian Pengondisi Sinyal Sensor Suhu Pt100 25

Gambar 4.7 Model Rangkaian Pengondisi Sinyal Sensor Suhu Pt100..... 25

Gambar 4.8 Kurva Respon Yang Berbentuk S..... 26

Gambar 4.9 Respon Suhu Open Loop 27



Gambar 4.10 Grafik Respon Dengan Menggunakan $K_p = 11.61$, $K_i = 0.01161$ Dan $K_d = 0$	27
Gambar 4.11 Respon Sistem Dengan Menggunakan $K_p = 5.5$	29
Gambar 4.12 Respon Sistem Dengan Menggunakan $K_p = 6.5$	30
Gambar 4.13 Respon Sistem Dengan Menggunakan $K_p = 6.5$ Dan $K_i = 0.012$	31
Gambar 4.14 Respon Sistem Dengan Menggunakan $K_p = 6.5$ Dan $K_i = 0.01$	32
Gambar 4.15 Respon Sistem Dengan Menggunakan $K_p = 6.5$ Dan $K_i = 0.009$	33
Gambar 4.16 Modul Arduino Mega 2560	34
Gambar 4.17 Flowchart Program	35
Gambar 5.1 Rangkaian Pengujian Sensor Suhu PT100.....	37
Gambar 5.2 Perbandingan Nilai Pembacaan Suhu Pada Termometer Dengan Pembacaan LCD.....	38
Gambar 5.3 Hasil Pengujian <i>Liquid Crystal Display</i> (LCD).....	39
Gambar 5.4 Program <i>Liquid Crystal Display</i> (LCD).....	40
Gambar 5.5 Rangkaian Pengujian Sudut Penyalan TRIAC.....	41
Gambar 5.6 Bentuk Gelombang Keluaran TRIAC Dengan Sudut Penyalan 90° Atau Dengan <i>Dimming</i> 64	41
Gambar 5.7 Grafik Perbandingan Data Perhitungan Dan Pengujian Waktu Tunda TRIAC.....	42
Gambar 5.8 Grafik Hubungan Nilai <i>Dimming</i> Dengan Besarnya Tefangan Pada Elemen Pemanas.....	46
Gambar 5.9 Rangkaian Pengujian Keseluruhan.....	47
Gambar 5.10 Hasil Pengujian Keseluruhan Dengan Setpoint 62°C	48
Gambar 5.11 Hasil Pengujian Keseluruhan Yang Diperjelas.....	48

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Aturan Dasar Ziegler Nichols Berdasarkan Respon Unit Step Dari Plant.. 15

Tabel 2.2 Aturn Dasar Ziegler Nichols Berdasarkan Critical Gain Ker Dan Critical
Period Per..... 17

Tabel 4.1 Hasil Tuning Nilai Kp..... 30

Tabel 4.2 Hasil Tuning Nilai Kp Dan Ki..... 33

Tabel 4.3 Fungsi Pin Arduino Mega 2560..... 34

Tabel 5.1 Hasil Pembacaan Suhu Tanpa Kalibrasi 37

Tabel 5.2 Hasil Pembacaan Suhu Dengan Kalibraasi..... 38

Tabel 5.3 Hasil Pengujian Sudut Penyalaan TRIAC..... 42

Tabel 5.4 Error Pengujian Sudut Penyalaan TRIAC..... 44

Tabel 5.5 Perbandingan Nilai Dimming Terhadap Tegangan..... 45



ABSTRAK

Akhmad Salmi Firsyari, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Februari 2013, *Sistem Pengendalian Suhu Pada Proses Distilasi Vakum Bioetanol Menggunakan Arduino*, Dosen Pembimbing: Ir. Purwanto MT., dan M Aziz Muslim., ST., MT., Ph.D.

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 pada suhu dan tekanan tertentu.

Pada penelitian awal ini dikembangkan kontroler agar bisa menjaga suhu sesuai dengan *setpoint*, 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 berhasil dalam menjaga kestabilan suhu dengan *error steady state* sebesar 0.129%.

Kata Kunci : Bioetanol, Distilasi Vakum, PT100, Rangkaian *Dimmer*, Kontroler PID, Arduino Mega 2560.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

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 dipasok oleh bahan bakar fosil. Data di atas merupakan sebuah proyeksi dari Internasional Energy Agency (IEA). Maka dari itulah diperlukan sumber bahan bakar alternatif.

Penggunaan bahan bakar fosil terbesar utamanya adalah jenis bensin, sebagai bahan bakar kendaraan bermotor. Dengan dasar ini, telah dilakukan pencarian alternatif untuk mengganti bahan bakar tersebut. Bioetanol adalah bahan bakar pengganti bensin prospektif yang didapatkan dari proses fermentasi bahan-bahan nabati dengan kandungan gula. Bahan-bahan tersebut dapat berupa tebu, singkong, kentang, kayu, rumput dan sebagainya (Wyman, C.E., 1996).

Proses fermentasi ini menghasilkan bioetanol dengan prosentase rendah, sekitar 7%-10%. Peningkatan kadar bioetanol memerlukan proses distilasi dan *reflux* sehingga kadar bioetanol bisa ditingkatkan lagi hingga mencapai 95%. Secara teori proses distilasi tidak dapat menghasilkan bioetanol dengan kadar diatas 95%. Fenomena azeotrope dari air dan etanol merupakan penyebab hal tersebut bisa terjadi. Peningkatan kadar alkohol 99.5% biasanya dilakukan dengan penambahan zat pengabsorpsi air. Proses absorpsi ini memakan waktu 2-3 hari. Cara lain mengatasi lamanya waktu pengabsorpsi ini adalah dengan mengatur tekanan sampai mendekati kondisi vakum. Namun hal itu tidaklah mudah, karena suhu berpengaruh juga dengan tekanan. Maka dari itu dibutuhkan pengendalian suhu dan tekanan untuk proses distilasi agar bisa menjaga suhu sesuai dengan keadaan yang diinginkan.

PID adalah kontroler gabungan dari kontroler proporsional, integral dan differensial. Gabungan dari ketiga kontroler ini diharapkan bisa mendapatkan keluaran sistem yang sesuai dengan *setpoint* dan tidak terjadi *overshoot*. Keuntungan dari penggunaan kontroler PID adalah merupakan sistem sederhana sehingga lebih cepat dalam mengambil keputusan.

Tahap awal pengembangan, skripsi ini akan dibuat suatu pengendalian suhu pada proses distilasi menggunakan arduino berbasis kontroler PID, sehingga nantinya didapatkan respon yang sesuai dengan *setpoint* tanpa adanya *overshoot*. Sedangkan untuk pengaturan tekanan masih dengan cara manual dan dibuat konstan.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang bisa didapat dari latar belakang masalah adalah:

1. Bagaimana merancang dan membuat sistem pengendalian suhu pada proses distilasi vakum bioetanol menggunakan Arduino berbasis kontroler PID?
2. Bagaimana merancang software sistem pengendalian suhu pada proses distilasi vakum bioetanol menggunakan Arduino berbasis kontroler PID?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam perancangan sistem adalah sebagai berikut :

1. *Vacuum Distiller* yang digunakan adalah *prototype* dengan desain sendiri.
2. Pembahasan ditekankan pada pengendalian suhu pada sistem.
3. Pengendalian yang dilakukan adalah pengendalian untuk memanaskan bahan baku melalui panasnya elemen pemanas pada lapisan jaket.
4. Bahan baku yang digunakan sebanyak 15 liter fermentasi tetes tebu.
5. Media pemanas di dalam jaket adalah air sebanyak 15 liter.
6. Digunakan 4 buah elemen pemanas dengan tipe yang sama dengan daya total 1200W untuk memanaskan 20 liter air di dalam jaket.
7. Sensor yang digunakan adalah sensor suhu PT100.
8. *Setpoint* suhu sebesar 62 °C.
9. Tekanan diatur dan disesuaikan secara manual pada tekanan 0.5 atm.
10. Kinerja driver dan elektronika tidak dibahas mendalam.
11. Mekanisme terjadinya Bioetanol tidak dibahas secara mendalam.

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang sistem pengendalian suhu pada vakum distiller menggunakan Arduino berbasis kontroler PID. Sehingga nantinya diharapkan *output* yang dihasilkan sesuai dengan *setpoint* tanpa adanya *overshoot*.

1.5 Sistematika Pembahasan

BAB I Pendahuluan

Bab ini berisi tentang uraian latar belakang, tujuan, batasan masalah, rumusan masalah, manfaat serta sistematika penulisan.

BAB II Tinjauan Pustaka

Tinjauan pustaka berisi dasar teori penunjang penelitian. Pustaka yang diambil adalah pustaka yang relevan dan sesuai serta mendukung penelitian, seperti buku-buku ilmu pengaturan, identifikasi, dan lain-lain. Selain dari buku pustaka juga akan diambil dari jurnal, internet, dan sumber pengetahuan yang lain.

BAB III Metodologi Penelitian

Bab ini berisi tentang metode yang digunakan dalam pengerjaan alat seperti perancangan dan pembuatan rangkaian *interface*, pengujian alat, pengambilan data dan analisis data yang digunakan dalam skripsi ini.

BAB IV Perancangan dan Pembuatan Sistem

Bab ini berisi tentang perancangan keseluruhan sistem dengan menggunakan controller PID. Setelah itu, bagaimana menerapkannya ke dalam modul Arduino Mega 2560 dan *software* di komputer sehingga sistem dapat bekerja dengan baik.

BAB V Pengujian dan Analisis Sistem

Bab ini berisi tentang hasil pengujian sistem yang sudah dibuat, serta analisis hasil yang diperoleh.

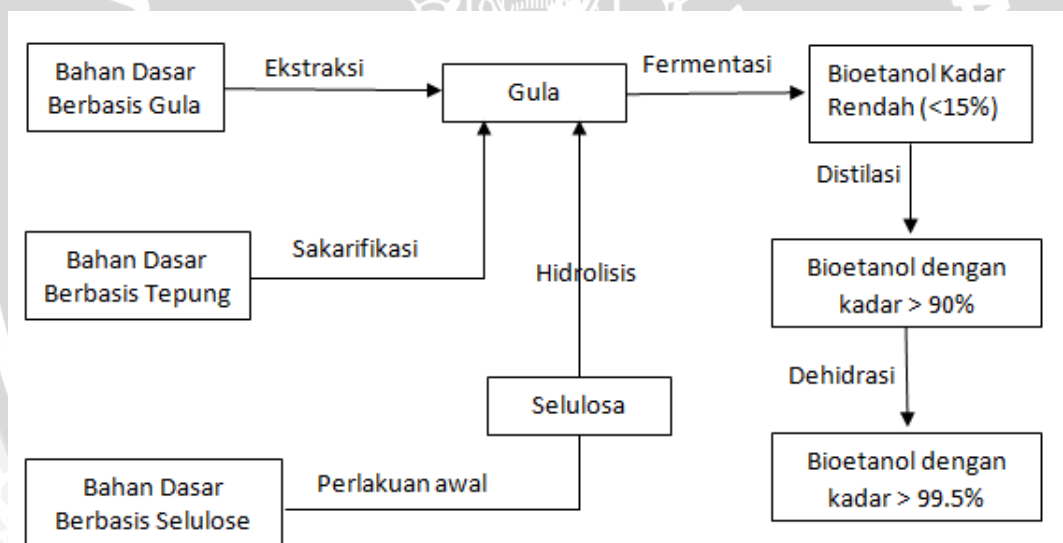
BAB VI Kesimpulan dan Saran

Dalam bab ini, maka semua hal yang sudah dikerjakan pada bab sebelumnya, dianalisis, dan diambil kesimpulan. Serta rekomendasi dan saran untuk pengembangan alat.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bioetanol

Bioetanol dapat diproduksi dari bahan-bahan nabati yang memiliki kandungan gula. Gambar 2.1 memperlihatkan 3 bahan dasar untuk memproduksi bioetanol. Bahan dasar pertama adalah bahan dasar berbasis gula. Masuk dalam kategori ini adalah tebu dan *sweet sorghum*. Selain tebu itu sendiri, hasil sampingan dari proses produksi gula, yaitu tetes tebu (*molase*) dan *bagasse*. Bahan dasar kedua adalah berbasis tepung. Pada umumnya bahan makanan pokok manusia (jagung, kentang, singkong dsb) masuk dalam kategori ini. Bahan dasar ketiga berbasis selulosa. Masuk dalam kategori ini adalah kayu, rumput dan sisa hasil panen. Dari ketiga bahan dasar tersebut, setelah terbentuknya gula akan menjalani proses yang sama untuk menjadi bioetanol, yaitu fermentasi dan distilasi.



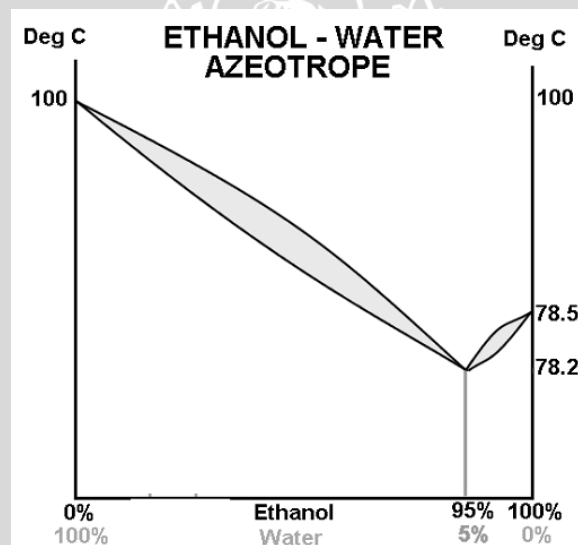
Gambar 2.1 Proses Dasar Pembuatan Bioetanol (diadopsi dari Wyman, C.,E. dkk.1996)

2.2 Distilasi

Secara garis besar, distilasi adalah suatu metode pemisahan bahan kimia berdasarkan perbedaan kecepatan atau kemudahan menguap (volatilitas) bahan. Dalam penyulingan, campuran zat dididihkan sehingga menguap dan uap ini kemudian didinginkan kembali dalam bentuk cairan. Zat yang memiliki titik didih lebih rendah akan menguap lebih dulu.

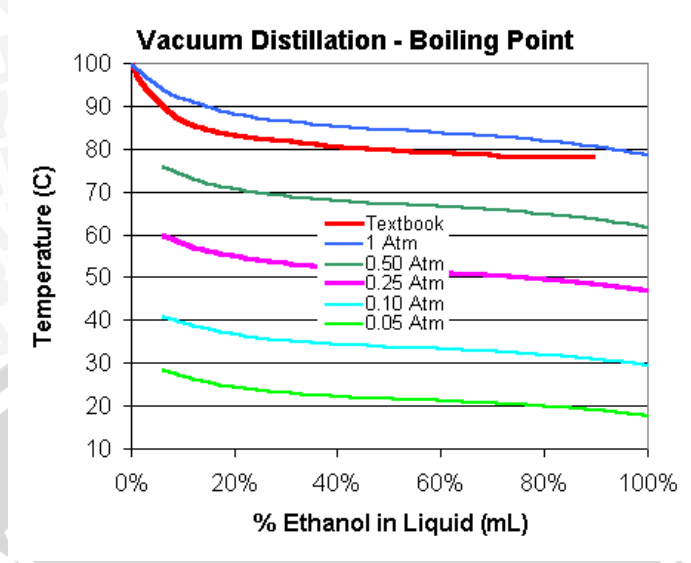
Berdasarkan suhu operasi yang digunakan, distilasi dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu distilasi atmosferik, distilasi vakum, dan distilasi suhu tinggi (lebih dari 1 atm). Distilasi vakum biasanya digunakan jika senyawa yang ingin didistilasi tidak stabil, dengan pengertian dapat terdekomposisi sebelum atau mendekati titik didihnya atau campuran yang memiliki titik didih di atas 150°C . Distilasi vakum memisahkan dua komponen yang titik didihnya sangat tinggi, metode yang digunakan adalah dengan menurunkan suhu permukaan lebih rendah dari 1 atm, sehingga titik didihnya juga menjadi rendah, dalam prosesnya suhu yang digunakan untuk mendistilasinya tidak perlu terlalu tinggi.

Secara teori proses distilasi tidak akan dapat menghasilkan bioetanol dengan kadar di atas 95%. Hal ini dikarenakan fenomena terbentuknya azeotrope dari air dan etanol. Campuran ini memiliki titik didih yang lebih rendah dari titik uap air murni (100°C pada tekanan 1 Atm) dan titik didih etanol murni ($78,5^{\circ}\text{C}$ pada tekanan 1 Atm).



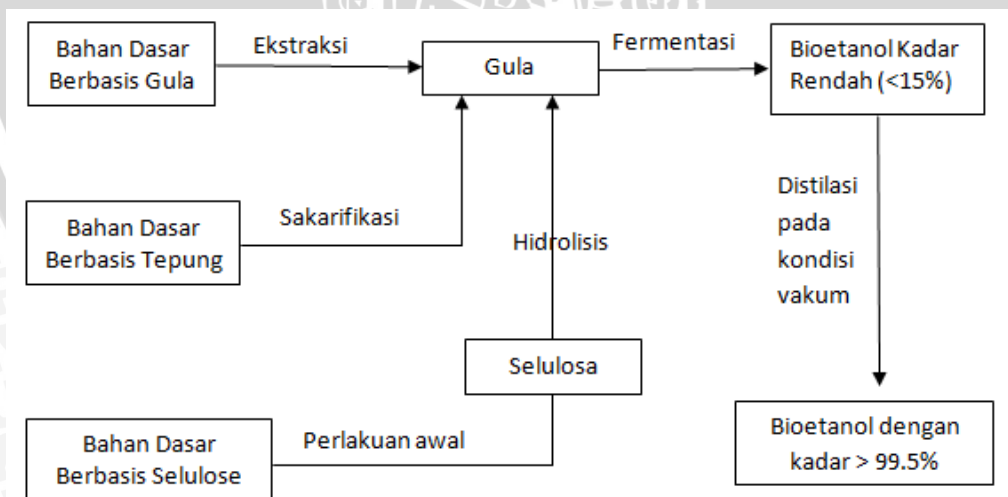
Gambar 2.2 Titik Didih Campuran Etanol-Air pada Tekanan 1 Atmosfer (Nixon dan Gaw, 2001)

Bioetanol dengan kadar sampai 100% pada umumnya didapatkan melalui proses dehidrasi menggunakan zat pengabsorpsi air, seperti zeolit dan garam, namun proses ini akan memakan waktu 2 - 3 hari. Proses distilasi pada tekanan dibawah 1 atmosfer memberikan hasil konsentrasi bioetanol yang berbeda. Gambar 2.3 mengilustrasikan hal ini. Pada tekanan kurang dari 1 Atm, titik didih air murni dan alkohol akan turun dari kondisi normalnya. Pada Gambar 6.3 diperlihatkan bahwa pada tekanan 0.1 Atm, Etanol murni (100%) akan didapatkan pada suhu sekitar 30°C (T. Ackland, 2012).



Gambar 2.3 Distilasi Alkohol pada Tekanan dibawah 1 Atmosfer (T. Ackland, 2012)

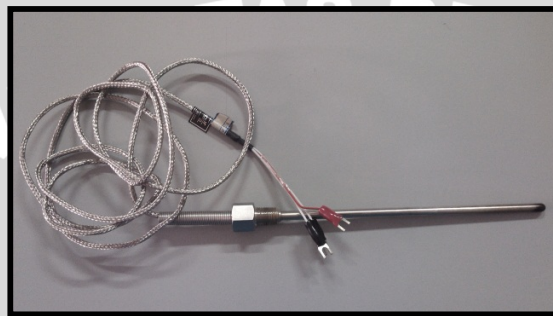
Penelitian ini akan fokus pada proses distilasi dari hasil hasil fermentasi, yaitu distilasi atas bioetanol dengan kadar rendah (<15%). Proses distilasi akan dilakukan pada kondisi yang mendekati vakum (Gambar 2.4.), sehingga proses dehidrasi alkohol tidak diperlukan lagi. Keuntungan dari sistem ini adalah efisiensi dari sisi waktu (menghemat waktu dehidrasi selama 2-3 hari) dan perbaikan kualitas etanol yang dihasilkan (prosentase bioetanol mendekati 100%).



Gambar 2.4 Proses Pembuatan Bioetanol dengan Distilasi Vakum (diadopsi dari Wyman, C.,E. dkk.1996)

2.3 Sensor Suhu *Resistive Temperature Detector* (RTD) PT100

Sensor suhu digunakan untuk mengetahui perubahan panas yang terjadi di dalam tangki larutan. PT100 (Gambar 2.5) merupakan salah satu jenis sensor suhu yang terkenal dengan keakurasiannya. PT100 termasuk golongan RTD (*Resistive Temperature Detector*) dengan koefisien suhu positif, yang berarti nilai resistansinya naik seiring dengan naiknya suhu. PT100 terbuat dari logam platinum. Oleh karenanya namanya diawali dengan 'PT'. Disebut PT100 karena sensor ini dikalibrasi pada suhu 0°C pada nilai resistansi 100 ohm. Ada juga PT1000 yang dikalibrasi pada nilai resistansi 1000 ohm pada suhu 0°C.



Gambar 2.5 PT 100 (Perancangan)

Menurut keakurasiannya, terdapat dua jenis PT100, yakni Class-A dan Class-B. PT100 Class-A memiliki akurasi $\pm 0,06$ ohm dan PT100 Class-B memiliki akurasi $\pm 0,12$ ohm. Keakurasiannya ini menurun seiring dengan naiknya suhu. Akurasi PT100 Class-A bisa menurun hingga $\pm 0,43$ ohm ($\pm 1,45^\circ\text{C}$) pada suhu 600°C , dan PT100 Class-B bisa menurun hingga $\pm 1,06$ ohm ($\pm 3,3^\circ\text{C}$) pada suhu 600°C .

2.4 Elemen Pemanas

Elemen pemanas merupakan piranti yang mengubah energi listrik menjadi energi panas melalui proses *Joule Heating*. Prinsip kerja elemen panas adalah arus listrik yang mengalir pada elemen menjumpai resistansinya, sehingga menghasilkan panas pada elemen.

Panas yang dihasilkan oleh elemen pemanas listrik ini bersumber dari kawat ataupun pita bertahanan listrik tinggi (*Resistance Wire*) biasanya bahan yang digunakan adalah niklin yang dialiri arus listrik pada kedua ujungnya dan dilapisi oleh isolator listrik yang mampu meneruskan panas dengan baik hingga aman jika digunakan.

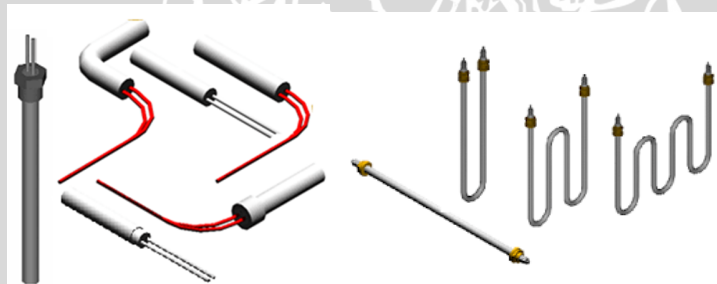
Ada 2 macam jenis utama pada elemen pemanas listrik ini yaitu :

- Elemen Pemanas Listrik bentuk dasar (Gambar 6.6) yaitu elemen pemanas dimana *Resistance Wire* hanya dilapisi oleh isolator listrik, macam-macam elemen pemanas bentuk ini adalah : *Ceramic Heater, Silica and Quartz Heater, Bank Channel Heater, Black Body Ceramik Heater.*



Gambar 2.6 Elemen Pemanas Listrik Bentuk Dasar (Agustanto, 2012)

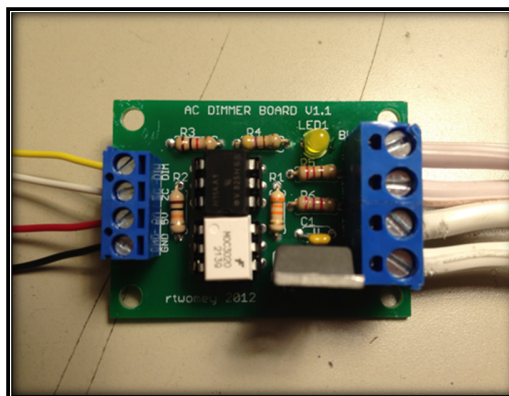
- Elemen pemanas listrik bentuk lanjut (Gambar 2.7) merupakan elemen pemanas dari bentuk dasar yang dilapisi oleh pipa atau lembaran plat logam untuk maksud sebagai penyesuaian terhadap penggunaan dari elemen pemanas tersebut. Bahan logam yang biasa digunakan adalah : *Mild Steel, Stainless Steel, tembaga dan kuningan.*



Gambar 2.7 Elemen Pemanas Listrik Bentuk Lanjut (Agustanto, 2012)

2.5 Rangkaian Dimmer

Diperlukan 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 2.8 AC Dimmer Module Lite v1.1 (Robert T., 2013)

2.5.1 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. Nama resmi untuk TRIAC adalah *Bidirectional Triode Thyristor*. Ini menunjukkan sakelar dwiarah 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) (Primatama, 2013).

TRIAC dalam penggunaannya membutuhkan DIAC sebagai *driver*. 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 MOC3021.

2.5.2 Rangkaian Zero Cross Detector

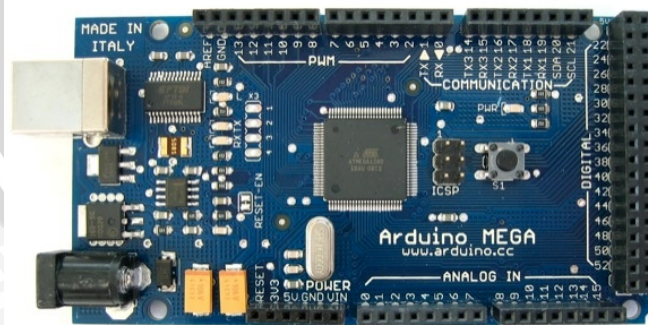
Zero crossing detector adalah rangkaian yang digunakan untuk mendeteksi gelombang sinus AC 220 volt saat melewati titik tegangan nol. Seberangan titik nol yang dideteksi adalah peralihan dari positif menuju negatif dan peralihan dari negatif menuju positif. Seberangan-seberangan titik nol ini merupakan acuan yang digunakan sebagai awal pemberian nilai waktu tunda untuk pemicuan TRIAC (Primatama, 2013).

Rangkaian *zero cross detector* membutuhkan rangkaian yang bisa mendeteksi persimpangan antara gelombang tegangan bolak-balik dengan titik nol agar pengaturan fasa dapat dilakukan pada titik nol gelombang tegangan bolak-balik. Metode ini berfungsi untuk menentukan frekuensi suatu gelombang dengan cara mendeteksi banyaknya zero point pada suatu rentang waktu. *Zero crossing detector* berfungsi untuk mendeteksi perpotongan gelombang sinus pada tegangan AC dengan *zero point* tegangan AC tersebut, sehingga dapat memberikan sinyal acuan saat dimulainya pemicuan sinyal PWM. Dengan rangkaian *zero crossing detector*, kita 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. Rangkaian ini menggunakan komponen optocoupler 4N25.

2.6 Arduino Mega

Arduino Mega adalah board mikrokontroler berbasis ATmega2560. Memiliki 54 pin input dan output digital, dimana 14 pin diantara pin tersebut dapat digunakan sebagai output PWM dan 16 pin input analog, 16 MHz osilator kristal, koneksi USB, jack power, ICSP header, dan tombol reset. Untuk mendukung mikrokontroler agar dapat digunakan, cukup hanya menghubungkan Board Arduino Mega ke komputer dengan menggunakan kabel USB atau dengan adaptor AC-DC untuk menjalankannya.

Secara fisik, ukuran Arduino Mega hampir kurang lebih 2 kali lebih besar dari Arduino Uno, ini untuk mengakomodasi lebih banyaknya pin Digital dan Analog pada board Arduino Mega tersebut. Tampilan Arduino Mega dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Tampak Depan Arduino Mega (electroshematics.com)

2.7 Kontroler

Sistem pengendalian dirancang untuk melakukan dan menyelesaikan tugas tertentu. Syarat utama sistem pengendalian adalah harus stabil. Disamping kestabilan mutlak, maka sistem harus memiliki kestabilan secara relatif, yakni tolok ukur kualitas kestabilan sistem dengan menganalisis sampai sejauh mana batas-batas kestabilan sistem tersebut jika dikenai gangguan (Ogata K.,1997). Selain itu analisis juga dilakukan untuk mengetahui bagaimana kecepatan sistem dalam merespon *input*, dan bagaimana peredaman terhadap adanya lonjakan (*overshoot*).

Suatu sistem dikatakan stabil jika diberi gangguan maka sistem tersebut akan kembali ke keadaan *steady state* di mana *output* berada dalam keadaan tetap seperti tidak ada gangguan. Sistem dikatakan tidak stabil jika *output*nya berosilasi terus menerus ketika dikenai suatu gangguan. Karena suatu sistem pengendalian biasanya melibatkan penyimpanan energi maka *output* sistem ketika diberi suatu *input*, tidak dapat mengikuti *input* secara serentak, tapi menunjukkan respon transien berupa suatu osilasi teredam sebelum mencapai *steady state*.

Prinsip kerja kontroler adalah membandingkan nilai aktual keluaran plan dengan nilai referensi. Kemudian kontroler menentukan nilai kesalahan dan akhirnya menghasilkan sinyal kontrol untuk meminimalkan kesalahan (Ogata K., 1997).

2.7.1 Kontroler Proporsional

Untuk kontroler dengan aksi kontrol proporsional, hubungan antara keluaran kontroler $m(t)$ dan sinyal kesalahan penggerak $e(t)$ adalah:

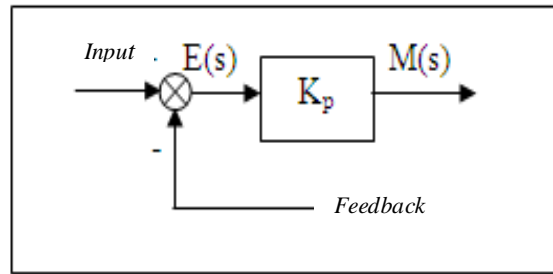
$$m(t) = K_p e(t) \dots\dots\dots (2.1)$$

atau, dalam besaran transformasi Laplace,

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p \dots\dots\dots (2.2)$$

di mana K_p adalah kepekaan proporsional atau penguatan.

Apapun wujud mekanisme yang sebenarnya dan apapun bentuk daya penggeraknya, kontroler proporsional pada dasarnya merupakan penguat dengan penguatan yang dapat diatur (Ogata K.,1997). Diagram blok kontroler proporsional ditunjukkan dalam Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Diagram Blok Kontroler Proposional (Ogata K., 1997)

2.7.2 Kontroler Integral

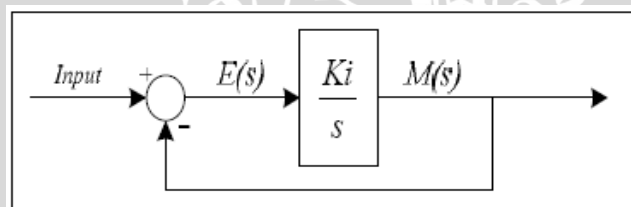
Pada kontroler dengan aksi integral, harga keluaran kontroler $m(t)$ diubah dengan laju yang sebanding dengan sinyal kesalahan penggerak $e(t)$.

Jadi,

$$\frac{dm(t)}{dt} = K_i e(t) \dots\dots\dots(2.3)$$

dengan K_i adalah konstanta integral. Jika harga $e(t)$ diduakalikan, maka harga $m(t)$ berubah dengan laju perubahan menjadi dua kali semula. Jika kesalahan penggerak nol, maka harga $m(t)$ tetap stasioner. Aksi kontrol integral seringkali disebut kontrol *reset* yang digunakan untuk menghilangkan *error steady state* (Ogata K.,1997).

Diagram blok kontroler integral ditunjukkan dalam Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Diagram Blok Kontroler Integral (Ogata K., 1997)

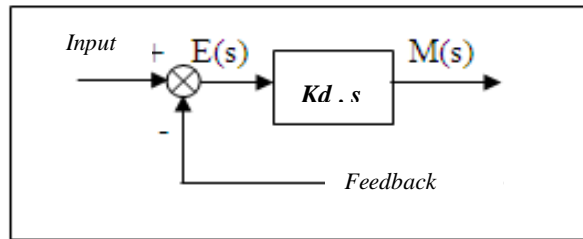
2.7.3 Kontroler Diferensial

Kontroler ini digunakan untuk memperbaiki atau mempercepat respon transien sebuah sistem kontrol dengan cara memperbesar *phase lead* terhadap penguatan kontrol dan mengurangi *phase lag* penguatan tersebut (Ogata K.,1997). Kontroler diferensial tidak dapat mengeluarkan *output* bila tidak ada perubahan *input*, selain itu kontroler differensial tidak dapat digunakan untuk proses yang mengandung *noise*. Hubungan antara keluaran kontroler $m(t)$ dan sinyal kesalahan penggerak $e(t)$ adalah :

$$\frac{M(s)}{E(s)} = Kd \cdot s \dots\dots\dots(2.4)$$

dengan Kd adalah konstanta diferensial yang digunakan untuk memperbaiki atau mempercepat respon transien sebuah sistem serta dapat meredam osilasi.

Gambar 2.12 menunjukkan diagram blok kontroler diferensial.



Gambar 2.12 Diagram Blok Kontroler Diferensial (Ogata K., 1997)

2.7.4 Kontroler Proporsional Integral Diferensial (PID)

Gabungan aksi kontrol proporsional, integral, dan diferensial mempunyai keunggulan dapat saling menutupi kekurangan dan kelebihan dari masing-masing kontroler. Persamaan kontroler PID ini dapat dinyatakan sebagai berikut :

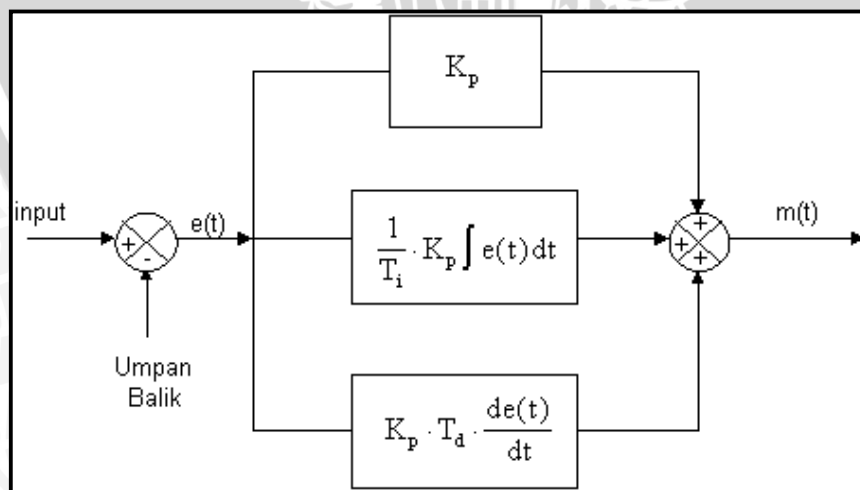
$$m(t) = Kp \cdot e(t) + \frac{Kp}{Ti} \cdot e(t)dt + Kp \cdot Td \frac{de(t)}{dt} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dalam transformasi Laplace dinyatakan sebagai berikut :

$$\frac{M(s)}{E(s)} = Kp \left(1 + \frac{1}{Ti \cdot s} + Td \cdot s \right) \dots\dots\dots(2.6)$$

dengan Ti adalah waktu integral, dan Td adalah waktu derivatif.

Gambar 2.13 menunjukkan diagram blok kontroler PID



Gambar 2.13 Diagram Blok Kontroler PID (Ogata K., 1997)

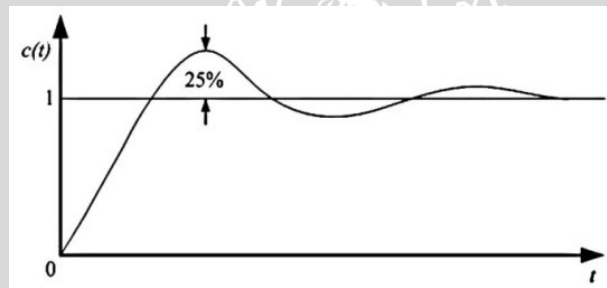


2.7.5 Metode Perancangan Kontroler Proporsional Integral Diferensial (PID) Menggunakan Metode Ziegler-Nichols

Ziegler dan Nichols mengemukakan aturan-aturan untuk menentukan nilai dari gain proporsional K_p , waktu integral T_i , dan waktu derivatif T_d berdasarkan karakteristik respon transien dari *plant* yang diberikan. Penentuan parameter kontroler PID atau penalaan kontroler PID tersebut dapat dilakukan dengan bereksperimen dengan plan (Ogata K., 1997).

Terdapat dua metode yang disebut dengan aturan penalaan Ziegler-Nichols, pada kedua metode tersebut memiliki tujuan yang sama yaitu untuk mencapai 25% *maximum overshoot* pada respon unit step.

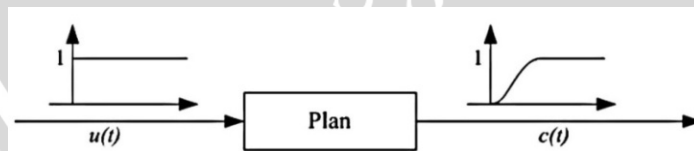
Kurva respon unit step yang menunjukkan 25% *maximum overshoot* terlihat dalam Gambar 2.14.



Gambar 2.14 Kurva Respon Unit Step Menunjukkan 25% *Maximum Overshoot* (Ogata K., 1997)

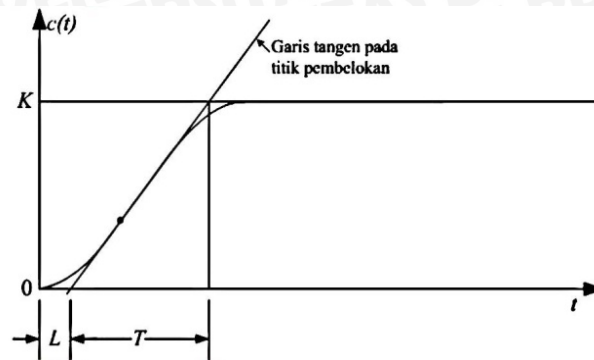
a) Metode Pertama

Metode pertama atau sering disebut metode kurva reaksi, respon dari plan dapat diperoleh secara eksperimental dengan masukan berupa unit step, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.15.



Gambar 2.15 Respon Plan Terhadap Masukan Berupa Unit Step (Ogata K., 1997)

Jika dalam plan tersebut terdapat integrator atau *dominan complex-conjugate poles*, maka kurva respon unit step berbentuk seperti huruf S, seperti dalam Gambar 2.16, jika respon tidak memberikan bentuk kurva S, maka metode ini tidak berlaku. (Ogata K., 1997).



Gambar 2.16 Kurva yang Berbentuk S (Ogata K., 1997)

Kurva berbentuk S tersebut dapat dikarakteristikan menjadi dua konstanta yaitu waktu tunda L dan konstanta waktu T . Waktu tunda dan konstanta waktu ditentukan dengan menggambar sebuah garis tangen pada titik pembelokan dari kurva S, dan menentukan perpotongan antara garis tangen dengan sumbu waktu t dan sumbu $c(t) = K$, seperti yang telah ditunjukkan dalam Gambar 2.15. Fungsi alih $C(s)/U(s)$ dapat dilakukan pendekatan dengan sistem orde satu dengan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{C(s)}{U(s)} = \frac{Ke^{-Ls}}{Ts+1} \dots\dots\dots(2.7)$$

Ziegler dan Nichols menyarankan untuk menentukan nilai-nilai dari K_p , T_i dan T_d berdasarkan pada formula yang ditunjukkan dalam Tabel 2.1 (Ogata K., 1997).

Tabel 2.1 Aturan Penalaran Ziegler-Nichols Berdasarkan Respon Unit Step dari Plan (Ogata K., 1997)

Tipe Kontroler	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0.9 \frac{T}{L}$	$\frac{L}{0.3}$	0
PID	$1.2 \frac{T}{L}$	$2L$	$0.5L$

Aturan untuk metode pertama dengan persamaan sebagai berikut:

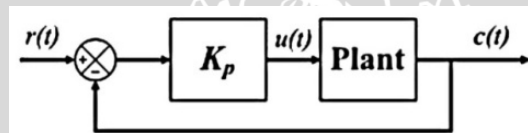
$$G_c(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) = 1.2 \frac{T}{L} \left(1 + \frac{1}{2Ls} + 0.5Ls \right) \dots\dots\dots(2.8)$$

$G_c(s)$ merupakan penguatan sistem yang memiliki nilai gain proporsional K_p , waktu integral T_i , dan waktu derivatif T_d .

b) Metode Kedua

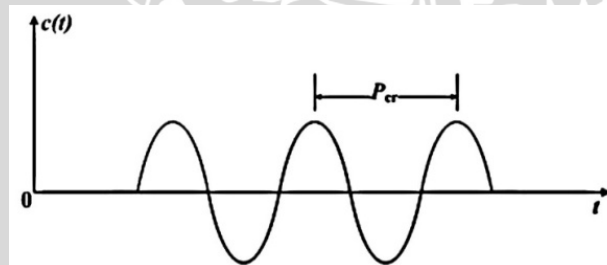
Dalam metode kedua Ziegler-Nichols, mula-mula yang dilakukan adalah membuat $T_i = \infty$ dan $T_d = 0$. Kemudian hanya dengan menggunakan tindakan kontrol proporsional, harga ditingkatkan dari nol ke suatu nilai kritis K_{cr} , disini mula-mula keluaran memiliki osilasi yang berkesinambungan (Jika keluaran tidak memiliki osilasi berkesinambungan untuk nilai K_p manapun yang telah diambil, maka metode ini tidak berlaku). Dari keluaran yang berosilasi secara berkesinambungan, penguatan kritis K_{cr} dan periode P_{cr} dapat ditentukan.

Diagram blok sistem loop tertutup dengan kontroler proporsional dapat dilihat dalam Gambar 2.17.



Gambar 2.17 Sistem Loop Tertutup dengan Kontroler Proporsional (Ogata K., 1997)

Osilasi berkesinambungan dengan periode P_{cr} dapat dilihat dalam Gambar 2.18.



Gambar 2.18 Osilasi Berkesinambungan dengan Periode P_{cr} (Ogata K., 1997)

Ziegler dan Nichols menyarankan penyetelan nilai parameter K_p , T_i , dan T_d berdasarkan rumus yang diperlihatkan dalam Tabel 2.2 (Ogata K., 1997).

Tabel 2.2 Aturan Dasar Ziegler-Nichols Berdasarkan *Critical Gain* K_{cr} dan *Critical Period* P_{cr} (Ogata K., 1997)

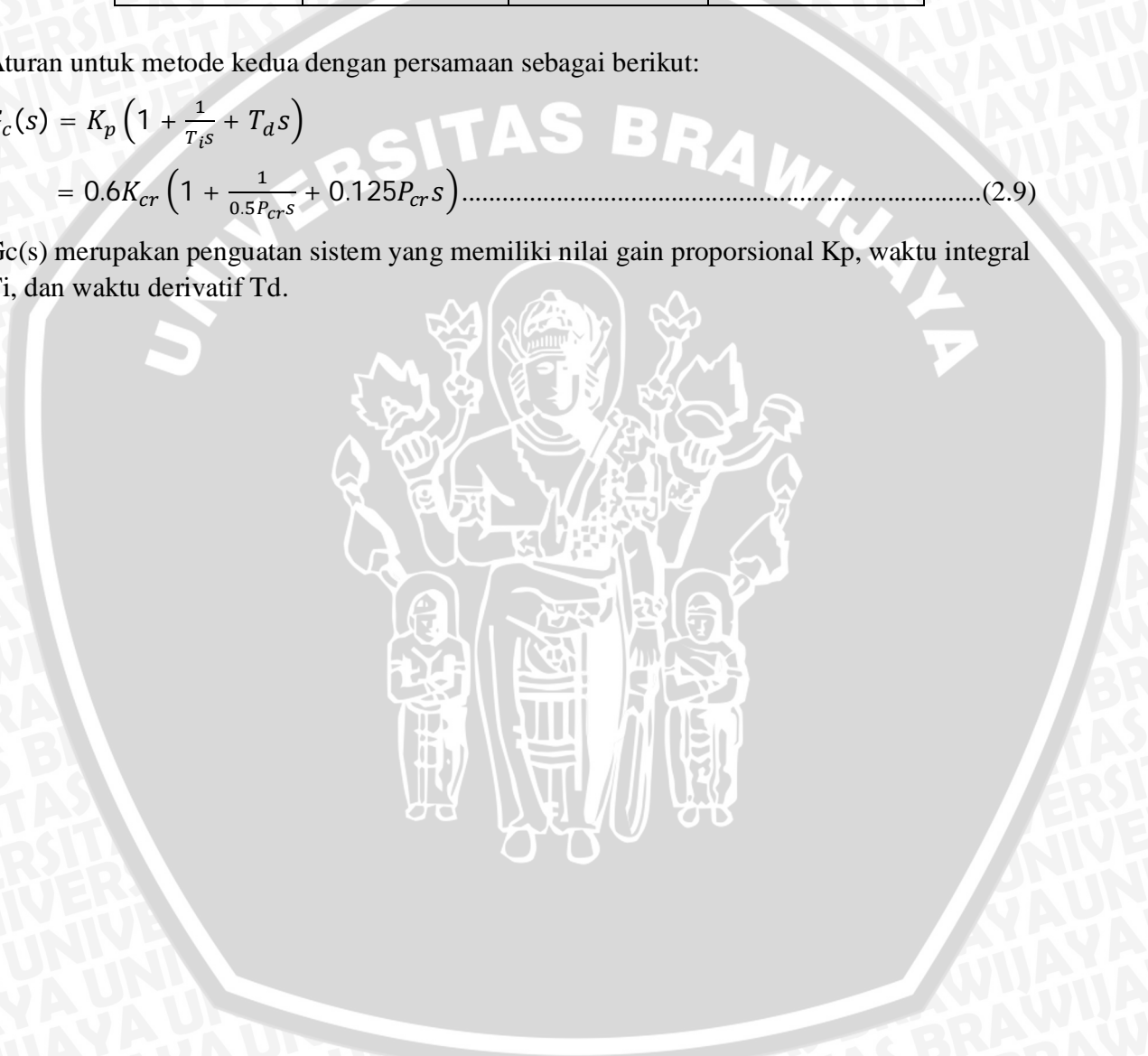
Tipe Kontroler	K_p	T_i	T_d
P	$0.5 K_{cr}$	∞	0
PI	$0.45 K_{cr}$	$\frac{1}{1.2} P_{cr}$	0
PID	$0.6 K_{cr}$	$0.5 P_{cr}$	$0.125 P_{cr}$

Aturan untuk metode kedua dengan persamaan sebagai berikut:

$$G_c(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right)$$

$$= 0.6 K_{cr} \left(1 + \frac{1}{0.5 P_{cr} s} + 0.125 P_{cr} s \right) \dots \dots \dots (2.9)$$

$G_c(s)$ merupakan penguatan sistem yang memiliki nilai gain proporsional K_p , waktu integral T_i , dan waktu derivatif T_d .



BAB III

METODOLOGI

Kajian dalam skripsi ini merupakan penelitian yang bersifat aplikatif, yaitu merancang dan membuat suatu sistem pengendalian suhu dengan menggunakan kontroler PID yang bertujuan agar dapat menampilkan performansi sistem sesuai dengan yang direncanakan.

Langkah-langkah yang perlu dilakukan untuk merealisasikan alat yang akan dibuat adalah sebagai berikut:

1. Spesifikasi alat
2. Perancangan dan realisasi pembuatan alat
3. Pengujian alat
4. Pengambilan kesimpulan

3.1 Spesifikasi Alat

Adapun spesifikasi alat yang akan direalisasikan adalah sebagai berikut:

1. Tangki larutan atau tabung evaporator, merupakan tempat berlangsungnya proses pemanasan dan penguapan larutan bahan baku bioetanol.
2. Kondenser 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 1200 W tersambung dengan badan jaket yang sudah terisi 20 liter air.
6. Perangkat kontrol yang digunakan adalah Arduino Mega 2560.
7. Kontroler yang digunakan ialah Proporsional, Integral dan Defereensial (PID).

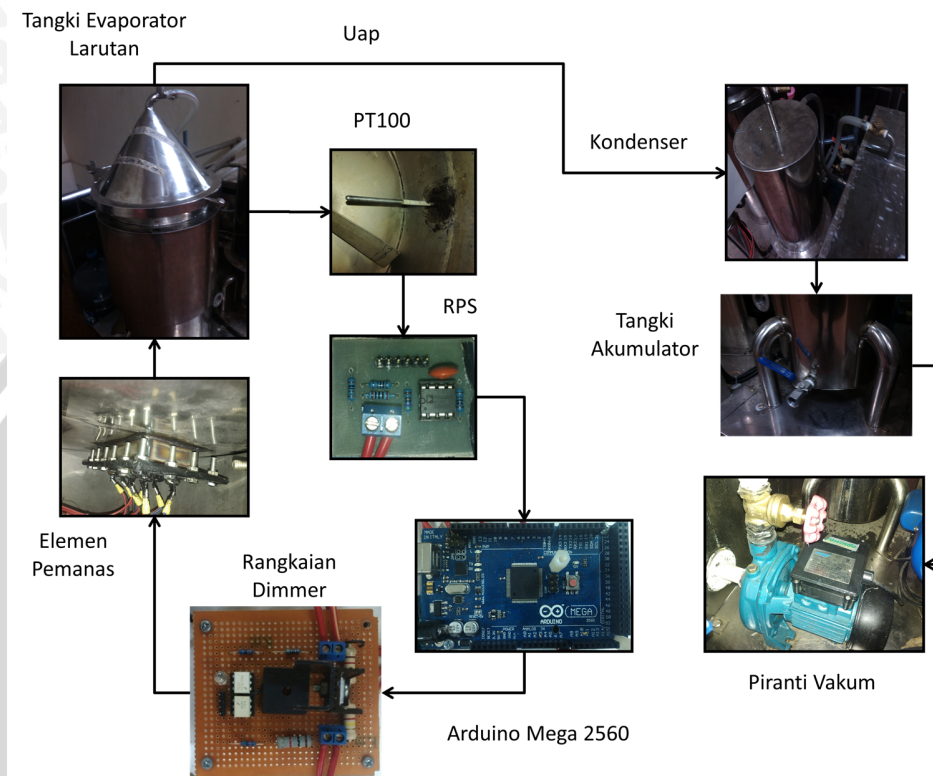
3.2 Perancangan dan Realisasi Pembuatan Alat

3.2.1 Perancangan Perangkat Keras dan Realisasi Pembuatan Alat

Ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam pembuatan alat tersebut, diantaranya adalah:

- Pembuatan mekanik *vacuum destiller* secara keseluruhan yang meliputi pemilihan elemen pemanas, sensor, motor, pompa dan komponen lainnya.

- Pembuatan rangkaian elektronika meliputi rangkaian pengondisi sinyal sensor PT100 dan rangkaian *dimmer*.



Gambar 3.1 Diagram Sistem Keseluruhan (Perancangan)

3.2.3 Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak dilakukan setelah mengetahui nilai parameter Proporsional (P), Integral (I), dan Diferensial (D). Perancangan dimulai dari pembuatan *flowchart*, kemudian dilanjutkan dengan penulisan *listing code*.

3.3 Pengujian Alat

Setelah semua komponen pada alat sudah terhubung sesuai dengan diagram blok sistem yang telah dirancang dan perangkat lunak untuk mendukung sistem yang telah dibuat, maka diadakan pengujian dan analisa alat. Metode pengujiannya adalah sebagai berikut:

1. Pengujian Sensor PT100
2. Pengujian LCD

3. Pengujian Sudut Penyalaan
4. Pengujian Rangkaian *Dimmer*
5. Pengujian Sistem Keseluruhan

3.4 Pengambilan Kesimpulan

Kesimpulan diambil berdasarkan data yang diperoleh dari pengujian sistem secara keseluruhan. Jika hasil yang didapatkan telah sesuai dengan yang direncanakan sebelumnya, maka sistem kendali tersebut telah berhasil memenuhi harapan dan tentunya memerlukan pengembangan lebih lanjut untuk penyempurnaan.



BAB IV

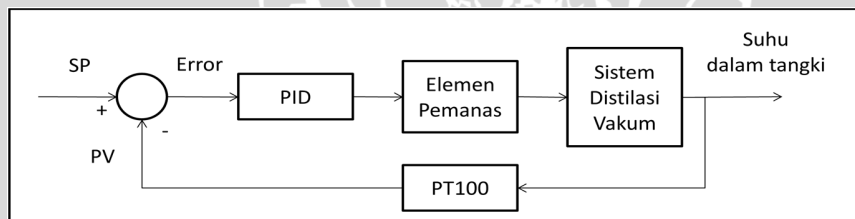
PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

4.1 Perancangan Sistem

Perancangan dan pembuatan alat ini terdiri dari dua bagian, yaitu perancangan dan pembuatan perangkat keras serta perancangan dan pembuatan perangkat lunak. Perancangan dan pembuatan alat dilakukan secara bertahap untuk memudahkan analisis sistem. Beberapa aspek yang perlu dijelaskan dalam bab ini meliputi:

1. Cara kerja alat.
2. Spesifikasi alat.
3. Perancangan perangkat keras (mekanik *Vacuum Distiller*, rangkaian pengondisi sinyal sensor suhu PT100, elemen pemanas, rangkaian dimmer)
4. Perancangan perangkat lunak (perancangan algoritma kontrol PID pada *software arduino ERW 1.0.5*)

4.2 Diagram Blok Sistem



Gambar 4.1 Blok Diagram Sistem (Perancangan)

Keterangan dari blok diagram sistem diatas adalah sebagai berikut:

1. Sensor suhu berfungsi sebagai pendeteksi suhu dalam tungku saat itu. Jenis sensor suhu yang digunakan adalah PT100 yang dicatu tegangan sebesar 5 V.
2. Aktuator berupa 4 (dua) buah elemen pemanas dengan daya total 1200W.
3. Kontroler yang digunakan adalah Proporsional, Integral, dan Diferensial dengan menggunakan Arduino untuk mengolah nilai PID yang digunakan sebagai nilai kontrol untuk elemen pemanas.

4.3 Prinsip Kerja Alat

Cara kerja alat ini yaitu sebagai berikut:

1. Dimulai dari terdeteksinya suhu di dalam tangki larutan oleh sensor suhu PT100. Pada kondisi awal, suhu disesuaikan sekitar $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $26\text{ }^{\circ}\text{C}$. PT100 sebagai sensor suhu di dalam tangki.
2. Setelah itu data suhu diolah di dalam Arduino, sehingga nantinya Arduino akan mengeluarkan sinyal terkontrol untuk mengendalikan elemen pemanas.
3. Suhu dijaga agar bisa tetap berada di $62\text{ }^{\circ}\text{C}$ sesuai dengan Gambar 2.3.

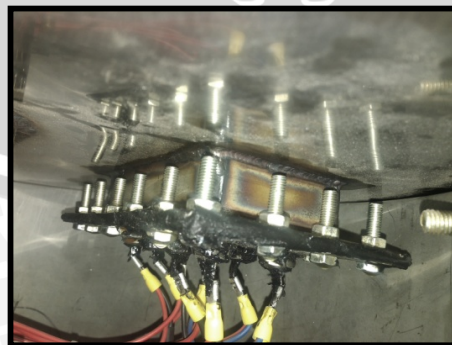
4.4 Perancangan Perangkat Keras (Hardware)

Perancangan perangkat keras terbagi beberapa bagian, diantaranya:

1. Pemilihan elemen pemanas
2. Perancangan rangkaian dimmer.
3. Perancangan rangkaian sensor suhu PT100.
4. Perancangan kontroler PID.

4.4.1 Pemilihan Elemen Pemanas

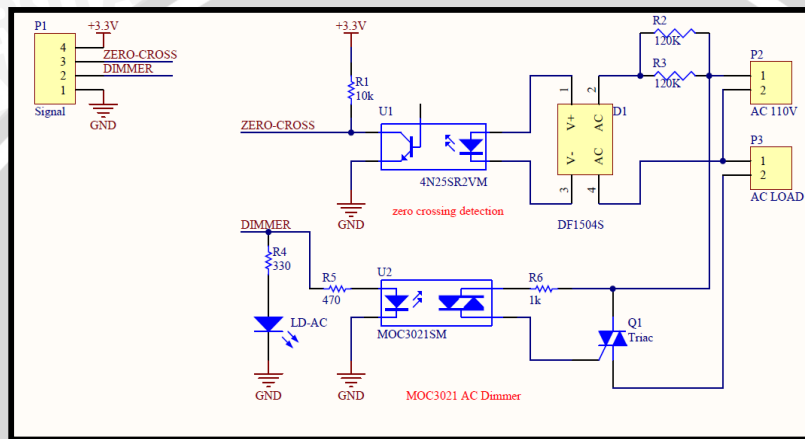
Sistem pemanasan yang digunakan di sini adalah dengan menggunakan 4 buah elemen pemanas dengan daya 300W untuk setiap elemen pemanasnya, sesuai dengan elemen pemanas yang ada di pasaran. Pemasangan elemen pemanas diletakkan tidak langsung di dalam tangki melainkan di dalam jaket yang berisi air sebagai media pemanasnya. Elemen pemanas ditempatkan terpisah dengan susunan dua (2) buah di sebelah kanan dan dua (2) buah di sebelah kiri.



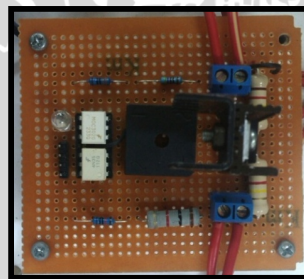
Gambar 4.2 Elemen Pemanas (Perancangan)

4.4.2 Perancangan Rangkaian Dimmer

Elemen pemanas yang digunakan adalah elemen pemanas dengan catu daya AC. Untuk mengendalikan besarnya arus yang melewati elemen pemanas digunakan rangkaian *dimmer* yang mana di dalamnya terdapat rangkaian untuk pemicuan gate TRIAC dan rangkaian *Zero Cross Detector*.



Gambar 4.3 Rangkaian Dimmer (Robert, T, 2013)



Gambar 4.4 Modul Rangkaian Dimmer (Perancangan)

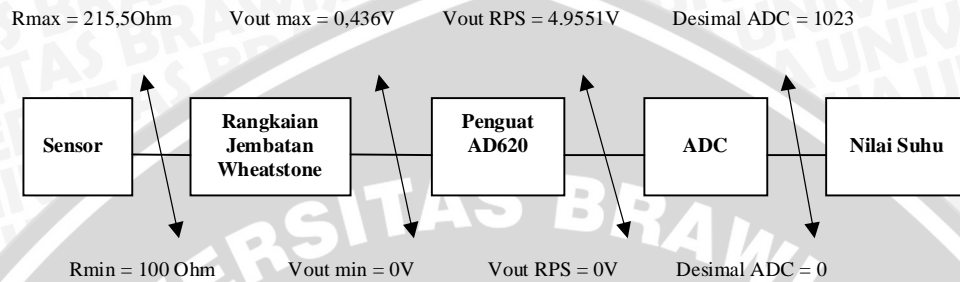
4.4.3 Perancangan Rangkaian Pengondisi Sinyal Sensor Suhu PT100

Komponen rangkaian sensor suhu terdiri dari sensor suhu PT 100, rangkaian jembatan wheatstone, penguat instrumentasi, rangkaian *low-pass* filter, dan ADC 10 bit.

4.4.3.1 Rangkaian Jembatan Wheatstone

PT100 adalah salah satu *Resistance Temperature Detector* (RTD), yang mendeteksi perubahan suhu dengan perubahan besar resistansinya. Dibutuhkan rangkaian yang

mengubah besar resistansi PT100 menjadi tegangan sehingga perubahan suhu yang dideteksi dapat dideteksi pada perubahan level tegangan. Rangkaian yang dibutuhkan PT 100 tersebut adalah rangkaian jembatan wheatstone.



Gambar 4.5 Diagram Blok Perancangan Sensor Suhu PT100 (Perancangan)

Berikut persamaan perubahan resistansi PT 100 terhadap perubahan suhu sesuai dengan datasheet:

$$R_{pt} = 100 + (0.385 * \text{suhu}) \dots\dots\dots (4-1)$$

PT100 yang dirancang berikut dibuat agar mampu mengukur suhu dari 0 °C hingga 300 °C. Apabila dikonversikan didapatkan *range* resistansi sebesar 100 ohm hingga 215.5 ohm. Berdasarkan perhitungan pembagian tegangan pada jembatan wheatstone didapatkan nilai VB selalu tetap yaitu 0.4545 V dan nilai maksimal VA yaitu 0.886 V maka didapatkan *range* ΔV yaitu VA dikurangi VB adalah 0 – 0.436 V.

4.4.3.2 Penguat Instrumentasi

Berlandaskan ADC bertegangan referensi 5V dan hanya bisa menerima maksimal 4.9951 V, maka dibutuhkan rangkaian penguat yang bisa mengubah besar level tegangan 0 - 0.436 V menjadi 0 - 4.9951 V.

$$G = \frac{49.4 \text{ k}\Omega}{R_g} + 1 \dots\dots\dots (4-2)$$

Persamaan (4-2) adalah persamaan penguat instrumentasi AD 620 yang digunakan dalam perancangan ini. Dari perhitungan nilai Rg didapatkan hasil yaitu Rg = 4766.081742 Ω. Resistansi tersebut kemudian dibulatkan menjadi 4700 Ω menyesuaikan dengan nilai yang terdapat pada pasaran. Dengan demikian maka besar penguatan menjadi sebesar:

$$G = \frac{49.4 \text{ k}\Omega}{4700} + 1 = 11.5106383$$

Dengan menggunakan $G = 11.5106383$, maka :

$$\begin{aligned} \Delta V_{\max} &= \frac{V_{ADC}}{G} \\ &= \frac{4.9551}{11.5106383} \\ &= 0.43048 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\Delta V_{\max} = V_{a \max} - V_b$$

$$\begin{aligned} V_{a \max} &= \Delta V_{\max} + V_b \\ &= 0.88498 \text{ V} \end{aligned}$$

Untuk mencari nilai R_{pt} dengan nilai G yang baru yaitu:

$$V_{a \max} = \frac{R_{pt}}{R_{pt} + 1000} * 5$$

$$\text{dengan } C = \frac{V_{a \max}}{5}$$

$$\text{maka } \frac{R_{pt}}{R_{pt} + 1000} = C$$

$$\begin{aligned} R_{pt} &= \frac{1000 C}{1 - C} \\ &= 215.06 \Omega \end{aligned}$$

Dari hasil tersebut, diperoleh nilai suhu yang ditunjukkan seperti pada rumus berikut:

$$R_{pt \max} = 100 + (0.385 * \text{Suhu})$$

$$\begin{aligned} \text{Suhu}_{\max} &= \frac{R_{pt \max} - 100}{0.385} \\ &= 298.86 \text{ }^\circ\text{C} \end{aligned}$$

V_{ADC} adalah tegangan masukan ADC. Sedangkan suhu adalah nilai suhu yang terukur.

$$V_{ADC} = \Delta V * G$$

$$\Delta V = V_a - V_b$$

$$\Delta V = \frac{R_{pt}}{R_{pt} + 1000} * 5 + 0.4545$$

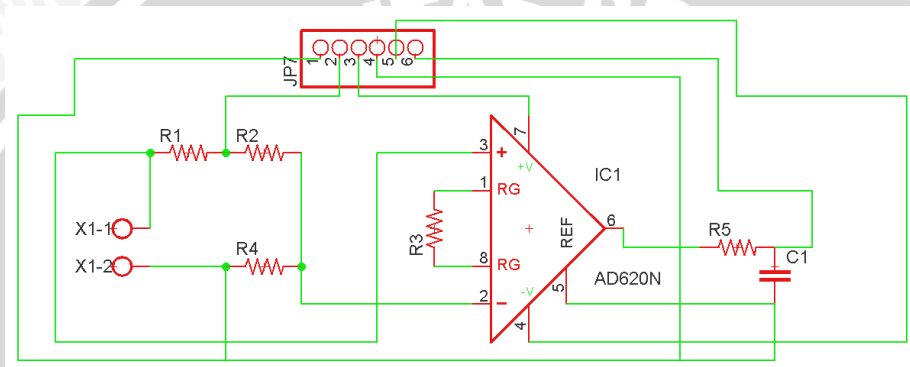
$$R_{pt} = R_0 + (\text{suhu} * 0.385), \text{ maka}$$

$$V_{ADC} = \left(\left(\frac{100 + (suhu * 0.385) * 5}{[(100 + suhu * 0.385) + 1000]} \right) - 0.4545 \right) * G$$

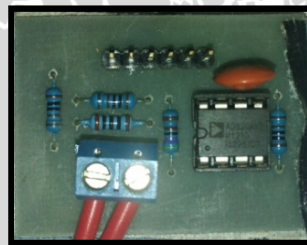
Besar persamaan tegangan masukkan ADC terhadap suhu dan sebaliknya menjadi:

$$V_{ADC} = \left(\left(\frac{(1.925 * suhu) + 500}{(0.385 * suhu) + 1100} \right) - 0.4545 \right) * 11.5106383$$

Rangkaian keseluruhan pengkondisi sinyal sensor suhu PT100 ditunjukkan pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Rangkaian Pengkondisi Sinyal Sensor Suhu PT100 (Perancangan)

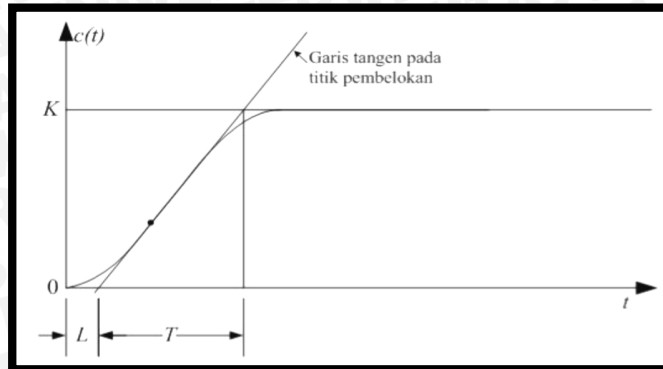


Gambar 4.7 Modul Rangkaian Pengkondisi Sinyal Sensor Suhu PT100 (Perancangan)

4.5 Perancangan Kontroler PID

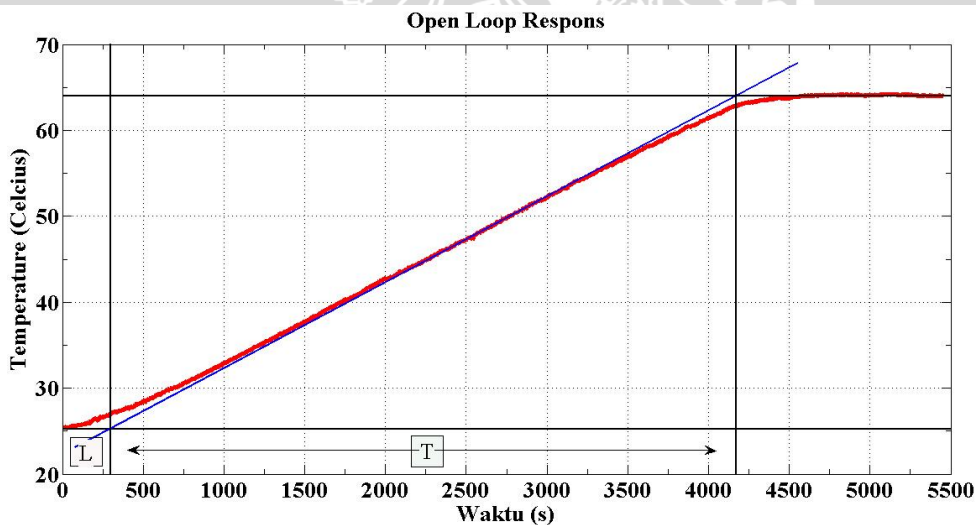
Ziegler dan Nichols mengemukakan aturan-aturan untuk menentukan nilai dari gain proporsional K_p , waktu integral T_i , dan waktu derivatif T_d berdasarkan karakteristik respon transien dari *plant* yang diberikan. Penentuan parameter kontroler PID atau penalaan kontroler PID tersebut dapat dilakukan dengan bereksperimen dengan plan (Ogata, K., 1997). Pada pengerjaan skripsi ini digunakanlah metode Ziegler Nichols yang pertama sehingga mendapatkan sinyal kurve S seperti pada Gambar 4.8.





Gambar 4.8 Kurva Respon yang Berbentuk S (Ogata, K. 1997)

Kurva berbentuk S tersebut dapat dikarakteristikan menjadi dua konstanta yaitu waktu tunda L dan konstanta waktu T . Waktu tunda dan konstanta waktu ditentukan dengan menggambar sebuah garis tangen pada titik pembelokan dari kurva S, dan menentukan perpotongan antara garis tangen dengan sumbu waktu t dan sumbu $c(t) = K$. Berikut kurva hasil perancangan kontroler menggunakan metode Ziegler Nichols.

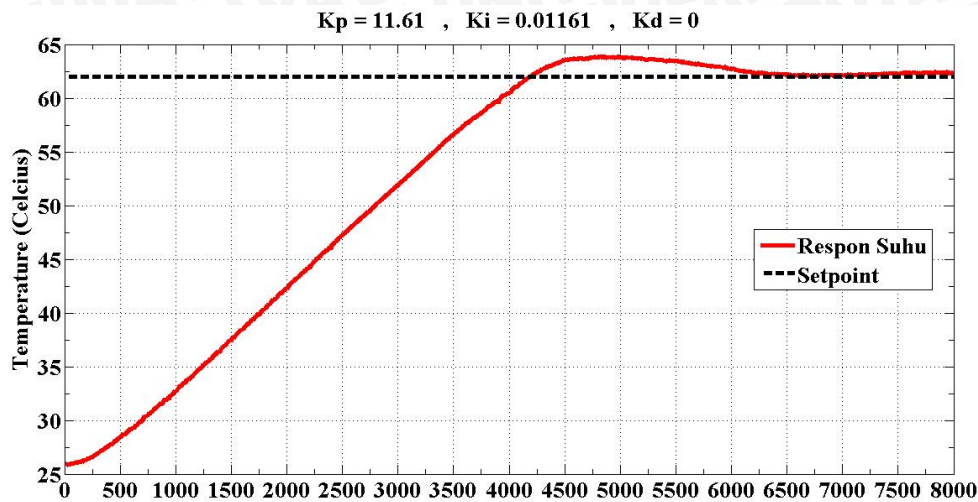


Gambar 4.9 Respon Suhu *Open Loop* (Perancangan)

Diperoleh nilai $L = 300$ s dan $T = 3870$ s berdasarkan dari grafik pada Gambar 4.9. Mengacu pada tabel Ziegler Nichols 1, didapatkan nilai $K_p = 11.61$ dan $T_i = 1000$ sehingga nilai $K_i = 0.01161$ dan $K_d = 0$. Parameter ini nantinya digunakan dalam pengujian untuk



sistem secara keseluruhan. Gambar 4.10 adalah grafik respon suhu dengan menggunakan nilai $K_p = 11.61$, $K_i = 0.01161$ dan $K_d = 0$.



Gambar 4.10 Grafik Respon Dengan Menggunakan $K_p = 11.61$, $K_i = 0.01161$ dan $K_d = 0$ (Perancangan)

Sistem mengalami overshoot dan titik tertinggi overshoot pada suhu $63.87\text{ }^{\circ}\text{C}$, lalu akhirnya mengalami penurunan dan *steady* pada sekitar nilai suhu $62.23\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Dari grafik di atas, terjadi *overshoot* dengan nilai sebesar:

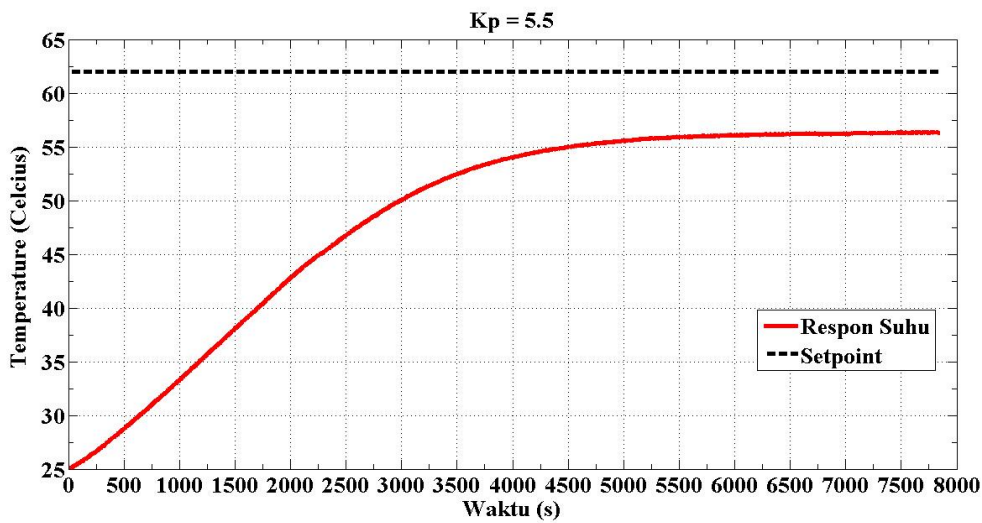
$$\begin{aligned} \% M_p &= \frac{|T_{\text{puncak}} - T_{\text{steady}}|}{T_{\text{steady}}} \times 100 \% \\ &= \frac{|63.87 - 62.23|}{62.23} \times 100 \% \\ &= 2.635 \% \end{aligned}$$

Respon grafik dengan parameter Ziegler-Nichols masih terdapat *overshoot* sebesar 2.635%, maka dilakukan *hand tuning* (*tuning* eksperimen) untuk mendapatkan respon tanpa adanya *overshoot*.

Tuning eksperimen adalah proses yang dilakukan untuk mendapatkan hasil kontroler yang optimal dengan cara suatu percobaan. Inti dari *tuning* eksperimen adalah menentukan nilai dari tiga buah parameter yang terdapat pada kontroler PID yaitu konstanta proporsional (K_p), konstanta integral (K_i) dan konstanta diferensial (K_d). Pada

perancangan kontroler PID sistem pengendalian suhu ini, menggunakan metode *hand tuning* untuk menentukan parameter Kp, Ki, dan Kd.

Proses *tuning* parameter PID ini dilakukan dengan cara mengatur nilai Kp dan Ki hingga didapatkan respon sistem seperti yang diinginkan yaitu mendekati 62 °C. *Tuning* yang pertama adalah parameter Kp, sehingga nantinya didapatkan respon yang mendekati 62 °C. Dengan nilai Kp = 5.5 diperoleh grafik respon seperti pada Gambar 4.11

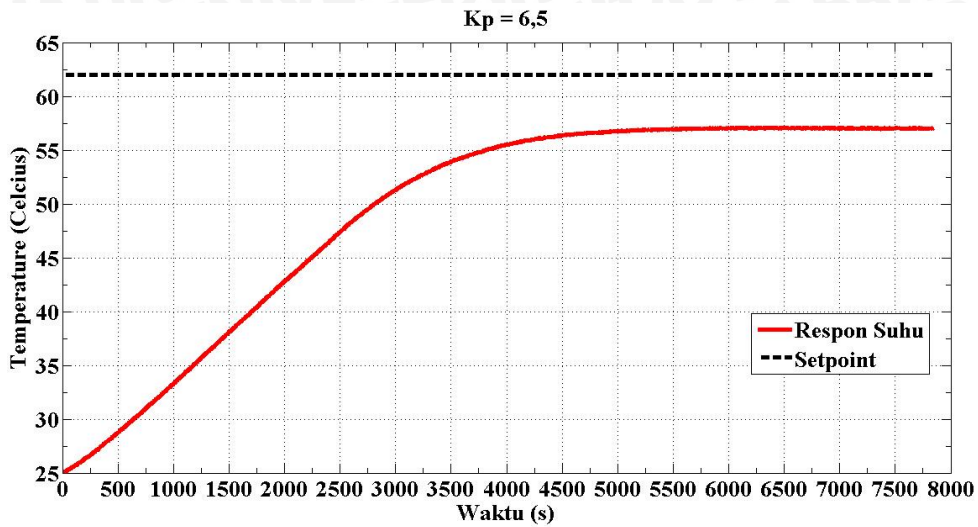


Gambar 4.11 Respon Sistem Dengan Menggunakan Kp=5.5 (Perancangan)

Dari grafik di atas, terjadi *offset* dengan nilai sebesar:

$$\begin{aligned}
 \text{Offset} &= |T_{\text{steady}} - T_{\text{setpoint}}| \\
 &= |56.27 - 62| \\
 &= 5.73 \\
 \% \text{ ESS} &= \frac{|T_{\text{steady}} - T_{\text{setpoint}}|}{T_{\text{setpoint}}} \times 100 \% \\
 &= \frac{|56.27 - 62|}{62} \times 100 \% \\
 &= 9.241 \%
 \end{aligned}$$

Untuk nilai Kp = 6.5 diperoleh grafik respon seperti pada gambar 4.12



Gambar 4.12 Respon Sistem Dengan Menggunakan Kp = 6.5 (Perancangan)

Dari grafik di atas, terjadi *offset* dengan nilai sebesar:

$$\begin{aligned}
 \text{Offset} &= |T_{\text{steady}} - T_{\text{setpoint}}| \\
 &= |57.02 - 62| \\
 &= 4.98 \\
 \% \text{ ESS} &= \frac{|T_{\text{steady}} - T_{\text{setpoint}}|}{T_{\text{setpoint}}} \times 100 \% \\
 &= \frac{|57.02 - 62|}{62} \times 100 \% \\
 &= 8.03 \%
 \end{aligned}$$

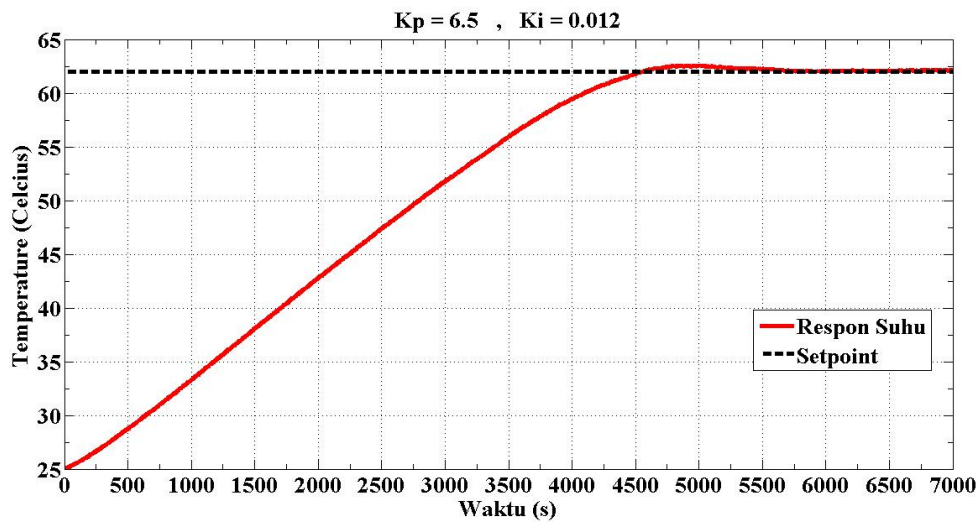
Dari grafik respon didapatkan parameter Kp dan *offset* dengan nilai seperti pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Tuning Nilai Kp (Perancangan)

Kp	ESS (%)
5.5	9.24
6.5	8.03

Dari hasil perancangan tersebut, didapatkan nilai Kp = 6.5 yang 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

Ki dengan menggunakan nilai $K_p = 6.5$ dan setpoint tetap yaitu 62°C . Hasil respon dari nilai $K_p = 6.5$, $K_i = 0.012$ dan $K_d = 0$ dapat dilihat pada Gambar 4.13.

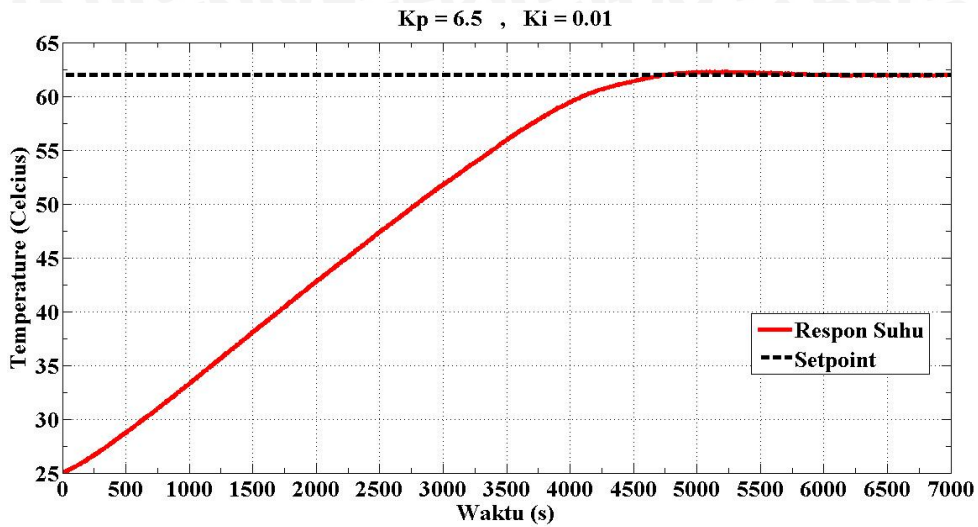


Gambar 4.13 Respon Sistem Dengan Menggunakan $K_p = 6.5$ dan $K_i = 0.012$ (Perancangan)

Respon dengan nilai $K_p = 6.5$, $K_i = 0.012$ dan $K_d = 0$ terdapat osilasi saat *steady* dengan toleransi 2%. Suhu minimum pada saat *steady* = 61.99°C dan suhu maksimum *steady* = 62.15°C . Dari grafik di atas, terjadi *overshoot* dengan nilai sebesar:

$$\begin{aligned} \% M_p &= \frac{|T_{\text{puncak}} - T_{\text{steady}}|}{T_{\text{steady}}} \times 100 \% \\ &= \frac{|62.55 - 62.05|}{62.05} \times 100 \% \\ &= 0.8\% \end{aligned}$$

Hasil respon dari $K_p = 6.5$, $K_i = 0.01$ dan $K_d = 0$ dapat dilihat pada Gambar 4.14

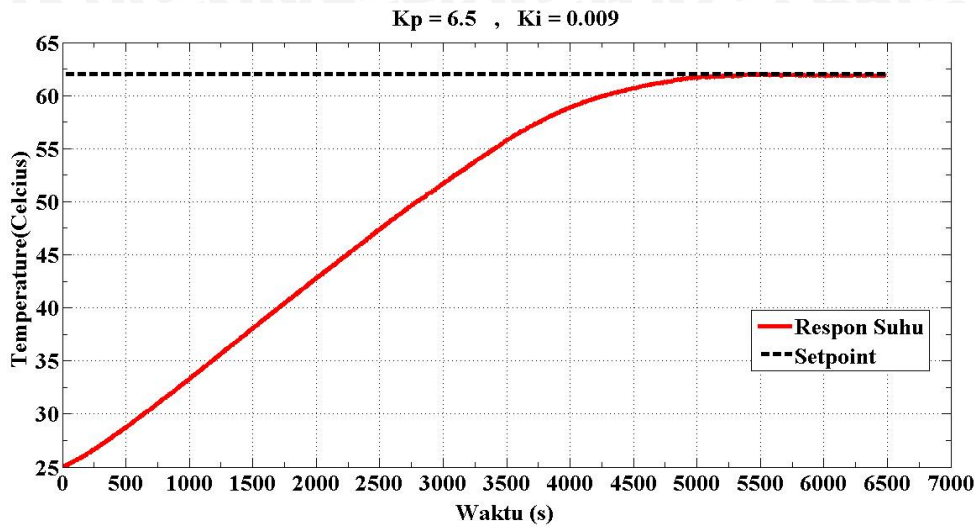


Gambar 4.14 Respon Sistem Dengan Menggunakan $K_p = 6.5$ dan $K_i = 0.01$ (Perancangan)

Respon pada nilai $K_p = 6.5$, $K_i = 0.01$ dan $K_d = 0$ terdapat osilasi saat *steady* dengan toleransi 2%. Suhu minimum pada saat *steady* = 61.9°C dan suhu maksimum *steady* = 62.06°C. Dari grafik di atas, terjadi *overshoot* dengan nilai sebesar:

$$\begin{aligned} \% M_p &= \frac{|T_{\text{puncak}} - T_{\text{steady}}|}{T_{\text{steady}}} \times 100 \% \\ &= \frac{|62.27 - 61.93|}{61.93} \times 100 \% \\ &= 0.5\% \end{aligned}$$

Hasil respon dari $K_p = 6.5$, $K_i = 0.009$ dan $K_d = 0$ dapat dilihat pada Gambar 4.15



Gambar 4.15 Respon Sistem Dengan Menggunakan $K_p = 6.5$ dan $K_i = 0.009$ (Perancangan)

Untuk nilai $K_p = 6.5$, $K_i = 0.009$ dan $K_d = 0$ terdapat osilasi saat *steady* dengan toleransi 2%. Suhu minimum pada saat *steady* = 61.78°C dan suhu maksimum *steady* = 62.03°C . Dari grafik di atas, tidak terjadi *overshoot*.

Dari grafik respon didapatkan hasil nilai K_i dengan batas toleransi dan waktu *steady* seperti pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil *Tuning* Nilai K_p dan K_i (Perancangan)

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

Hasil *tuning* parameter kontroler diperoleh nilai $K_p = 6.5$ dan $K_i = 0,009$, dimana didapatkan respon yang tidak terdapat *overshoot*. Karena respon sudah tidak terdapat overshoot, maka tidak perlu melakukan pencarian nilai parameter K_d atau nilai K_d dianggap = 0.

4.6 Modul Arduino Mega 2560

Pada sistem pengendalian suhu ini digunakan Arduino Mega 2560 sebagai pengolah data dalam proses pengendalian elemen pemanas.

Arduino Mega adalah board mikrokontroler berbasis ATmega1280. Memiliki 54 pin input dan output digital, dimana 14 pin diantara pin tersebut dapat digunakan sebagai output PWM dan 16 pin input analog, 16 MHz osilator kristal, koneksi USB, jack power, ICSP header, dan tombol reset. Untuk mendukung mikrokontroler agar dapat digunakan, cukup hanya menghubungkan Board Arduino Mega ke komputer dengan menggunakan kabel USB atau dengan adaptor AC-DC untuk menjalankannya.

Secara fisik, ukuran Arduino Mega hampir kurang lebih 2 kali lebih besar dari Arduino Uno, ini untuk mengakomodasi lebih banyaknya pin Digital dan Analog pada board Arduino Mega tersebut. Tampilan Arduino Mega dapat dilihat pada Gambar 4.16.

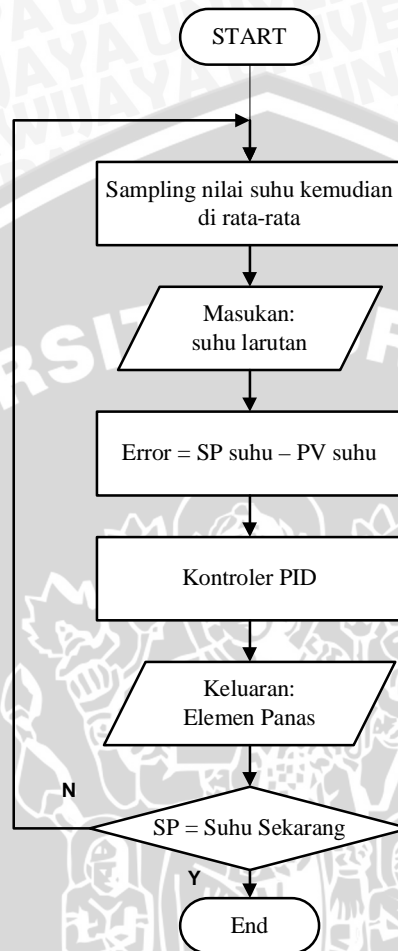


Gambar 4.16 Modul Arduino Mega 2560

Tabel 4.3 Fungsi Pin Arduino Mega 2560

No	Pin	Fungsi
1	31	LCD pin
2	35	LCD pin
3	39	LCD pin
4	43	LCD pin
5	47	LCD pin
6	51	LCD pin
7	5V	Jalur masukan catu daya 5 V
8	GND	Jalur masukan ground
9	2	Jalur masukan Zero Cross Interrupt
10	9	Jalur keluaran untuk rangkaian <i>dimmer</i>
11	A3	Jalur masukan RPS dari PT100

4.7 Perancangan Algoritma Perangkat Lunak



Gambar 4.17 Flowchart Program (Perancangan)

BAB V

PENGUJIAN DAN ANALISIS SISTEM

Pengujian sistem disini bertujuan untuk mengetahui apakah alat yang dibuat bisa berfungsi sesuai dengan perancangannya. Pengujian sistem ini diantaranya adalah pengujian setiap blok serta pengujian sistem secara keseluruhan. Pengujian dibagi menjadi beberapa bagian, yaitu:

1. Pengujian sensor suhu PT100.
2. Pengujian penyulutan TRIAC.
3. Pengujian rangkaian *dimmer*.
4. Pengujian sistem keseluruhan.

5.1 Pengujian Sensor

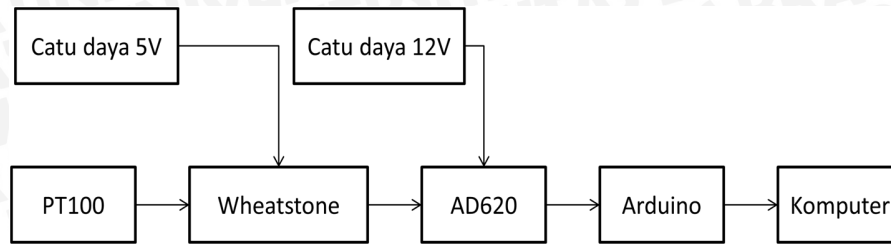
Pengujian sensor suhu ditujukan untuk mengetahui penyimpangan yang terjadi dalam beberapa kali pengukuran.

5.1.1 Peralatan yang digunakan

1. Sumber tegangan DC 5 V dan 12 V.
2. Arduino Mega 2560.
3. Rangkaian Sensor Suhu PT100.
4. Komputer.

5.1.2 Prosedur Pengujian

1. Merangkai peralatan seperti blok diagram pada Gambar 5.1.
2. Mengunduh program pembacaan sensor suhu pada arduino.
3. Mengamati dan mencatat nilai pada tampilan serial monitor.
4. Menghitung besar kesalahan relatif pembacaan berdasarkan standar deviasi.
5. Melakukan pengujian berupa uji-T untuk mengetahui tingkat keakurasian sensor PT100.



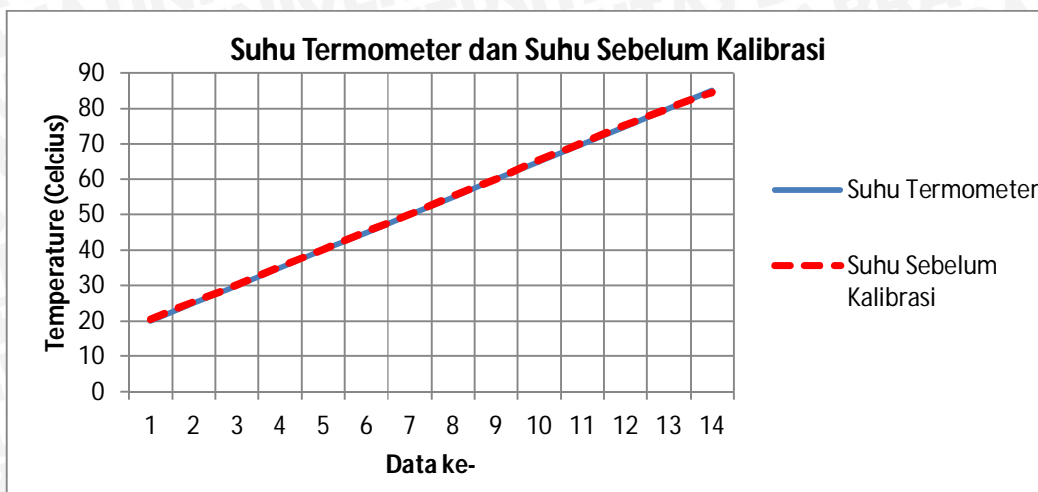
Gambar 5.1 Rangkaian Pengujian Sensor Suhu PT100 (Perancangan)

5.1.3 Hasil Pengujian

Dari hasil pengujian didapatkan data sebagai berikut :

Tabel 5.1 Hasil Pembacaan Suhu Tanpa Kalibrasi

No	Suhu Termometer	Suhu Pembacaan Arduino
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



Gambar 5.2 Perbandingan Nilai Pembacaan Suhu Pada Termometer Dengan LCD (Perancangan)

Kalibrasi dengan metode regresi linier :

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

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

$$f = a_0 + a_1 x$$

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

Tabel 5.2 Hasil Pembacaan Suhu dengan Kalibrasi (Perancangan)

No	Suhu Termometer	Pembacaan Serial Monitor	Hasil Perhitungan Kalibrasi	Hasil Pengujian Kalibrasi
1	20	20,4	20,04	20,05
2	25	25,43	25,09	25,22
3	30	30,19	29,88	30,14
4	35	35,2	34,92	35,35
5	40	40,19	39,93	40,31
6	45	45,23	45,00	45,28
7	50	49,94	49,73	50,27
8	55	55,28	55,10	54,72
9	60	60,08	59,93	59,74
10	65	65,6	65,48	64,77
11	70	70,24	70,14	70,11
12	75	75,35	75,28	75,47
13	80	80,1	80,05	80,27
14	85	84,46	84,43	85,1

5.2 Pengujian LCD

Pengujian bertujuan untuk mengetahui apakah *liquid crystal display* (LCD) dapat berfungsi, yang mana akan digunakan untuk menunjukkan waktu dan *error* pada sistem secara keseluruhan.

5.2.1 Peralatan yang digunakan

1. Laptop
2. Arduino Mega
3. *Liquid Crystal Display* (LCD) Hitachi HD44780
4. Pin header
5. 10k potensiometer
6. *Project board*
7. Kabel *male to female*

5.2.2 Prosedur Pengujian

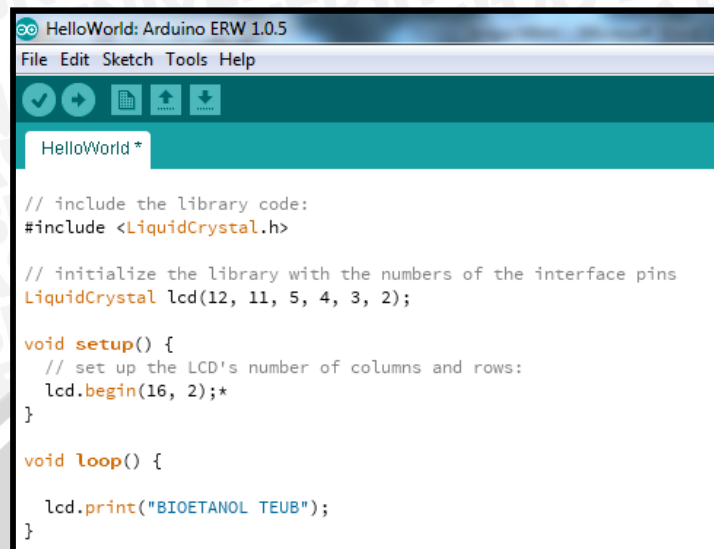
Pengujian dilakukan dengan cara merangkai rangkaian *liquid crystal display* (LCD) terlebih dahulu sesuai dengan *wiring* yang ada pada *datasheet* ke *project board* dan Arduino Mega, kemudian dihubungkan ke laptop.

5.2.3 Hasil Pengujian

Setelah melakukan prosedur pengujian, maka didapatkan hasil yang ditunjukkan dalam dalam Gambar 5.3.



Gambar 5.3 Hasil Pengujian *Liquid Crystal Display* (LCD) (Perancangan)



```
HelloWorld: Arduino ERW 1.0.5
File Edit Sketch Tools Help

HelloWorld *

// include the library code:
#include <LiquidCrystal.h>

// initialize the library with the numbers of the interface pins
LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2);

void setup() {
  // set up the LCD's number of columns and rows:
  lcd.begin(16, 2);*
}

void loop() {
  lcd.print("BIOETANOL TEUB");
}
```

Gambar 5.4 Program *Liquid Crystal Display (LCD)* (Perancangan)

5.3 Pengujian Penyulutan TRIAC

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah rangkaian yang telah dirancang bisa mengatur gelombang sinusoida tegangan AC.

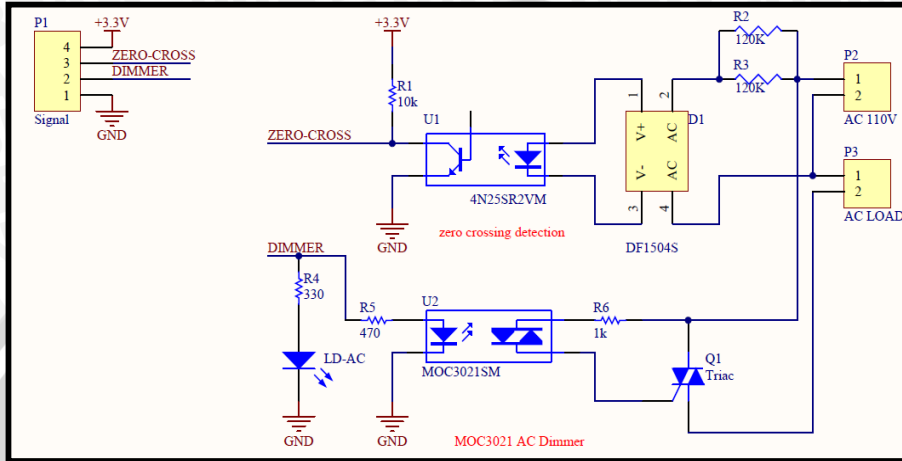
5.3.1 Peralatan yang digunakan

1. Sumber Tegangan AC.
2. Arduino Mega 2560.
3. Rangkaian *Zero Cross Detector*.
4. Rangkaian TRIAC dan MOC 3021.
5. Oscilloscope.
6. Multimeter.
7. Komputer.

5.3.2 Prosedur Pengujian

1. Membuat rangkaian seperti Gambar 5.5.
2. Menghubungkan sumber tegangan 5V ke Arduino dan ke optocoupler 4N25.
3. Menghubungkan rangkaian ke sumber tegangan AC.
4. Menghubungkan keluaran optocoupler 4N25 ke pin *interrupt* arduino.

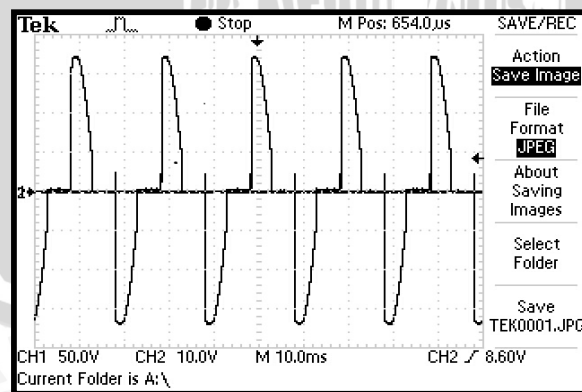
5. Menghubungkan salah satu pin digital I/O dari arduino ke MOC3021.
6. Menghubungkan *probe* 1 oscilloscope ke keluaran arduino dan *probe* 2 ke tegangan keluaran TRIAC.



Gambar 5.5 Rangkaian Pengujian Sudut Penyalan TRIAC (Robert, T. 2013)

5.3.3 Hasil Pengujian

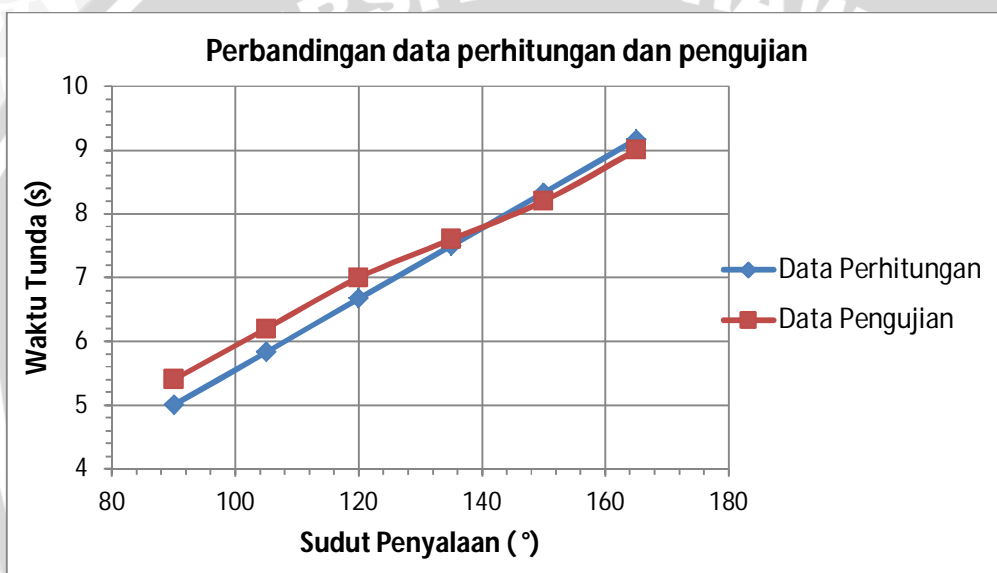
Dari pengujian penyalan TRIAC didapatkan hasil pengujian berupa bentuk gelombang keluaran TRIAC sesuai dengan sudut penyalannya. Contoh hasil keluaran gelombang untuk sudut penyalan 90° atau dengan *dimming* 64 ditunjukkan pada Gambar 5.6. Hasil pengujian keseluruhan ditunjukkan pada Tabel 5.3 dan Gambar 5.7.



Gambar 5.6 Bentuk gelombang keluaran TRIAC dengan sudut penyalan 90° atau dengan *dimming* 64 (Perancangan)

Tabel 5.3 Hasil Pengujian Sudut Penyalaan TRIAC (Perancangan)

Sudut Penyalaan (°)	dimming	Perhitungan waktu tunda (ms)	Pengujian waktu tunda (ms)
90	64,00	5,00	5,4
105	74,67	5,83	6,2
120	85,33	6,67	7
135	96,00	7,50	7,6
150	106,67	8,33	8,2
165	117,33	9,17	9



Gambar 5.7 Grafik Perbandingan Data Perhitungan Dan Pengujian Waktu Tunda TRIAC (Perancangan)

Berdasarkan data hasil pengujian sudut penyalaan TRIAC yang didapatkan pada Tabel 5.3 terjadi penyimpangan waktu tunda dengan data hasil perhitungan. Berikut 3 contoh perhitungan pengujian dengan sampel data ke-2, ke-4, dan ke-6 :

Contoh perhitungan pengujian dengan sampel data ke-2 :

$$\begin{aligned}
 \text{Waktu tunda (ms)} &= \frac{\text{Sudut Penyalaan}}{180^\circ} \times 10 \\
 &= \frac{105^\circ}{180^\circ} \times 10 \\
 &= 5,83 \text{ ms}
 \end{aligned}$$

Nilai error yang didapat dari selisih *absolute* perhitungan dan pengujian sebesar :

$$\begin{aligned}\text{Error (ms)} &= |\text{Perhitungan} - \text{Pengujian}| \\ &= |5,83 - 6,2| = 0,37 \\ \text{Error (\%)} &= \frac{\text{Error}}{\text{Data Perhitungan}} \times 100\% \\ &= \frac{0,37}{5,83} \times 100\% \\ &= 6,29\%\end{aligned}$$

Contoh perhitungan pengujian dengan sampel data ke-4 :

$$\begin{aligned}\text{Waktu tunda (ms)} &= \frac{\text{SudutPenyalaaan}}{180^\circ} \times 10 \\ &= \frac{135^\circ}{180^\circ} \times 10 \\ &= 7,5 \text{ ms}\end{aligned}$$

Nilai error yang didapat dari selisih *absolute* perhitungan dan pengujian sebesar

$$\begin{aligned}\text{Error (ms)} &= |\text{Perhitungan} - \text{Pengujian}| \\ &= |7,5 - 7,6| = 0,1 \\ \text{Error (\%)} &= \frac{\text{Error}}{\text{Data Perhitungan}} \times 100\% \\ &= \frac{0,1}{7,5} \times 100\% \\ &= 1,33\%\end{aligned}$$

Contoh perhitungan pengujian dengan sampel data ke-6 :

$$\begin{aligned}\text{Waktu tunda (ms)} &= \frac{\text{SudutPenyalaaan}}{180^\circ} \times 10 \\ &= \frac{165^\circ}{180^\circ} \times 10 \\ &= 9,17 \text{ ms}\end{aligned}$$

Nilai error yang didapat dari selisih *absolute* perhitungan dan pengujian sebesar :

$$\begin{aligned} \text{Error (ms)} &= |\text{Perhitungan} - \text{Pengujian}| \\ &= |9,17 - 9| = 0,17 \\ \text{Error (\%)} &= \frac{\text{Error}}{\text{Data Perhitungan}} \times 100\% \\ &= \frac{0,17}{9,17} \times 100\% \\ &= 1,82\% \end{aligned}$$

Hasil perhitungan error pengujian secara keseluruhan dapat dilihat pada Tabel 5.4.

Tabel 5.4 Error Pengujian Sudut Penyalan TRIAC (Perancangan)

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%

Dari hasil perhitungan error pengujian secara keseluruhan didapatkan nilai rata-rata error keseluruhan sebesar 4.01%. Error ini dikarenakan adanya proses perhitungan dan pembulatan angka oleh mikrokontroler dan sumber AC yang tidak ideal baik dari frekuensi dan bentuk gelombang tegangan, sehingga menyebabkan adanya selisih antara perhitungan dan pengukuran. Berdasarkan analisis di atas bisa disimpulkan bahwa mikrokontroler mampu menghasilkan sudut penyalan yang sesuai dengan yang diberikan.

5.4 Pengujian Rangkaian *Dimmer*

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

5.4.1 Peralatan yang digunakan

1. Sumber Tegangan AC.
2. Arduino Mega 2560.

3. Rangkaian *Dimmer*
4. Multimeter.
5. Komputer.

5.4.2 Prosedur Pengujian

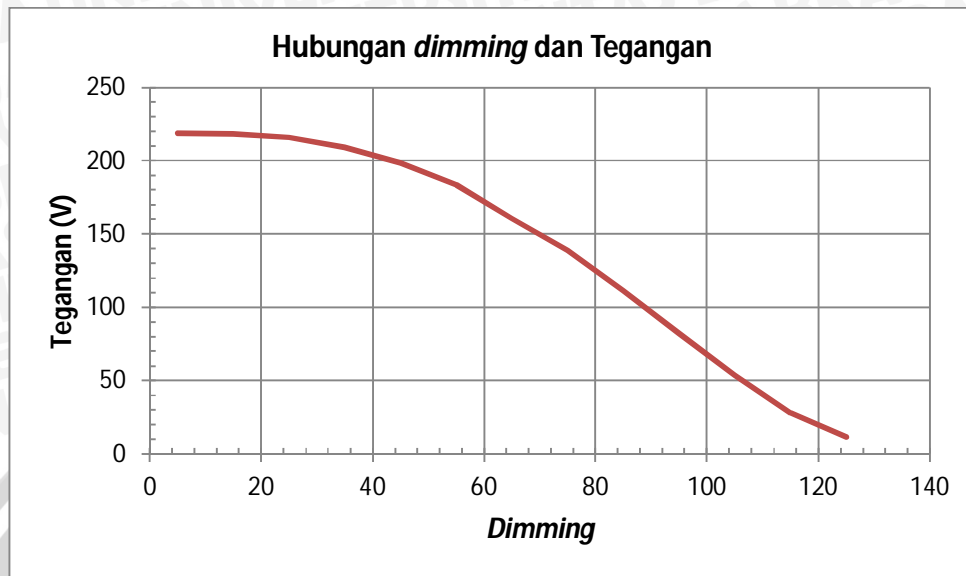
1. Menghubungkan rangkaian *dimmer* dengan arduino.
2. Menghubungkan rangkaian *dimmer* dengan sumber AC.
3. Menghubungkan Arduino dengan komputer.
4. Memberikan beban pada rangkaian *dimmer*.
5. Memberikan nilai *dimming* pada rangkaian *dimmer* melalui arduino.
6. Mengukur tegangan yang dikeluarkan rangkaian *dimmer* kepada beban.

5.4.3 Hasil Pengujian

Dari hasil pengujian rangkaian *dimmer* didapatkan hasil berupa nilai tegangan yang berbeda-beda sesuai dengan nilai *dimming* yang diberikan. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.5 dan Gambar 5.8.

Tabel 5.5 Perbandingan Nilai Dimming Terhadap Tegangan

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



Gambar 5.8 Grafik Hubungan Nilai Dimming Dengan Besarnya Tegangan Pada Elemen Pemanas (Perancangan)

Dari Tabel 5.5 dapat disimpulkan bahwa rangkaian *dimmer* dapat berfungsi dan dapat digunakan sebagai driver aktuator (elemen pemanas), ditandai dengan adanya perubahan tegangan akibat perubahan nilai dimming yang diberikan.

5.5 Pengujian Keseluruhan

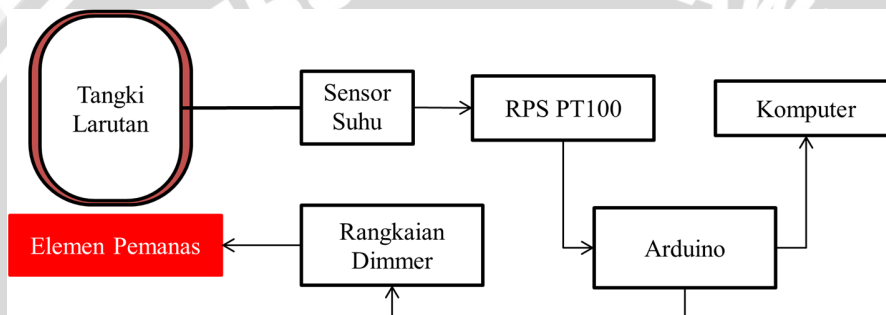
Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah parameter kontroler yang telah didapat bisa memberikan hasil respon seperti yang diinginkan.

5.5.1 Peralatan yang digunakan

1. *Vacuum Distiller*.
2. Sensor suhu RTD (PT100).
3. Rangkaian pengondisi sinyal sensor suhu PT100.
4. Rangkaian *Dimmer*.
5. Arduino Mega 2560.
6. Sumber tegangan AC.
7. Komputer.

5.5.2 Prosedur Pengujian

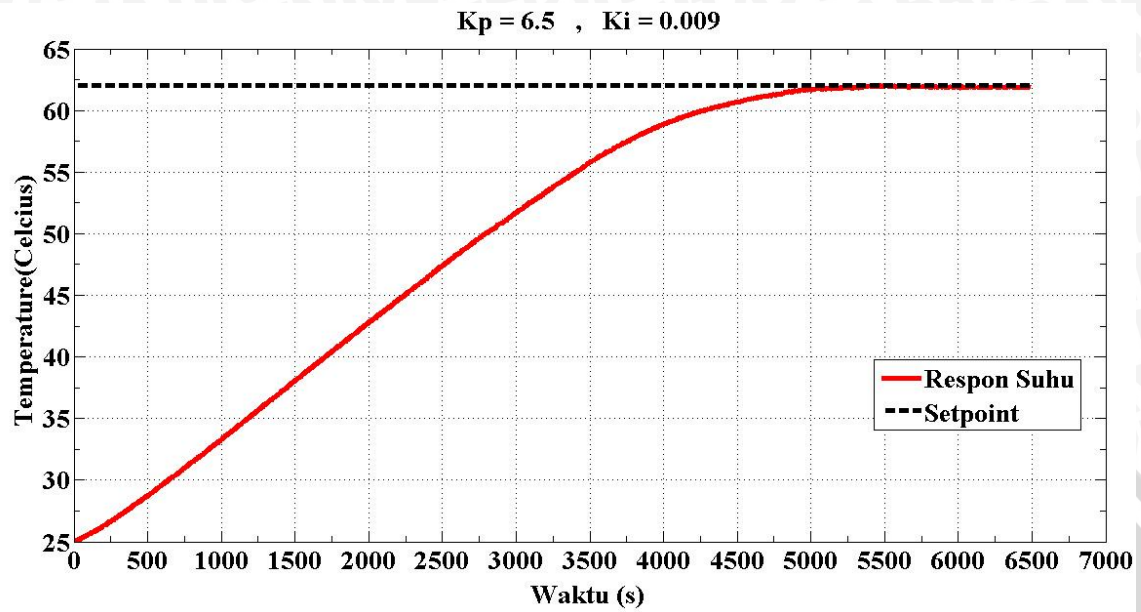
1. Menghubungkan rangkaian seperti Gambar 5.9.
2. Mengunduh program dengan kontroler PID sesuai dengan parameter yang telah didapat melalui *software* arduino ERW 1.0.5.
3. Menampilkan dan merekam nilai suhu tabung *evaporator* pada serial monitor *software* Arduino ERW 1.0.5.
4. Membuat grafik dari data yang didapat.



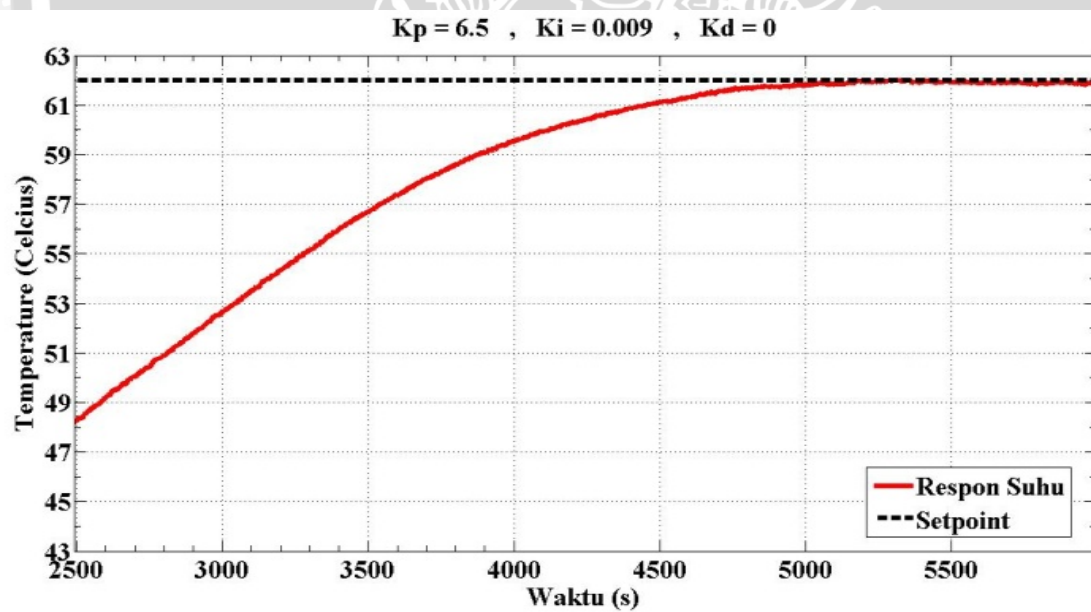
Gambar 5.9 Rangkaian Pengujian Keseluruhan (Perancangan)

5.5.3 Hasil Pengujian

Setelah melakukan prosedur pengujian, didapatkan hasil respon keluaran dengan memberikan setpoint suhu 62°C . Grafik hasil pengujian bisa dilihat pada gambar 5.10 dan untuk lebih jelasnya bisa dilihat di Gambar 5.11.



Gambar 5.10 Hasil Pengujian Keseluruhan Dengan Setpoint 62°C (Perancangan)

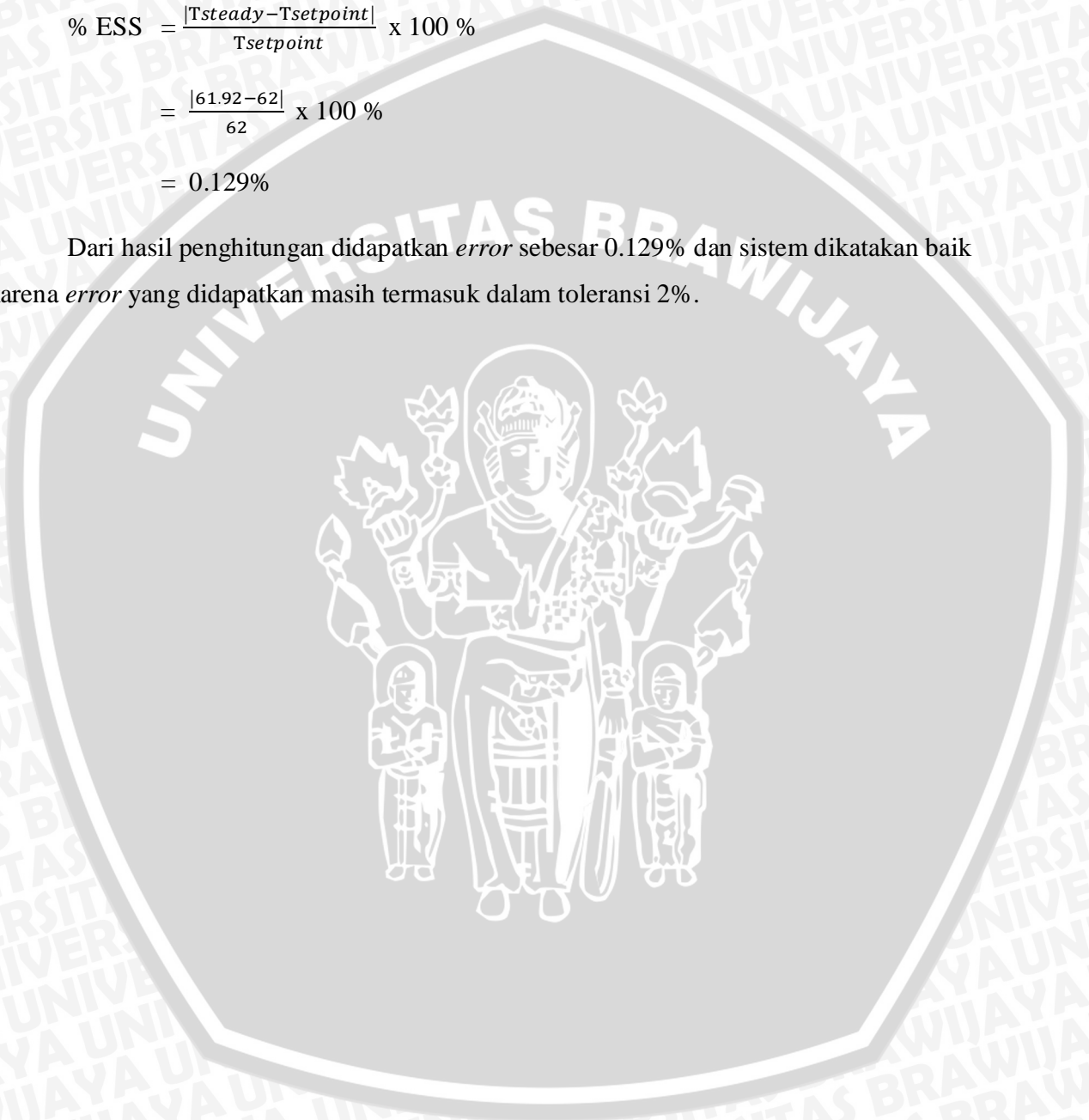


Gambar 5.11 Hasil Pengujian Keseluruhan Yang Diperjelas (Perancangan)

Dari grafik hasil pengujian bisa di dapatkan *error steady state* pada sistem sebagai berikut:

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

Dari hasil penghitungan didapatkan *error* sebesar 0.129% dan sistem dikatakan baik karena *error* yang didapatkan masih termasuk dalam toleransi 2%.



BAB VI PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Dari perancangan, pengujian dan pengamatan yang telah dilakukan pada penelitian sistem pengendalian suhu distilasi vakum maka dapat 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%.

6.2 Saran

Dalam perancangan dan pembuatan alat ini masih terdapat kelemahan. Untuk memperbaiki kinerja alat dan pengembangan lebih lanjut disarankan :

1. Disarankan menambahkan sensor vakum dan melakukan penelitian untuk pengendalian tekanan vakum.
2. Disarankan melakukan penelitian lebih mendalam tentang pengendalian suhu adaptif yang terpengaruh oleh tekanan pada proses distilasi vakum.
3. Disarankan melakukan penelitian lebih mendalam tentang pengendalian MIMO terhadap 2 (dua) *variable*, yaitu suhu dan tekanan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ackland, T. 2012. *Home Distillation of Alcohol*, Diakses dari <http://homedistiller.org> tanggal 17 Maret 2013
- Agustanto, 2012. Diakses dari <http://www.elemenpemanas.co.id>, tanggal 5 November 2013
- Amstrom, K. J., & Hagglund, Tore. 1995. *PID Controllers: Theory, Design and Tuning*. Instrument Society of America: Research Triangle Park.
- Farkade, H., S., Pathre, A., P., 2012. "Experimental Investigation of metanol, etanol and Butanol Blends with Gasoline on SI Engine," *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 2(4):205-215.
- Nixon, M., Mc. Gaw, 2001. *The Compleat Distiller*, Auckland, The Amphora Society
- Ogata, K. 1997. *Teknik Kontrol Automatik (Sistem Pengaturan)*. Jakarta: Erlangga.
- Primatama, A. 2013. Perancangan Soft Starter Motor Induksi Satu Fasa Dengan Metode Closed Loop Menggunakan Mikrokontroler Arduino.
- Robert, T. 2013. Diakses dari <http://wiki.dxarts.washington.edu> tanggal 25 November 2013
- Setiawan, I. 2008. *Kontrol PID untuk Proses Industri*. Jakarta: Elex Media Konputindo.
- Wiradhana, R. 2013. Sistem Pengendalian pada Tungku Bakar Menggunakan Kontroler PID. Malang: Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
- Wyman, C.E., 1996. *Handbook on Bioethanol: Production and Utilization*, Washington, DC, Taylor & Francis.