

## PENERAPAN PENDINGIN TERMOELEKTRIK PADA KONDENSOR DIMROTH BERPENDINGIN AIR BERBASIS KENDALI PI

### *IMPLEMENTATION OF THERMOELECTRIC COOLER ON WATER- COOLED DIMROTH CONDENSER BASED ON PI CONTROL*

Mochamad Roffa Firdaus<sup>1</sup>, Asep suhend<sup>2</sup>, Tri Ayodha Ajiwiguna<sup>3</sup> [10 pts]  
Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom  
<sup>1</sup>roffafirdaus@student.telkomuniversity.a.id, <sup>2</sup>as.suhendi@gmail.com,  
<sup>3</sup>tri.ayodha@gmail.com.ac.id

#### Abstrak

Pada penelitian ini akan dibuat sistem pendingin kondensor dimroth berpendingin air berbasis termoelektrik dengan menggunakan metode PI untuk pengontrolan suhu pada reaktor. Metode PI merupakan metode kontrol dimana sinyal *feedback* didapat dari sensor dengan terus menghitung nilai error sebagai beda antara nilai setpoint. Sensor yang digunakan adalah sensor suhu termokopel yang digabungkan dengan IC MAX6675, Sensor suhu termokopel digunakan untuk *feedback control* sebagai pembanding dengan nilai setpoint untuk mengontrol daya yang diberikan pada termoelektrik dengan pengaturan PWM oleh Arduino (mikrokontroler) sehingga suhu yang diinginkan dapat dicapai. Terdapat empat variasi setpoint yaitu 13°C, 15°C dan 17°C, untuk menentukan parameter kontrol yang tepat dilakukan dengan menggunakan 2 buah metode yaitu metode Ziegler Nichols 1 dan metode Trial and Error. Pengujian dilakukan dengan mengambil data penurunan suhu lalu data hasil penurunan suhu dianalisis untuk mendapat spesifikasi respon sistem.

**Kata kunci :** Termoelektrik, PWM, PI, Kontrol, Ziegler Nichols 1, *Trial and error*.

#### Abstract

in this research will be made a water cooled dimroth condenser cooling system based on thermoelectric using PI method to control the temperature of the reactor. The PI method is a control method where the feedback signal is obtained from the sensor by continuously calculating the error value as the difference between the setpoint values. The sensor used is a thermocouple temperature sensor combined with IC MAX6675, the thermocouple temperature sensor is used for feedback control as a comparison with the setpoint value to control the power given to the thermoelectric with PWM settings by Arduino (microcontroller) so that the desired temperature can be achieved. There are four setpoint variations, namely 13 ° C, 15 ° C and 17 ° C, to determine the appropriate control parameters by using 2 methods, namely Ziegler Nichols 1 method and Trial and Error method. Tests are carried out by taking down the temperature data then the temperature reduction data is analyzed to get the system response specifications.

**Keywords:** Thermoelectric, PWM, Thermocouple, PI, Control, Ziegler Nichols 1, Trial and error, cooling system.

#### 1. Pendahuluan

Penelitian kimia biasanya membutuhkan pendinginan pada larutan hasil reaksi yang menguap untuk memisahkan produk hasil reaksi dan zat sisa, untuk mendapatkan suatu zat yang diinginkan maka cairan akan dipanaskan sampai temperatur optimalnya[1]. Temperatur cairan yang naik sampai ke titik didihnya akan mengalami penguapan [2]. Uap air akan dikondensasikan, sehingga fasenya akan kembali menjadi cair[3].

Teknologi refrigerasi adalah bidang teknik yang berkaitan dengan penggunaan mesin untuk menjaga suhu suatu objek pada titik atau range tertentu, yang biasanya berkisar dari 25°C (suhu ruangan) sampai dengan -18°C[4]. Teknologi refrigerasi saat ini menggunakan sistem kompresi

gas yang menggunakan *refrigerant* sebagai penukar kalornya[4]. Penggunaan *refrigerant* pada sistem refrigerasi akan merusak lapisan ozon dan mengakibatkan pemanasan global, hal ini disebabkan karna *refrigerant* dari golongan CFC (Chloro Fluoro Carbon) yang mempunyai beberapa unsur Cl [5]. Unsur chlor ini akan mengikat ozon ( $O_3$ ), dengan chlor sebagai katalisator, ozon akan terurai dan menjadi semakin tipis yang akhirnya membentuk lubang [5]. Oleh karena itu digunakanlah *thermoelectric cooler* sebagai pelepas kalor dan pengganti *refrigerant* pada siklus refrigerasi[6].

Termoelektrik baru-baru ini sering menjadi subjek penelitian ilmiah karena kegunaannya cukup penting, dibandingkan dengan sistem pendingin yang memanfaatkan *refrigerant* yang dikompresi termoelektrik mempunyai banyak kelebihan[7]. Kelebihan termoelektrik diantaranya adalah tidak berisik, mudah dalam perawatan, ramah lingkungan dan tidak memerlukan banyak komponen tambahan[8]. Kualitas pendingin termoelektrik bergantung pada beberapa parameter seperti arus listrik yang diterapkan pada pasangan tipe-N dan tipe P, suhu sisi panas dan dingin, hambatan kontak listrik antara sisi dingin dan permukaan perangkat, konduktivitas termal, listrik dari *thermoelement* dan ketahanan termal dari *heat sink* di sisi panas pendingin termoelektrik [9].

Penerapan *thermoelectric cooler* berbasis kontrol PI telah banyak digunakan pada *cooling box* dan pendingin komponen elektronik. Namun penggunaan *thermoelectric cooler* berbasis kontrol PI pada kondensor dimroth berpendingin air masih belum banyak diterapkan. Tujuan penggunaan metode PI pada sistem pendingin kondensor dimroth berpendingin air ini adalah untuk mengatur suhu input pada kondensor yang terhubung dengan reaktor kimia, dengan cara mengontrol input daya yang masuk pada *thermoelectric cooler*[10].

## 2. Dasar Teori

### 2.1 Thermoelectric Cooler

Termoelektrik (TE) adalah suatu fenomena dimana adanya beda tegangan dapat menghasilkan beda temperatur dan sebaliknya, modul termoelektrik yang digunakan adalah TEC1-12706 lihat Gambar 2.1[11]. Jika dua logam berbeda disambungkan kemudian diberi arus listrik pada sambungan tersebut, maka akan terjadi perbedaan temperatur atau fenomena pompa kalor [12]. Efek pendinginan termoelektrik ditemukan oleh fisikawan Perancis, Jean Charles Athanase Peltier, pada tahun 1834. Efek pendinginan termoelektrik atau disebut efek *Peltier* adalah efek pendinginan yang terjadi pada sambungan dua material berbeda yang diberi tegangan/arus listrik [11].

Terjadinya sisi dingin pada termoelektrik akibat adanya perpindahan elektron dari tingkat energi yang lebih rendah ke tingkat energi yang lebih tinggi, agar elektron pada tingkat energi yang lebih rendah dapat berpindah ke tingkat energi yang lebih tinggi maka dibutuhkan sejumlah energi, karena perpindahannya tidak berlangsung spontan. Pada sisi panas termoelektrik, kalor akan di buang ke lingkungan dengan batuan *heatsink* dan *fan* agar mempercepat pelepasan kalor. Jumlah kalor yang dilepaskan oleh sisi panas dapat dihitung dengan persamaan berikut ini:

$$Q_h = Q_c + w \quad (2.1)$$

Dimana:

$Q_h$  = kalor yang dilepas pada sisi panas termoelektrik [watt]

$Q_c$  = kalor yang di serap pada sisi dingin termoelektrik [watt]

$W$  = daya yang dibutuhkan [watt] [12]

### 2.2 Ziegler Nichols 1

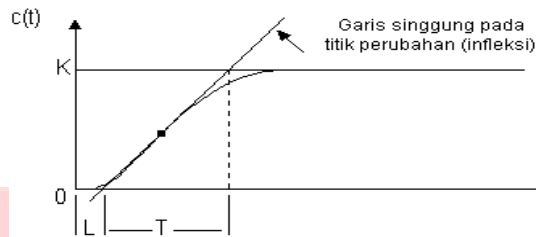
Ziegler-Nichols pertama kali memperkenalkan metodenya pada tahun 1942. Metode ini digunakan untuk menentukan nilai dari parameter-parameter kontroler PID (Proporsional Integral Derivative) yang memiliki persamaan kontroler:

$$U(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) d(t) + K_p T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2.2)$$

$K_p$  = Gain proporsional

$T_i$  = Waktu integral

$T_d$  = Waktu turunan



Gambar 2.1 Kurva respon sistem open loop[13]

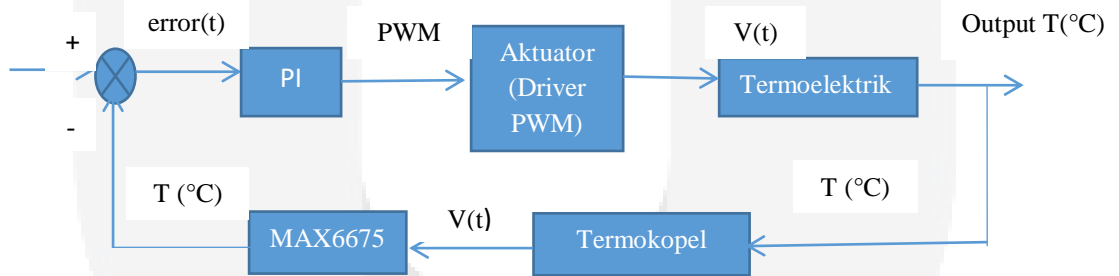
Parameter PID akan diperoleh dari kurva berbentuk s dengan menentukan 2 konstanta waktu yaitu T dan L, kurva s didapat dari respon sistem dalam keadaan open loop atau tidak dalam keadaan dikontrol. Konstanta waktu T dan L akan menjadi input untuk penalaan parameter PID yang didasarkan pada tabel berikut:

Tipe kontroler	$K_p$	$T_i$	$T_d$
P	$T/L$	$\infty$	0
PI	$0,9 T/L$	$L/0,3$	0
PID	$1,2 T/L$	$2L$	$0,5 L$

Tabel 2. 1 Penalaan parameter PID ZN-1

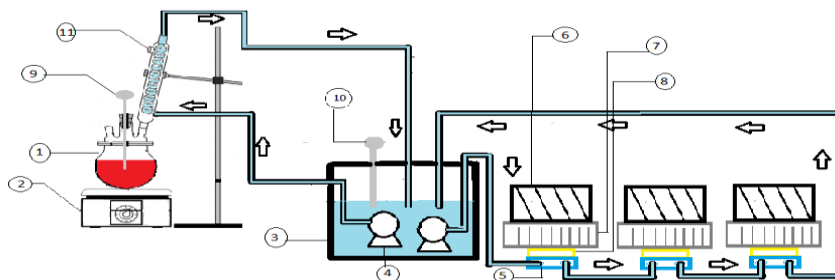
2.3 Design Alat

Set point  $T(^{\circ}C)$



Gambar 2.2 Diagram Blok Sistem Pendingin Reaktor

Desain kontrol yang diusung adalah menggunakan kontrol PI, dimana pengendalian sistem dilakukan dengan mekanisme umpan balik *output* dengan perbandingan nilai referensi atau *setpoint* lihat Gambar 3.2. Perbandingan nilai antara *setpoint* dan *output* ini disebut *error*, nilai *error* akan terus diperkecil sampai nilainya dapat beresilasi pada nilai nol. Nilai *error* ini akan di *generate* ke aktuator sebagai nilai tegangan yang akan mengatur daya masukan pada termoelektrik



Gambar 2.3 Design Mekanik Sistem Pendingin[10].

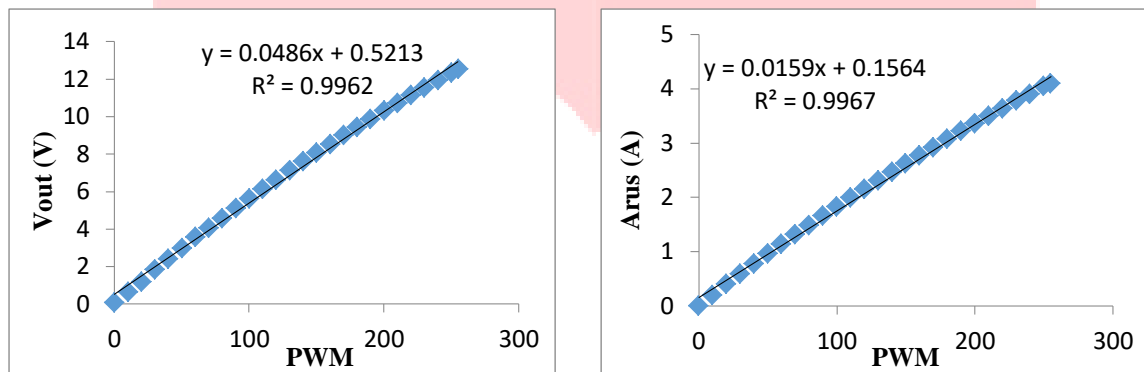
Keterangan :

- |                   |                                |
|-------------------|--------------------------------|
| 1. Tabung Reaktor | 6. Fan                         |
| 2. Heater         | 7. Heat Sink                   |
| 3. Wadah/ Bejana  | 8. Termoelektrik               |
| 4. Pompa          | 9. Termokopel 1                |
| 5. Water Block    | 10. Termokopel 2               |
|                   | 11. Kondensor liebigh (spiral) |

Air akan dialirkan oleh pompa ke kondensor dimroth dan akan terjadi perpindahan kalor antara air yang mengalir pada pipa kondensor dan udara pada reaktor, water block akan bersentuhan dengan sisi dingin sehingga air akan mengalami penurunan suhu. Sisi panas termoelektrik berada dibagian bawah dan menempel dengan *heatsink*.

### 3. Pembahasan

#### 3.1 Karakterisasi Driver PWM

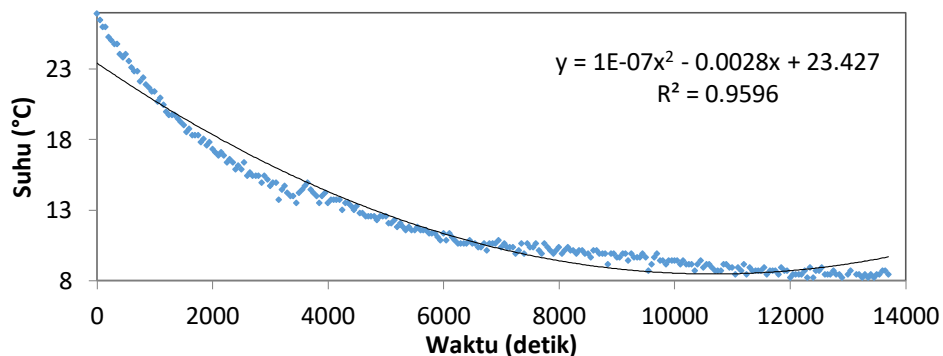


Gambar 3.1 Karakterisasi Driver PWM Terhadap (a) Tegangan dan (b) Arus

Dari grafik (a) dan (b) dapat diketahui bahwa nilai PWM berbanding lurus dengan nilai tegangan dan arus yang dihasilkan. Dimana nilai tegangan dan arus maksimal yang dihasilkan adalah 12,5 V dan 4,09 A, maka dapat disimpulkan bahwa driver PWM tersebut dapat digunakan untuk mengatur daya masukan pada termoelektrik.

Karakterisasi dilakukan untuk mengetahui hasil dari respon aktuator yang akan digunakan untuk mengontrol termoelektrik. Terdapat dua keluaran yaitu arus dan tegangan, pada Gambar 3.1 (a) adalah nilai tegangan (V) yang keluar dari driver PWM sedangkan pada Gambar 3.1 (b) adalah nilai arus (I) yang keluar dari driver PWM. Pengujian driver PWM dilakukan dengan langsung menggunakan beban yaitu termoelektrik pada output driver atau modul, data yang didapat dari hasil karakterisasi digunakan sebagai acuan untuk mengatur daya yang dibutuhkan pada termoelektrik.

#### 3.2 Penentuan Parameter Ziegler-Nichols 1



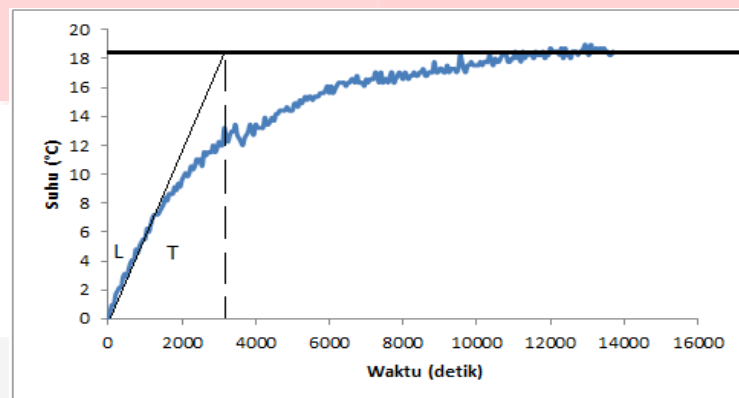
Gambar 3.2 Grafik open loop menggunakan 3 termoelektrik

Grafik 3.2 merupakan respon sistem menggunakan 3 buah termoelektrik dengan input maksimal 12,5 V dan 4,09 A secara kontinu tanpa umpan balik dimana keluarannya tidak akan berpengaruh pada aksi kontrol, data open loop ini didapat dengan menggunakan 3 buah

termoelektrik yang dipasang parallel dengan heater yang menyala dan continue pada suhu 80 °C. dari data tersebut dapat diketahui bahwa untuk menurunkan suhu dari 27 °C sampai 8 °C dengan heater menyala secara continue pada suhu 80 °C diperlukan waktu sekitar 3,7 jam. Dimana hal ini menunjukkan secara langsung kemampuan dari sistem, dari gambar 4.4 juga menunjukkan kapasitas rentang pengontrolan yang dapat dilakukan sistem pendingin yang dibuat.

Untuk menentukan parameter PID dilakukan dengan menggunakan dua buah metode yaitu metode Ziegler-Nichols orde satu dan metode *trial and error*, nilai parameter dari kedua metode tersebut akan dibandingkan guna melihat hasil respon kontrol untuk masing-masing metode.

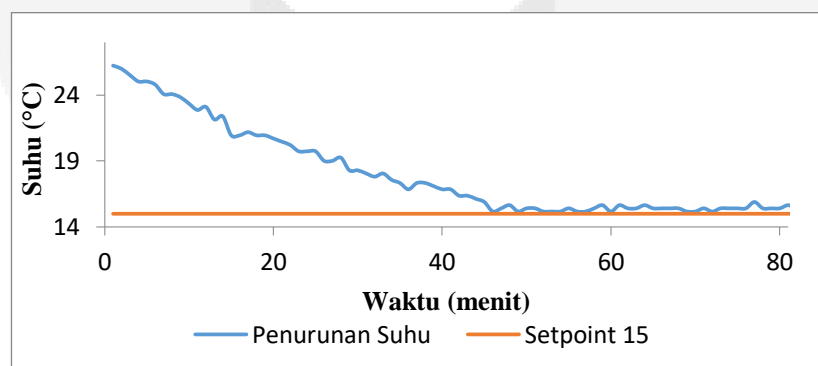
Setelah data percobaan menggunakan 3 buah termoelektrik dirasa cukup, maka data tersebut dapat dianalisis untuk menentukan parameter kontrol yang tepat. Karena respon yang lambat dan karakteristik dari suhu sendiri adalah orde 1 maka digunakan metode Ziegler Nichols orde 1 untuk menentukan parameter kontrol yang sesuai.



Gambar 3.3 Grafik respon sistem open loop 3 termoelektrik

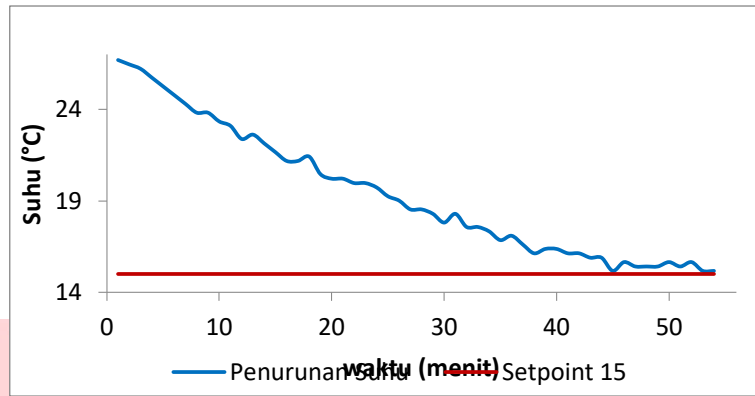
Untuk mendapatkan nilai parameter PID dibutuhkan grafik respon sistem secara open loop atau tanpa pengontrolan dimana nilai parameter PID dapat ditentukan saat respon sistem sudah dalam keadaan steady state. dari grafik open loop didapat nilai Gain Proporsional ( $K_p$ ) sebesar 139,5 dan nilai Time Integral ( $T_i$ ) sebesar 66,67 dengan nilai  $L=20$  dan  $T=3100$ . Waktu tunda atau *time delay* pada grafik.. tidak terlalu Nampak, hal ini dikarenakan penggunaan 3 buah termoelektrik secara langsung dan debit yang dihasilkan pompa cukup besar sehingga mengakibatkan cepat terjadinya penurunan suhu pada sistem.

### 3.2 Penentuan Parameter Ziegler-Nichols 1



Gambar 3.4 Grafik close loop dengan nilai  $K_p$  30 dan  $T_i$  10

Grafik 3.4 merupakan grafik respon sistem pengontrolan suhu dengan setpoint 15 °C dan nilai awal suhu sebesar 26,67°C dengan nilai parameter  $K_p$  sebesar 30 dan  $T_i=10$ . Nilai setpoint dicapai dalam waktu sekitar 46 menit namun tidak bersosilasi pada rentang nilai setpoint, nilai suhu bersosilasi tepat diatas nilai setpoint yaitu sekitar 15,3 °C sampai 16 °C. Hal ini disebabkan karena nilai  $K_p$  yang relatif kecil sehingga nilai PID turun padahal belum mencapai nilai setpoint.

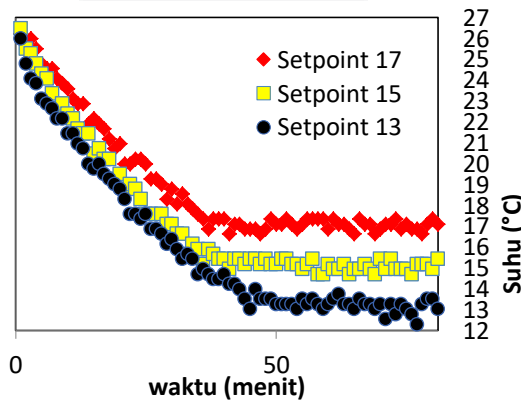


Gambar 3.5 Grafik close loop dengan nilai Kp 100 dan Ti 10

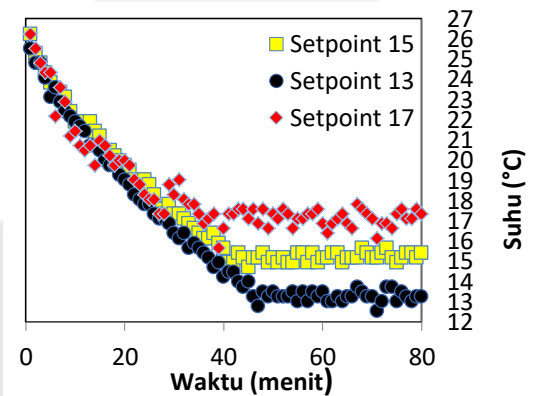
Gambar 3.5 merupakan grafik pengontrolan suhu pada setpoint 15 °C dengan nilai parameter PID Kp=100 dan Ti=10. Pada waktu 0-45 menit, input daya pada termoelektrik maksimal, sehingga nilai suhu akan terus turun sampai mendekati setpoint. Terlihat pada menit 45 nilai suhu sudah mencapai setpoint namun tidak terjadi osilasi yang artinya nilai parameter yang di inputkan masih kurang tepat. Sama halnya seperti grafik 3.4 nilai Gain proporsional yang masih realtif kecil mengakibatkan daya input pada termoelektrik kurang maksimal sehingga nilai suhu tidak beresilasi pada setpoint yang telah ditentukan.

Setelah mengevaluasi respon sistem tersebut maka parameter PID Kp=100 dan Ti=10 masih belum dapat dipakai sebagai parameter kontrol. Karena nilai suhu belum dapat beresilasi pada rentang setpoint maka dibutuh kan lagi percobaan dengan variasi nilai Kp yang lebih tinggi agar pengontrolan suhu dapat dilakukan dengan maksimal.

Setelah dilakukan beberapa pengujian parameter kontrol dengan nilai Kp yang berbeda, pengujian dilakukan kembali dengan nilai Kp 200 dan Ti 10. Percobaan pertama dilakukan pada suhu 15 °C selama 80 menit, setelah melihat hasil respon sistem yang cukup bagus maka pengujian dapat dilanjutkan pada setpoint 13 °C dan 17 °C. Pada t=0 nilai semua suhu awalnya adalah sekitar 26 °C kemudian akan turun sampai dengan nilai setpoint yang telah ditentukan sebelumnya.



Gambar 3.6 close loop nilai Kp 200 dan Ti 10



Gambar 3.7 close loop nilai Kp 140 dan Ti 67

Gambar 3.6 merupakan grafik pengontrolan suhu dengan menggunakan metode *trial and error* dengan Kp sebesar 200 dan Ti 10. Pada percobaan dengan parameter ini terlihat nilai suhu sudah beresilasi pada rentang nilai setpoint, dibandingkan dengan nilai parameter Kp 30 Ti 10 dan Kp 100 Ti 10, Gambar 3.6 sudah menunjukkan pengontrolan suhu yang cukup baik, maka dapat disimpulkan bahwa nilai Kp 200 dan Ti 10 dapat digunakan sebagai nilai parameter PI pada sistem pengontrolan suhu kali ini.

Grafik 3.7 merupakan grafik pengontrolan suhu dengan menggunakan parameter PI dari hasil penalaan metode Ziegler Nichols 1. Terdapat 3 variasi setpoint yaitu 13 °C, 15 °C dan 17 °C dimana nilai temperatur awal dimulai pada suhu sekitar 26 °C. semakin rendah setpoint maka

waktu yang dibutuhkan akan semakin lama, terlihat pada grafik diatas bahwa nilai setpoint 13°C membutuhkan waktu sekitar 41.4 Menit. Begitu pula sebaliknya semakin tinggi setpoint maka waktu yang dibutuhkan akan semakin cepat, terlihat pada setpoint 17 °C waktu yang dibutuhkan adalah sekitar 37 menit.

### 3.3 Perbandingan Spesifikasi Respon antara metode Ziegler Nichols 1 dan Trial and Error

Untuk mengetahui perbedaan respon sistem dari masing-masing metode maka perlu dilakukan perbandingan, perbandingan spesifikasi respon sistem dilakukan antara 2 metode yaitu Ziegler Nichols 1 dan Trial and error seperti pada Tabel 3.1 berikut:

Tabel 3.1 Perbandingan spesifikasi respon antara 2 metode

Setpoint (°C)	13	15	17
Error steady state (%)	1,86	1,24	0,5
Error steady state (%)	1,72	0,7	0,25
Rise time (menit)	41.4	36.9	32.4
Rise time (menit)	39.6	36	32.4

Keterangan :

Hijau = Metode Ziegler Nihols 1 Kuning = Metode Trial and Error

Tabel 3.1 menunjukkan perbandingan spesifikasi respon sistem antara 2 buah metode yaitu metode Ziegler Nichols 1 dan metode Trial and Error. Jika kita bandingkan pada masing-masing setpoint terlihat bahwa baik *error steady state* ataupun *rise time*, metode *trial and error* nilainya lebih kecil dari pada metode Ziegler Nichols. Nilai *rise time* yang lebih kecil dikarenakan metode trial and error mempunyai nilai Kp 200 dibandingkan dengan metode Ziegler Nichols 1 yaitu sebesar 140, sejalan dengan karakteristik parameter PID pada Gambar 2.4 dimana tanggapan sistem jika ada penambahan nilai Kp adalah menurunnya nilai rise time.

Untuk *error steady state* nilai Ti untuk metode Ziegler Nichols 1 adalah 67 dan nilai Ti untuk metode trial and error adalah 10. Semakin besar nilai Ti maka akan semakin kecil nilai *Gain integral* (Ki), karena nilai Ki didapat dari Kp dibagi Ti. Nilai Ki untuk metode Trial and error lebih besar dari pada nilai Ki pada metode Ziegler Nichols 1, sejalan dengan karakteristik PID pada Gambar 2.4 dimana tanggapan sistem jika ada penambahan nilai Ki adalah *error steady state* akan menurun.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian kali ini dapat ditarik beberapa kesimpulan :

1. Telah berhasil dibuat sistem pendingin kondensor dimroth berpendingin air berbasis termoelektrik, dimana sistem terdiri dari beberapa sub sistem seperti sistem elektrik, mekanik, catu daya dan pompa. Daya yang dibutuhkan pompa adalah 18 W dengan debit 16,67 L/menit, wadah penampungan mempunyai panjang 27 cm lebar 10 cm dan tinggi 20 cm terbuat dari bahan plastik yang dibungkus dengan Styrofoam.
2. Dengan mengungkap metode kendali PI didapatkan beberapa parameter kontrol seperti Gain proporsional ( $K_p$ ) dan Time Integral ( $T_i$ ), digunakan 2 buah metode untuk mendapatkan parameter kontrol yaitu metode Ziegler Nichols 1 dengan nilai  $K_p= 140$   $T_i=67$  dan metode trial and error dengan  $K_p= 200$   $T_i=10$ .
3. Dari percobaan yang telah dilakukan error steady state paling kecil berada pada setpoint 17°C metode trial and error yaitu sebesar 0,25%

#### Daftar Pustaka:

- [1] Barkah, A. (2017). Pengaruh Laju Aliran Udara Terhadap Hambatan Termal Heat Sink Fan .Telkom University. 74.
- [2] Delly, J., Hasbi, M., & alkhairon, I. f. (2016). Studi Penggunaan Modul Thermoelektrik Sebagai Sistem Pendingin Portable. Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Mesin. Universitas Halu Oleo, 6.
- [3] Enescu, D., & Virjoghe, E. O. (2014). Renewable and Sustainable Energy Reviews. ELSEVIER. 14.
- [4] Taufan F., A., & Yunus. (2017). Implementasi Internet Of Things Pada Sistem Tenaga Listrik Berbasis Energi Terbarukan Menggunakan Raspberry Pi. Universitas Hasanuddin. 70.
- [5] Al, M. (2004). Pembelajaran Perancangan Sistem Kontrol PID Dengan Software Matlab. Jurnal Edukasi, Universitas Negeri Yogyakarta. 8.
- [6] Kemala Sari Lubis, S. (2007). Aplikasi Suhu Dan Aliran Panas. Universitas Sumatera Utara. 13.
- [7] Amrullah. (Juli 2013). Uji Eksperimental Kinerja Termoelektrik Pada Pendingin Dispenser Air Minum. Universitas Hasanuddin. 116.
- [8] Amrullah, Djafar, Z., & Piarah, W. H. (2017). Analisa Kinerja Mesin Refrigerasi Rumah Tangga Dengan Variasi. Jurnal Teknologi Terapan, Politeknik Negeri Indramayu. 11.
- [9] Assomadi, A. F., & Lathif, F. N. (2013). Modeling Desalination With Evaporation And Condensation Be One Room System. Institut Teknologi Sepuluh November. 14.
- [10] Sundayani, Handayani, I. P., Fathonah, I. W., & Suhendi, A. (2017). Design And Implementation Of TEC (Thermoelectric Cooler) Based Refrigeration System.Universitas Telkom 7.
- [11] Kristanto, S. A., & Indarto, B. (2013). Penggunaan Termokopel Tipe K Berbasis Mikrokontroler Atmega16 Untuk Mengukur Suhu Rendah Di Mesin Kriogenik. Sains Dan Seni Pomits, 6.
- [12] Masithah, I. (2013). Menipisnya Lapisan Ozon. Universitas Udayana 11.
- [13] Juharsyah, D., Setiawan, I., & Wahyudi. (2005). Perbandingan Unjuk kerja controller PID Metode Pertama Ziegler-Nichols dan CMAC (Cerebellar Modul Articulation Controller ) Pada Pengendalian Plant Suhu . 2-3.