

## Purwarupa Sistem Kendali Suhu dengan Pengendali PID pada Sistem Pemanas dalam Proses Refluks/Distilasi

Teguh Budi Pratomo\*<sup>1</sup>, Andi Dharmawan<sup>2</sup>, Akhmad Syoufian<sup>3</sup>, Tri Wahyu Supardi<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Elektronika dan Instrumentasi FMIPA UGM

<sup>2,4</sup>Jurusan Ilmu Komputer dan Elektronika, FMIPA, UGM, Yogyakarta

<sup>3</sup>Jurusan Kimia, FMIPA, UGM, Yogyakarta

e-mail: \*<sup>1</sup>[teguhbudipratomo@gmail.com](mailto:teguhbudipratomo@gmail.com), <sup>2</sup>[dharmawan.andi@gmail.com](mailto:dharmawan.andi@gmail.com),  
<sup>3</sup>[faisalarya@hotmail.com](mailto:faisalarya@hotmail.com)

### Abstrak

Elemen suhu atau panas merupakan salah satu elemen yang penting dalam dunia industri maupun dalam kegiatan riset atau penelitian. Salah satunya adalah teknik refluks yang sering digunakan baik di industri maupun riset pada laboratorium. Elemen suhu merupakan elemen yang paling penting dalam proses refluks maupun distilasi, sehingga sangatlah penting dilakukan pengendalian suhu tersebut. Pada pengendalian yang manual dan konvensional menyebabkan ketidak stabilan suhu dan dimungkinkan terjadi banyak kesalahan (error). Sehingga dampak yang lebih lanjut adalah kualitas produk hasil proses refluks maupun distilasi yang kurang baik.

Oleh karena itu, penelitian ini membuat perancangan sistem pengendalian suhu secara otomatis menggunakan kontroler elektronik dengan mode pengendalian sistem tertutup yang tidak hanya memberikan nilai setpoint saja tetapi juga dengan umpan balik sehingga dapat mengontrol atau mengendalikan sistem dengan baik.

Tujuan dari penelitian ini adalah merancang bangun/purwarupa dari sistem pengendalian suhu (temperature) pada pemanas (heater) menggunakan kontrol PID untuk proses refluks/distilasi sehingga terjadi kestabilan suhu yang terjaga dan mengurangi nilai kesalahan (error). Hasil dari penelitian dapat diketahui bahwa sistem pengendalian suhu dapat menggunakan kontrol PID dengan metode Ziegler-Nichols dengan mode osilasi teredam. Penalaan parameter kontrol didapat dari rumus empiris yang disarankan metode Ziegler-Nichols.

**Kata kunci**—suhu, kontrol PID, Ziegler-Nichols

### Abstract

Temperature or heat element is one important element for the industry as well as in research activities. One is a refluxing technique that used both in industry or in research laboratories. Temperature element is the most important element in the process of distillation and reflux, so it is important to control the temperature. In the manual control and conventional causes temperature instability and possible numerous errors. Thus further impact the quality of the product of reflux and distillation processes that are less good.

Therefore, this study makes design automatic temperature control system uses an electronic controller with closed system mode which not only provides the setpoint value, but also with the feedback so that they can control system properly.

The purpose of this research is to design a prototype of the temperature control system using PID control on the heater for the reflux / distillation resulting temperature stability and reduces the value of the error. The results of the research is that the temperature control system can use PID control with Ziegler-Nichols method with damped oscillation mode. Tuning control parameters obtained from the empirical formula suggested Ziegler-Nichols method.

**Keywords**— temperature, PID control, Ziegler-Nichols

## 1. PENDAHULUAN

Elemen suhu atau panas merupakan salah satu elemen yang penting dalam dunia industri maupun dalam kegiatan riset atau penelitian. Salah satunya adalah teknik refluks dan distilasi yang sering digunakan baik di industri maupun riset pada laboratorium. Refluks adalah proses mempercepat reaksi dengan jalan pemanasan pada titik didih tertentu, selama waktu tertentu, tetapi tidak akan mengurangi jumlah zat yang ada. Sedangkan distilasi atau penyulingan adalah suatu metode pemisahan bahan kimia berdasarkan perbedaan titik didih atau kecepatan menguap. Dalam penyulingan, campuran zat dididihkan sehingga menguap, dan uap ini kemudian didinginkan kembali ke dalam bentuk cairan. Zat yang memiliki titik didih lebih rendah akan menguap lebih dulu.

Elemen suhu merupakan elemen yang paling penting dalam proses refluks maupun distilasi, sehingga sangatlah penting dilakukan pengendalian suhu tersebut. Pada pengendalian yang manual dan konvensional menyebabkan ketidakstabilan suhu dan dimungkinkan terjadi banyak kesalahan (*error*). Sehingga dampak yang lebih lanjut adalah kualitas produk hasil proses refluks maupun distilasi yang kurang baik.

Oleh karena itu penelitian ini membuat perancangan sistem pengendalian suhu (*temperature*) secara otomatis menggunakan kontroler elektronik dengan mode pengendalian sistem tertutup yang tidak hanya memberikan nilai *setpoint* saja tetapi juga dengan adanya umpan balik sehingga dapat mengontrol atau mengendalikan sistem dengan baik.

Berdasarkan latar belakang yang telah dijabarkan diatas, maka dapat dirumuskan masalah bagaimana membuat alat pengendali suhu otomatis pada proses pemanasan yang dapat digunakan pada proses refluks maupun distilasi sehingga nilai kesalahan dapat dikurangi dan suhu yang diharapkan dapat terjaga sesuai dengan yang diinginkan.

Tujuan dari penelitian ini adalah merancang bangun/purwarupa dari sistem pengendalian suhu pada pemanas (*heater*) sehingga terjadi kestabilan suhu yang terjaga dan mengurangi nilai kesalahan (*error*) dan dapat diterapkan pada proses refluks/distilasi.

Penelitian rancang bangun sistem pengendalian suhu menggunakan kendali PID ini mempunyai batasan masalah yaitu:

- a. Pengendalian suhu (*temperature*) berbasis sensor suhu LM35 diterapkan pada sistem pemanasan yang digunakan dalam proses kimia sederhana diantaranya adalah refluks/distilasi ethanol sederhana.
- b. Proses pengendalian menggunakan kontrol PID sederhana dengan penalaan metode Ziegler-Nichols.
- c. Suhu *plant* dianggap merata di daerah yang diatur suhunya pada saat proses pengendalian pemanasan.
- d. Proses menggunakan sistem (*batch*) satu kali proses yaitu sistem tidak akan diganti atau ditambah selama satu kali proses berlangsung. Bahan larutan yang digunakan diasumsikan telah sama dan arah alirannya stabil karena pengendalian suhu difokuskan pada pengaturan pemanasan (*heater*).

Metodologi dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan topik yang akan diangkat yang dilatarbelakangi pengaplikasian pengendalian suhu pada proses distilasi.
2. Melakukan kajian dan pembelajaran lebih lanjut tentang sistem yang dibahas pada penelitian ini dengan metode:
  - a. Studi literatur, yaitu mempelajari artikel, makalah, jurnal, karya tulis, serta buku-buku yang terkait dengan proses distilasi, kontrol PID, sensor suhu, kompor pemanas (*heater*), mikrokontroler Arduino, komunikasi serial, Borland Delphi, *driver* tegangan AC dan teknologi-teknologi yang mendukung sistem tersebut.
  - b. Konsultasi dengan dosen pembimbing mengenai rancangan sistem dan inovasi-inovasi yang dapat diterapkan pada sistem.

3. Membuat perancangan sistem yang terdiri dari tiga bagian, yaitu:
  - a. Perancangan proses refluks.  
Pembuatan rancang bangun proses refluks menggunakan satu set labu distilasi, pemanas (*heater*), pendingin kipas.
  - b. Perangkat Keras (*Hardware*)  
Pemembuatan rangkaian skematik dan PCB (*Printed Circuit Board*) sebagai pendukung sistem ini kemudian memasang komponen-komponen elektronika yang diperlukan.
  - c. Perangkat Lunak (*Software*)  
Pembuatan program yang akan ditanam di dalam modul mikrokontroler Arduino UNO dengan menggunakan bahasa pemrograman C beserta program dengan Delphi 7 untuk membuat kontrol melalui HMI sehingga sistem yang ada dapat berfungsi sebagaimana yang diharapkan.

Langkah terakhir adalah melakukan pengujian sistem secara keseluruhan untuk memastikan apakah sistem telah dapat bekerja dengan baik dan hasilnya sesuai dengan yang diinginkan. Pembahasan dilakukan dengan membahas hasil penelitian yang didapatkan dan melakukan analisis dari pengujian yang telah dilakukan.

Pengendalian suhu menjadi faktor penting dalam proses distilasi. Sehingga telah banyak juga penelitian yang dilakukan dalam hal ini untuk mendapatkan hasil distilasi yang lebih baik. Dalam penelitian [1], melakukan pengaturan suhu destilator pada proses distilasi bio-ethanol berbasis kendali proposional menggunakan PLC Omron CPM2a. Perancangan kendali proporsional menggunakan metode Ziegler-Nichols. Data keluaran pengendali akan dikirim melalui PLC untuk mengatur daya pemanas. Perubahan daya pemanas akan mempengaruhi suhu plant destilator. Stabilitas suhu destilator akan digunakan untuk menganalisa kinerja sistem.

Dalam penelitian [2], menyebutkan bahwa untuk memurnikan bioethanol menjadi berkadar lebih dari 95% agar dapat dipergunakan sebagai bahan bakar, alkohol hasil fermentasi yang mempunyai kemurnian sekitar 40% harus melewati proses distilasi untuk memisahkan alkohol dengan air dengan memperhitungkan perbedaan titik didih kedua bahan tersebut yang kemudian diembunkan kembali. Sehingga untuk mendapatkan hasil distilasi yang baik perlu dilakukan kendali suhu yang baik pula.

Dalam suatu sistem kendali otomatis dikenal adanya beberapa aksi pengendalian, diantaranya aksi kendali on/off, aksi kendali proporsional (P), aksi kendali integral (I) dan aksi kendali differensial (D). Masing-masing aksi kendali tersebut mempunyai keunggulan tertentu. Aksi kendali on/off mempunyai keunggulan waktu naik yang cepat, aksi kendali proporsional mempunyai keunggulan waktu naik yang cepat dan stabil, aksi kendali integral mempunyai keunggulan untuk memperkecil kesalahan, dan aksi kendali differensial memiliki keunggulan meredam kekurangan tanggapan atau kelebihan tanggapan. Untuk mendapatkan suatu sistem kendali dengan hasil pengendalian yang memiliki waktu naik yang cepat, kesalahan yang kecil dan kestabilan yang baik, dapat dilakukan dengan menggabungkan ketiga aksi kendali tersebut menjadi aksi kendali PID [3].

Dalam penelitian [4], pengendali PID merupakan pengendali suhu terbaik dibanding dengan ketiga jenis pengendali lainnya, dengan waktu tanggapan yang lebih cepat, lewatan maksimum yang lebih kecil, dan amplitudo osilasi yang cukup kecil.

Metode kontrol Proporsional-Integral-Derivatif (PID) banyak diterapkan di bidang industri. Kontroler ini memiliki parameter-parameter pengontrol, yaitu  $K_p$ ,  $T_i$  dan  $T_d$ . Ketiga parameter tersebut diturunkan dari perhitungan matematis pada metode PID konvensional. Kesulitan timbul bila *plant* yang dikendalikan adalah sistem dengan orde tinggi. Maka dari itu diperlukan metode tuning PID yang dapat diterapkan dalam sistem orde tinggi. Metode osilasi Ziegler-Nichols merupakan sebuah metode penalaan PID yang dapat dilakukan secara otomatis tanpa memodelkan sistem. Pada metode ini berlangsung dua tahap pada awal aplikasinya, yaitu tahap penalaan untuk menentukan parameter-parameter kontrol dan tahap pengontrolan dengan menerapkan parameter-parameter tersebut. Kedua tahap tersebut diterapkan dalam sebuah modul menggunakan mikrokontroler AT89S52 [5].

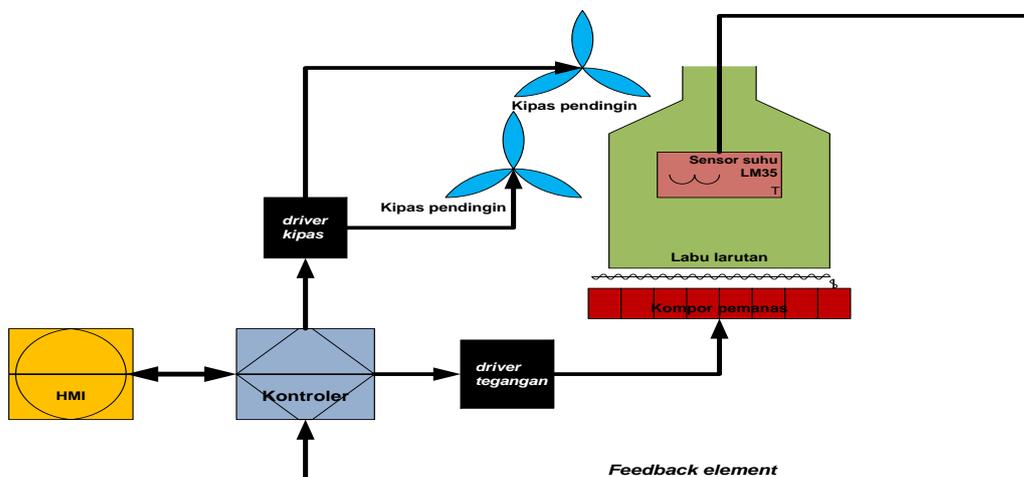
Sistem termal merupakan proses yang berubah lambat. Jika proses pendinginan dilakukan secara alami akan mengakibatkan proses penurunan suhu menjadi lambat, sehingga pengendalian diusahakan agar overshoot dan steady state *error* sekecil mungkin pada kondisi perubahan *set point* dan beban. Pada kendali PID konvensional penalaan dilakukan secara off-line tanpa memperhitungkan perubahan yang terjadi pada plant dan gangguan yang muncul [6].

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Analisis dan Perancangan Sistem

Rancangan sistem secara keseluruhan meliputi rancangan mekanik, *hardware* elektronik dan *software* pemrograman sistem yang digunakan dalam purwarupa sistem pengendalian temperature pada proses refluks. Rancangan mekanik berupa penjelasan tentang pembuatan sistem mekanik proses refluks dimana sistem dirancang sesuai proses refluks yang dilakukan dalam eksperimen pada laboratorium kimia. Selanjutnya rancangan *hardware* elektronik meliputi sistem elektronik yang digunakan, dan rancangan *software* merupakan cara pemrograman pengontrolan, dan penampilann hasil dalam sebuah tampilan *Human Machine Interface*.

Parameter suhu menjadi faktor terpenting yang diolah oleh sistem untuk dilakukan pengontrolan sehingga diperoleh hasil yang sesuai yang diharapkan juga meminimalisir kesalahan. Untuk mengetahui besaran suhu yang bekerja pada sistem digunakan sensor eletronik yaitu sensor suhu LM35 dengan menghubungkan langsung dengan board mikrokontroler. Sedangkan proses kontrol menggunakan board mikrokontroler Arduino UNO. Aktuator yang digunakan adalah berupa kompor listrik dengan sistem *hot plate* yang digunakan sebagai pemanasan sistem. Secara umum diagram blok dari sistem seperti pada Gambar 1.



Gambar 1 Diagram kotak sistem

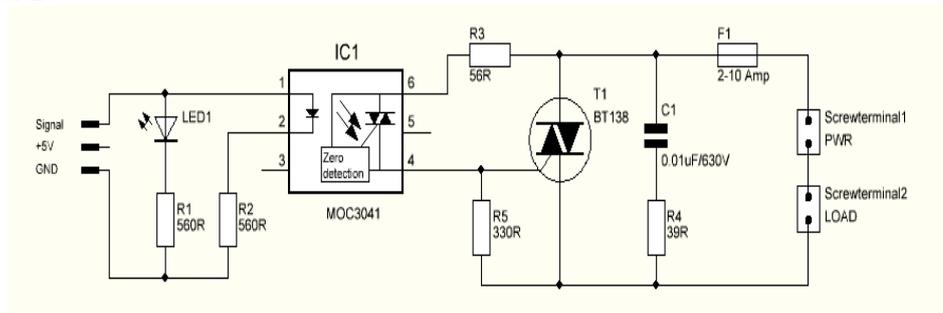
Suhu pemanasan berasal dari *heater* kompor listrik merambat dari pemanas kemudian memanaskan larutan. Alat pemanas (*heater*) yang akan digunakan adalah kompor listrik jadi yang ada di pasaran dengan daya 600 watt. Dalam kasus sistem kendali, *temperature*  $T$  adalah variabel yang akan dikendalikan. Nilai  $T$  inilah yang akan dikendalikan sebagai *output*. Sedangkan *input* kendali berasal dari *output* pemanas. Besarnya kalor sebagai *input* kendali selalu diatur dengan mengatur tegangan yang diberikan ke pemanas. Jika pemanas dimodelkan sebagai suatu beban resistif, maka besarnya kalor per unit waktu adalah sesuai pada persamaan

$$P = \frac{V^2}{R} \quad (1)$$

Dengan  $P$  adalah daya pemanas (watt),  $V$  adalah tegangan efektif (volt) yang diberikan di pemanas, dan  $R$  adalah resistansi pemanas (ohm). Dari rumus diatas dapat dilihat bahwa energy listrik yang dikonversi ke pemanas merupakan fungsi yang nonlinear terhadap tegangan yang diberikan ke pemanas, dan tidak dapat diperoleh transfer fungsi yang menunjukkan hubungan antara  $T$  temperature dengan tegangan *input*. Akan tetapi ditunjukkan bahwa besarnya *temperature* dapat diatur dengan mengatur besarnya tegangan yang diberikan. Pada kasus sistem termal reaksi kenaikan suhu relatif dapat dipercepat waktu kenaikan suhunya, namun pada proses pendinginan yang dilakukan membutuhkan waktu yang lama sehingga diperlukan kipas pendingin untuk mempercepat pendinginan.

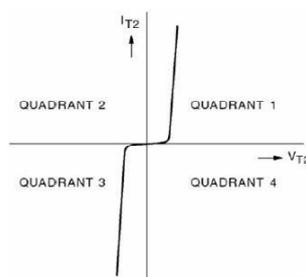
*Driver* tegangan AC digunakan untuk dapat menghubungkan tegangan AC 220V dengan Arduino sehingga tegangan AC tersebut dapat dikontrol menggunakan Arduino. *Driver* tegangan Ac merupakan alat perantara yang menghubungkan antara modul mikrokontroler Arduino dengan kompor pemanas yaitu rangkaian yang dapat mengatur daya yang dibutuhkan oleh elemen pemanas. Proses pengaturan daya dilakukan dengan mengatur tegangan masukan *driver* sebesar 0-5Volt untuk memproses pengendali 0-100%. *Driver* tegangan AC ini menggunakan *Zero Crossing Detector* yang berfungsi mendeteksi gelombang sinus AC 220V saat melewati titik tegangan nol. Seberangan titik nol yang dideteksi adalah peralihan dari negatif menuju positif. Seberangan titik nol ini merupakan acuan yang digunakan sebagai awal pemberian nilai waktu unda untuk pemacu triac.

Prinsip kendali sudut fasa untuk gelombang penuh satu fasa dapat dijelaskan sesuai Gambar 2.



Gambar 2 Rangkaian *driver* tegangan AC [7]

Triac dapat bersifat konduktif dalam dua arah yang berfungsi sebagai pengganti dua buah thyristor yang terhubung invers paralel dengan koneksi gerbang. Karakteristik dari triac seperti Gambar 3.

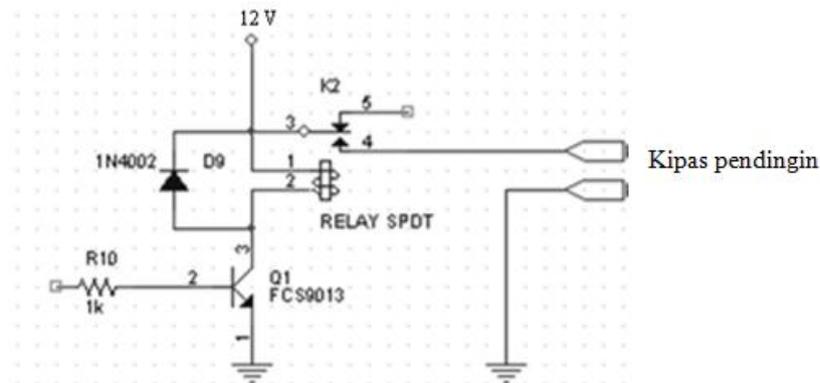


Gambar 3 Karakteristik triac [6]

Arus  $I$  disebut *holding current* adalah arus minimum yang dibutuhkan untuk mempertahankan triac tetap *on*, triac merupakan komponen yang simetris dan mampu memberikan performansi yang sama pada daerah kerja kuadran III dari grafik dengan kerja kuadran I, sehingga triac dapat dioperasikan dikuadran I (tegangan dan arus gerbang positif) atau kuadran III (arus dan tegangan gerbang negatif).

MOC30XX adalah *driver* Triac yang didalamnya menggunakan isolasi optis (*optocoupler*). *Driver* ini menjembatani sinyal *triger* yang berasal dari kontroler yang umumnya memiliki level tegangan dan arus kecil dengan bagian beban yang memiliki tegangan dan arus yang relatif tinggi

Rangkaian penggerak kipas pendingin dirancang menggunakan kendali *on-off* sehingga rangkaian *driver* untuk kipas pendingin digunakan *relay* sebagai komponen utamanya. *Relay* dipilih karena tidak ada drop tegangan dan proses *driving* nya mudah. Gambar 4 adalah rangkaian *driver* kipas pendingin menggunakan *relay*.

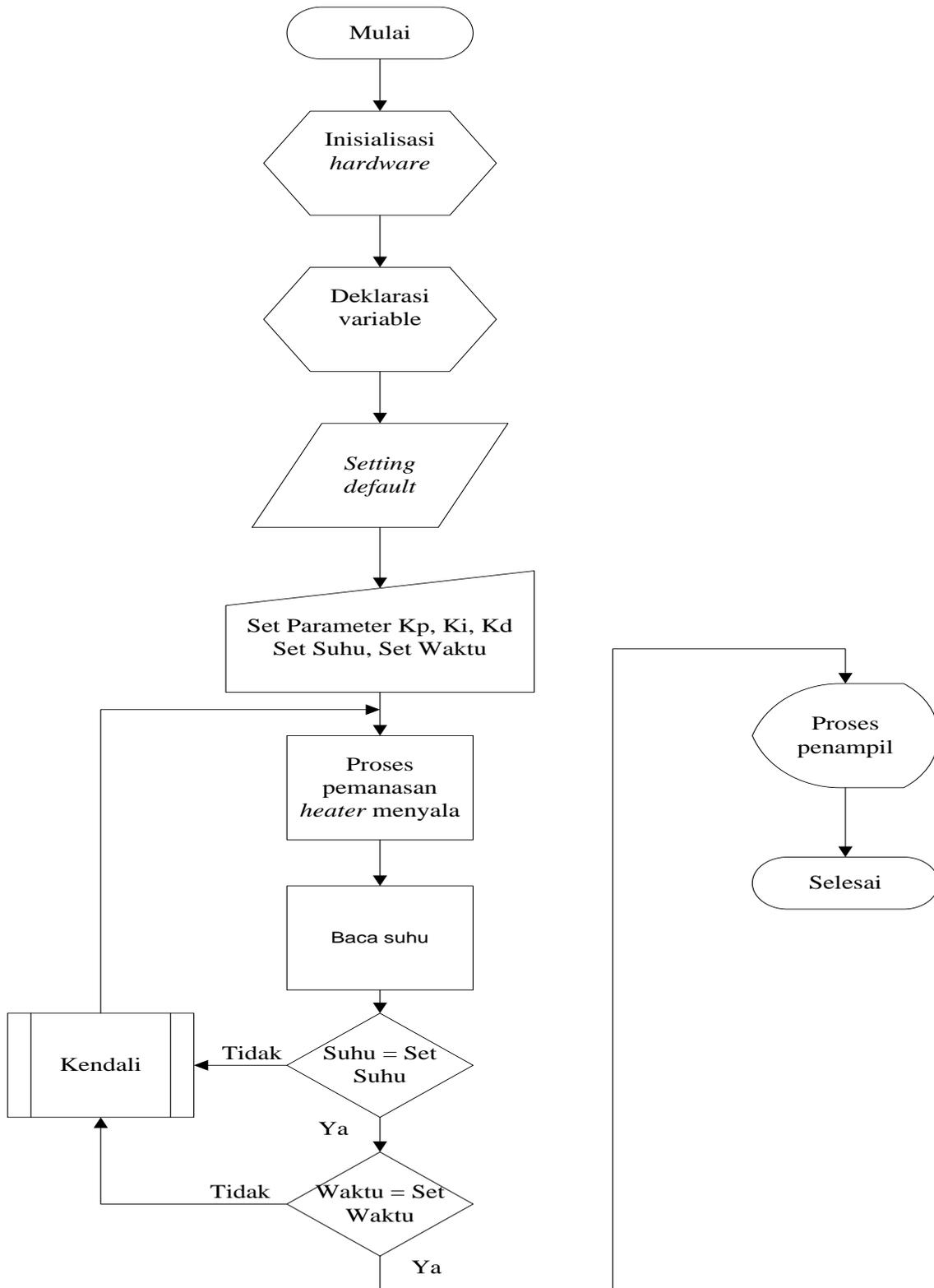


Gambar 0 Rangkaian *driver* kipas pendingin menggunakan *relay* [8].

Berdasarkan Gambar 4 apabila pin *driver* diberi logika *low*, maka *transistor* tidak aktif, sehingga tidak ada arus yang mengalir pada kumparan relay. Kipas yang terhubung pada terminal tidak berputar karena tidak ada arus yang mengalir pada kipas. Saat *input driver* berlogika *high* maka *transistor* aktif dan pada kumparan relay mengalir arus. Arus yang mengalir pada kumparan menyebabkan saklar relay yang awalnya terbuka menjadi tertutup sehingga arus mengalir melalui kipas dan kipas berputar.

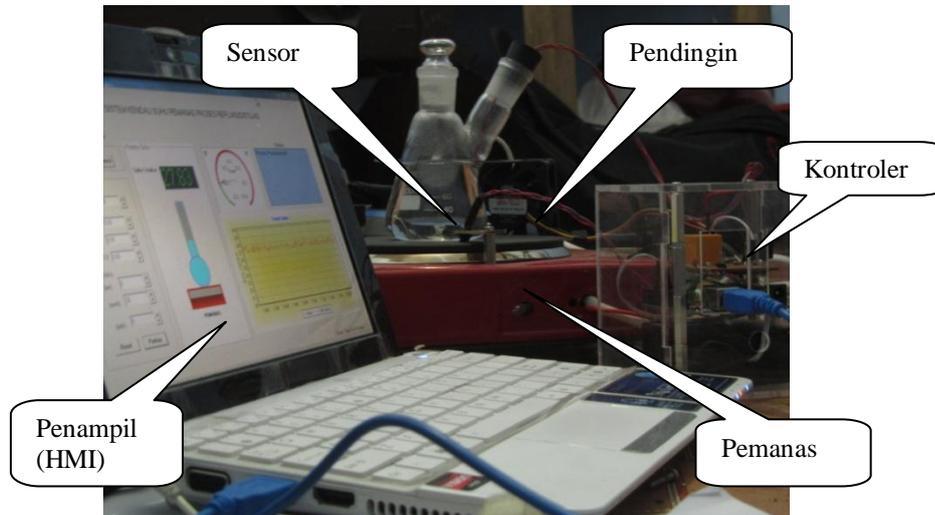
Rancangan perangkat lunak adalah rancangan program yang akan digunakan oleh sistem kendali suhu ini. Pemrograman difokuskan pada algoritma pembacaan sensor, pengendalian, akuisisi data, penampilan pada komputer, dan penyetingan parameter pada komputer. Bahasa yang digunakan untuk memprogram modul mikrokontroler Arduino UNO ini adalah bahasa pemrograman C Arduino. Perangkat keras (*hardware*) tidak akan bekerja dengan baik apabila tidak didukung dengan perangkat lunak (*software*). Sehingga dibuatlah rancangan perangkat lunak untuk dapat menjalankan sistem. Perangkat lunak tersebut ditanamkan pada mikrokontroler. Dalam sistem ini perangkat lunak diprogram untuk dapat melakukan kendali pada pemanas dari masukan berupa data dari sensor suhu. Gambar 5 menunjukkan diagram alir cara kerja sistem pengendali suhu secara keseluruhan.

Berdasarkan pustaka yang diacu menyatakan bahwa pengendalian suhu terbaik untuk mendapatkan kestabilan dan nilai kesalahan yang kecil adalah menggunakan kendali PID. Oleh karena itu dirancanglah sistem kendali suhu menggunakan kendali PID. Berdasarkan Gambar 5 dapat diketahui bahwa cara kerja sistem adalah memberikan nilai set suhu dan set waktu yang diinginkan dan parameter pengendalian  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$ . Kemudian sistem akan menyala sampai mencapai nilai set suhu dan menjaga suhu pada nilai set suhu tersebut sampai waktu yang diinginkan.



Gambar 5 Diagram alir cara kerja sistem secara keseluruhan

Implementasi bagian mekanik sebagaimana yang sudah dirancang dan telah dijelaskan sebelumnya dapat dilihat sebagai berikut pada Gambar 6.

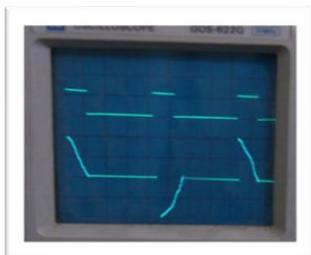


Gambar 6 Implementasi bagian mekanik

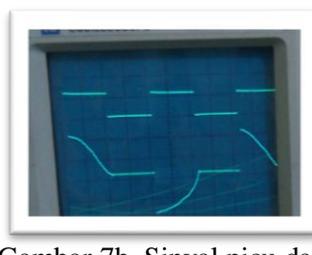
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dibahas tentang hasil pengujian dan analisis dari purwarupa sistem pengendalian suhu seperti yang telah dirancang dan dibuat. Pengujian dilakukan terhadap sensor suhu LM35 dan proses pengendalian sistem keseluruhan menggunakan beberapa parameter pengendalian sehingga diperoleh mode pengendalian terbaik. Proses refluks/distilasi sederhana dilakukan menggunakan larutan ethanol 70%, menggunakan gelas labu distilasi 100 mL sederhana. Proses refluks/distilasi yang sederhana ini untuk menunjukkan bahwa purwarupa sistem pengendalian suhu pada sistem pemanas dalam proses refluks/distilasi maupun proses kimia lain yang memerlukan pemanasan pada suhu tertentu dapat berjalan.

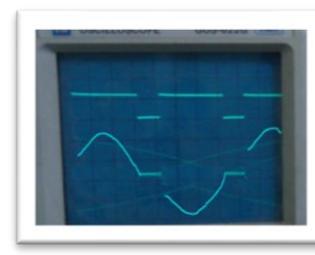
Pengujian rangkaian *driver* tegangan AC dilakukan untuk mengetahui kinerja alat yang sudah dibuat. Pengamatan dilakukan dengan melakukan pengamatan dengan osiloskop terhadap gelombang picu dari kontroler dan keluaran pengontrol *driver* tegangan AC yang diberikan ke beban berupa kompor pemanas berdasarkan pengaturan sinyal kontrol. Pengujian rangkaian *driver* tegangan AC menggunakan osiloskop ditunjukkan berikut pada Gambar 7a; Gambar 7b dan Gambar 7c.



Gambar 7a Sinyal picu dan tegangan beban untuk sinyal kontrol = 25%



Gambar 7b Sinyal picu dan tegangan beban untuk sinyal kontrol = 50%

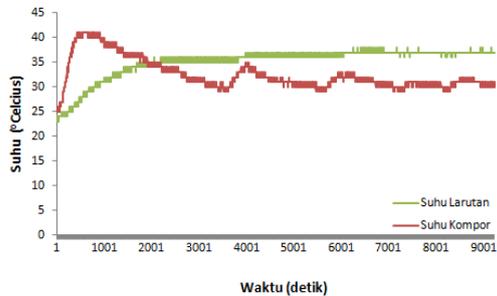


Gambar 7c Sinyal picu dan tegangan beban untuk sinyal kontrol = 75%

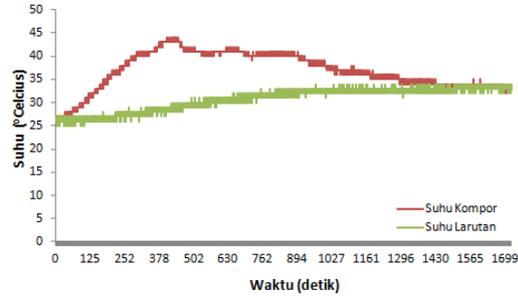
Dari ketiga bentuk gambar gelombang pada beban yang diuji yaitu Gambar 7a, Gambar 7b dan Gambar 7c, dapat diketahui bahwa semakin besar sinyal kontrol yang diberikan ke pemecuan (sinyal dari kontroler) maka tegangan AC yang diberikan ke beban untuk tiap fasenya

(fase positif dan fase negatif) akan semakin besar, yang berarti bahwa tegangan listrik yang diberikan ke beban (kompor pemanas) akan semakin besar.

Pengujian penempatan sensor sebagai umpan balik diperlukan untuk menentukan darimana umpan balik yang seharusnya digunakan dalam kendali agar sistem yang diinginkan berjalan seperti yang diharapkan. Sebelumnya ditentukan penempatan sensor yaitu berada pada plat kompor pemanas dan pada larutan.



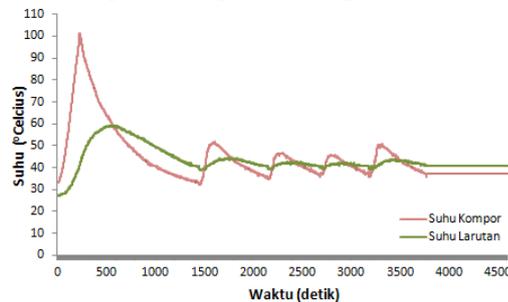
Gambar 8a Grafik suhu vs waktu dengan umpan balik pada kompor, set suhu 30 °C



Gambar 8b Grafik suhu vs waktu dengan umpan balik pada larutan, set suhu 30 °C

Dari hasil percobaan di atas sesuai Gambar 8a, dan Gambar 8b, dapat ditentukan bahwa penempatan sensor suhu yang digunakan sebagai umpan balik adalah penempatan sensor suhu yang ada pada larutan. Suhu larutan dapat terjaga sesuai set suhu yang diinginkan meskipun suhu kompor naik turun dengan signifikan. Karena suhu larutannya yang harus dijaga sesuai set suhu yang diinginkan.

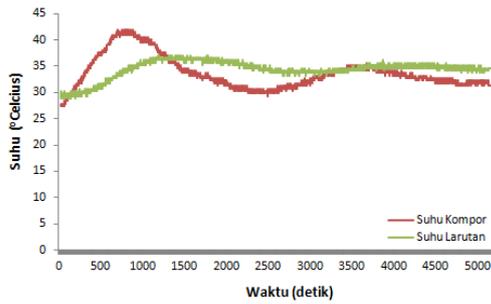
Percobaan kontrol hidup-mati (*On-Off*) yaitu percobaan penerapan kontrol hidup-mati dalam sistem untuk mengetahui kinerja sistem ketika digunakan kontrol hidup-mati tersebut. Hasil percobaan penerapan kontrol hidup mati dapat dilihat pada Gambar 9.



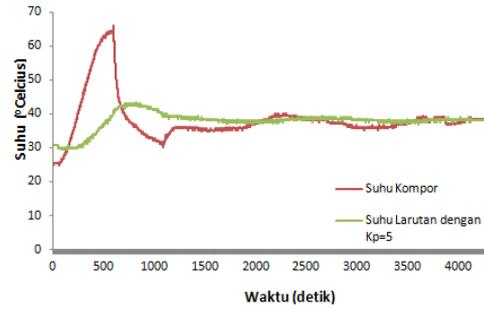
Gambar 9 Grafik suhu vs waktu dengan set suhu 40 °C, kontrol hidup-mati

Penelitian pembuatan purwarupa sistem kendali suhu ini diperlukan penentuan parameter kontrol untuk memperoleh hasil sesuai dengan kendali yang diinginkan. Oleh karena penalaan parameter kontrol yang menggunakan model matematika dari sistem ini sulit diperoleh maka ditetapkanlah metode penalaan parameter kontrol menggunakan metode Ziegler-Nichols. Metode Ziegler Nichols ini tidak menggunakan model matematika melainkan melalui sejumlah percobaan [9].

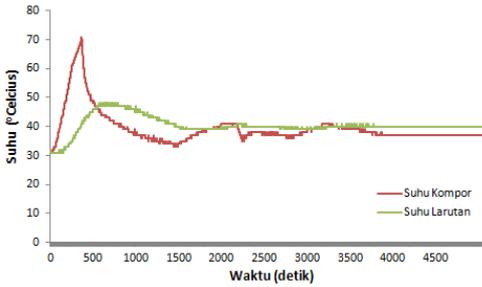
Dari sejumlah percobaan didapatkan bahwa sistem mengalami osilasi teredam sesuai pada gambar pada percobaan kalang tertutup sehingga digunakanlah penalaan kontrol PID menggunakan metode Ziegler-Nichols yang kedua. Pada metode kedua penalaan dilakukan dalam kalang tertutup dimana masukan referensi yang digunakan adalah fungsi tangga (*step*). Pengendali pada metode ini hanya pengendali proporsional dengan variasi pemberian nilai  $K_p$ , yaitu pada mulanya dengan penguatan kontrol proporsional yang rendah dengan  $\tau_d = 0$  dan  $\tau_i = \infty$ . Selanjutnya nilai  $K_p$  dinaikan dengan peningkatan sedikit demi sedikit sampai rasio kesalahannya ( $p2/p1$ ) adalah  $\frac{1}{4}$  yang diperoleh dalam respon langkah dari *output* nya. Berikut merupakan hasil percobaan dengan pemberian variasi nilai  $K_p$  dapat dilihat pada Gambar 10a; Gambar 10b; Gambar 10c dan Gambar 10d.



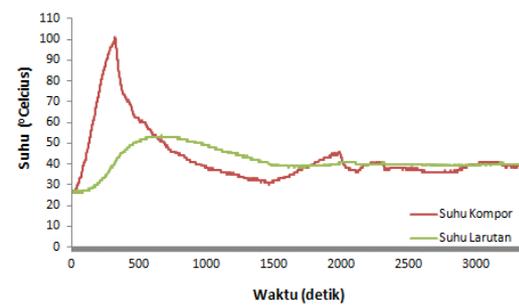
Gambar 10a Grafik suhu vs waktu dengan set suhu=40 °C, Kp=1



Gambar 10b Grafik suhu vs waktu dengan set suhu=40 °C, Kp=5

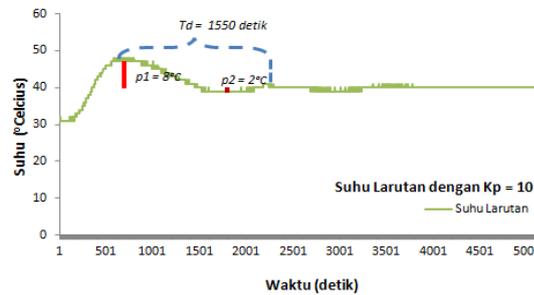


Gambar 10c Grafik suhu vs waktu dengan set suhu=40 °C, Kp=10



Gambar 10d Grafik suhu vs waktu dengan set suhu=40 °C, Kp=15

Dari percobaan peningkatan nilai Kp diatas didapat nilai rasio kesalahannya ( $p2/p1$ ) yang menghasilkan rasio  $\frac{1}{4}$  diperoleh dalam respon langkah dari *output* nya adalah ketika nilai Kp = 10. Seperti berikut pada Gambar 11.



Gambar 11 Grafik dan analisis suhu larutan dengan Kp = 10

Dari gambar 11 dapat dilihat bahwa suhu larutan mengalami *overshoot* sampai suhu 48 °C atau kesalahan ( $p1$ ) bernilai 8 °C dari set suhu 40 °C, kemudian suhu berangsur turun hingga mencapai titik lembah terendah pada suhu 38 °C atau kesalahan ( $p2$ ) sebesar 2 °C. Sehingga rasio kesalahannya ( $p2/p1$ ) yang bernilai  $\frac{8}{2} = \frac{1}{4}$ . Dapat diketahui juga nilai Td yaitu periode waktu osilasi dari puncak pertama ke puncak kedua yaitu tercatat selama 1550 detik.

Untuk menggunakan kontrol Proporsional dan Integral maka penalaan yang disarankan Ziegler Nichols adalah sesuai dengan rumus empiris yang disarankan [9] sebagai berikut

$$Kp = 0,45 Kp \text{ yang didapat} = 0,45 * 10 = 4,5 \quad \tau i = \frac{Td}{1,2} = \frac{1550}{1,2} = 1291,6$$

$$Ki = \frac{Kp}{\tau i} = \frac{4,5}{1291,6} = 0,0035$$

Dari perhitungan diatas didapatkan nilai penalaan parameter untuk kontrol PI yaitu Kp = 4,5 dan Ki adalah 0,0035. Selanjutnya dilakukan pengujian menggunakan parameter yang sudah didapat dengan hasil seperti berikut pada Gambar 12a.

Kemudian dilakukan penalaan parameter selanjutnya untuk kendali PID yaitu sesuai dengan metode Ziegler-Nichols dengan osilasi teredam disarankan rumus empiris untuk mendapatkan kendali PID maksimal [9].

$$Kp = Kp \text{ yang didapat} = 10$$

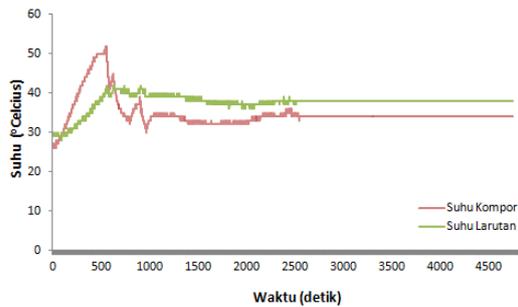
$$Ki = \frac{Kp}{\tau_i} = \frac{10}{258,3} = 0,038 \cong 0,04$$

$$Kd = Kp * \tau_d = 10 * 193,75 = 1937,5 \cong 1940$$

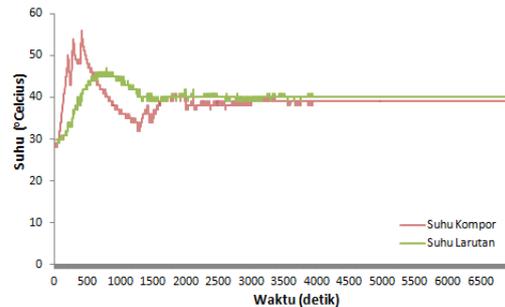
$$\tau_i = \frac{Td}{6} = \frac{1550}{6} = 258,3 \text{ detik}$$

$$\tau_d = \frac{Td}{8} = \frac{1550}{8} = 193,75 \text{ detik}$$

Dari perhitungan di atas didapat nilai penalaan parameter PID yaitu  $Kp = 10$ ;  $Ki = 0,04$  dan  $Kd = 1940$ . Selanjutnya dilakukan pengujian menggunakan parameter yang sudah didapatkan tersebut dengan hasil seperti berikut pada Gambar 12b.



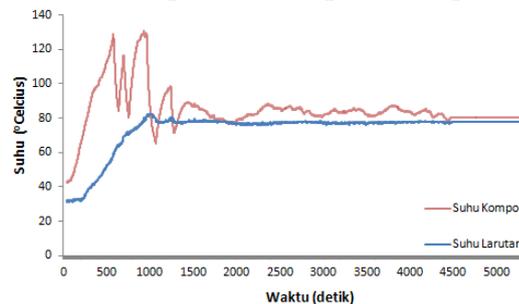
Gambar 12a Grafik suhu vs waktu dengan set suhu=40 °C;  $Kp=4,5$ ;  $Ki=0,003$



Gambar 12b Grafik suhu vs waktu dengan set suhu=40 °C;  $Kp=10$ ;  $Ki=0,04$ ;  $Kd=1940$

Dari percobaan ini dapat dilihat bahwa dengan menerapkan rumus empiris metode Ziegler-Nichols osilasi teredam masih terjadi *overshoot* suhu namun osilasi mampu teredam dan cepat mencapai keadaan tunak/ stabil. Namun dari beberapa hasil kontrol yang telah digunakan menunjukkan bahwa hasil kendali menggunakan pengendali PID yang menghasilkan kestabilan suhu yang diharapkan sehingga selanjutnya dipilihlah pengendalian menggunakan kendali PID dalam sistem yang dirancang ini. Untuk mendapatkan hasil yang benar-benar sesuai dengan yang diharapkan yaitu suhu tidak mengalami *overshoot*, cepat mencapai keadaan stabil dan tidak mengalami osilasi diperlukan penalaan manual kembali dengan penambahan atau pengurangan parameter sedikit demi sedikit.

Percobaan ini adalah pengujian pengendalian suhu pada proses refluks sederhana dengan menerapkan parameter-parameter kontrol yang didapat dari hasil penalaan percobaan diatas. percobaan proses pengendali suhu telah dilakukan secara sederhana menggunakan prototype sistem pengendalian suhu yang telah dibuat dan menggunakan bahan berupa larutan campuran ethanol 70% dan air. Untuk hasil percobaan dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13 Grafik suhu vs waktu percobaan kontrol suhu pada proses refluks sederhana

. Dari hasil pengamatan dapat dilihat bahwa ethanol mulai menguap setelah melewati titik didihnya, sedangkan air yang mempunyai titik didih lebih tinggi belum menguap. Proses ini terus berlangsung selama waktu yang ditentukan. Dari hasil percobaan prototipe sistem pengendali suhu pada proses refluks sederhana tersebut dapat diketahuai bahwa prototipe sistem pengendalian suhu dapat berjalan dengan baik dengan *overshoot* yang dapat digunakan untuk proses kimia seperti proses refluks dengan kestabilan suhu dapat terjaga dan *error* kesalahan pengendalian suhu dapat diminimalkan.

#### 4. KESIMPULAN

Dari hasil pengamatan, pengujian dan analisis pada hasil perancangan dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Telah berhasil dibuat purwarupa sistem pengendalian suhu menggunakan kontrol otomatis yang diterapkan pada pemanas proses refluks/distilasi.
2. Purwarupa sistem pengendalian suhu dapat berfungsi sebagai pengendali suhu dan mengurangi nilai *error* (kesalahan) dari nilai yang ditetapkan.
3. Hubungan antara sinyal picu kontrol yang diberikan ke tegangan AC untuk beban/kompor pemanas adalah berbanding lurus.
4. Penempatan sensor suhu sebagai umpan balik adalah pada larutan.
5. Kontrol hidup-mati biasa menyebabkan suhu mengalami *overshoot* yang jauh dari nilai set suhu yang diinginkan.
6. Sistem mengalami osilasi teredam sehingga digunakanlah penalaan kontrol menggunakan metode Ziegler-Nichols yang kedua.
7. Hasil penalaan parameter kontrol sesuai metode Ziegler-Nichols metode osilasi dengan ratio kesalahannya ( $\frac{p2}{p1} = \frac{1}{4}$ ) adalah ketika nilai Kp kritis = 10.
8. Penalaan parameter kontrol sesuai rumus empiris yang disarankan metode Ziegler-Nichols didapatkan:
  - Kontrol PI yaitu Kp = 4,5 dan Ki adalah 0,0035 dengan hasil sistem mencapai suhu yang diinginkan kemudian mengalami osilasi di bawah suhu yang diinginkan.
  - Kontrol PID yaitu Kp = 10; Ki = 0,04; dan Kd = 1940 dengan hasil sistem mencapai suhu yang diinginkan dan masih sedikit mengalami *overshoot* kemudian suhu berangsur stabil pada suhu yang diinginkan
9. Pengendalian PID dapat digunakan dalam variasi kontrol yang berbeda.
10. Pengendalian suhu menggunakan kendali PID pada proses refluks sederhana dapat dilakukan dan terjadi kestabilan suhu pada set suhu yang diinginkan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Rapiyanto, P. T., 2011, *Pengatur Suhu Destilator pada Proses Distilasi Bio-Ethanol Berbasis Kendali Proporsional Menggunakan PLC Omron CPM2a*, Thesis, Pasca Sarjana Teknik Elektro, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- [2] Nurdyastuti, I., 2006, *Prospek Pengembangan Bio-fuel sebagai Substitusi Bahan Bakar Minyak*. Indonesia.
- [3] Gunterus, F, 1994, *Falsafah Dasar Sistem Pengendalian Proses*. Elek Media Komputindo, Jakarta.
- [4] Ainie Khuriati, S. E., 2005, Juli, Pengendalian Suhu Berbasis Pengendalian Hidup-Mati, P, PI, dan PID, *Berkala Fisika* , pp. 79-86.
- [5] Wijaya, E. C., Setyawan, I., & Wahyudi., 2005, *Auto Tuning PID Berbasis Metode Osilasi Ziegler-Nichols Menggunakan Mikrokontroler AT89S52 pada Pengendalian Suhu*. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang.
- [6] Wiyono., 2011, *Penalaan Parameter Kendali PID dengan Logika Fuzzy pada Sistem Termal*, Thesis, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- [7] Arduino Team, 2009, tersedia di: <http://www.Arduino.cc/>, diakses: Maret 6, 2012
- [8] Hidayat, W., 2009, *Penerapan Adaptive PID Controller pada Navigasi Robot*, Skripsi, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, UGM, Yogyakarta.
- [9] Karaghpur, 2009, *Industrial Automation and Control*, Indian Institute of Technology, New Delhi.