

RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING DAN PENGENDALIAN TEMPERATUR KONDENSOR PADA PROSES DISTILASI BERBASIS MIKROKONTROLLER

Muhammad Mahardika Despandi¹, Aidi Finawan², Azhar³,

^{1,2,3} Prodi Teknologi Rekayasa Instrumentasi dan Kontrol
Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Lhokseumawe
Email: despandito345@gmail.com, aidifinawan@pnl.ac.id, Arhas0105@gmail.com

Abstrak—Didalam proses distilasi dibutuhkan sebuah *sumber panas*, kemudian air akan dijadikan uap, selanjutnya uap tersebut bercampur dengan minyak bahan yang disuling dialirkan ke sebuah kondensor melalui cubing tembaga, untuk merubah fasa uap menjadi fasa air dengan cara mengkondensasikan uap tersebut melalui air dingin yang disirkulasikan dari sumber air. Tujuan yang dari penelitian ini adalah menghasilkan sebuah alat peraga pengendalian suhu kondensor pada proses distilasi dengan kendali PID untuk dapat menampilkan grafik respon plant dan dapat menentukan tingkat efektif suhu setpoint air kondensor. Metode yang digunakan yaitu metode perancangan dan pengujian terhadap modul peraga. Hasil yang didapat yaitu proses pengendalian suhu pada kondensor dengan parameter $K_p = 10$, $K_i = 0,367$ dan $K_d = 33$, sesuai yang diharapkan pada set point 50°C dengan temperature error sebesar 6% diatas setpoint dan 10% dibawah setpoint. Tingkat keefektifan suhu setpoint air kondensor terhadap hasil perubahan fasa penyulingan menjadi air yaitu dibawah suhu 60°C . Set point kendali suhu dilakukan pada suhu 50°C sudah efektif. Alat peraga yang dibuat terkait pengendalian suhu pada sebuah kondensor mampu menyerap panas uap dalam cubing tembaga, sesuai temperature yang diharapkan sebesar di bawah 60°C . Suhu kondensor pada 50°C dijaga secara otomatis dengan kendali PID pada set point 50°C menunjukkan sudah cukup baik.

Kata kunci : Kondensor, Kendali suhu, PID, Distilasi

I. PENDAHULUAN

Dalam pengendalian suhu pada sebuah ketel distilasi membutuhkan alat sensing untuk memantau dan mengontrol tingkat suhu. Maka dari itu dibutuhkan suatu sensor berjenis thermocouple. Sensor ini bertipe thermocouple, dimana sensor ini akan bekerja pada range -200°C hingga 1200°C [1]. Untuk membuat proses perebusan air dibutuhkan sebuah *water heater*. kemudian air yang direbus oleh heater akan dijadikan uap, kemudian uap tersebut bercampur dengan minyak bahan yang disuling [2] dialirkan ke sebuah kondensor untuk merubah fasa uap menjadi fasa air dengan cara mengkondensasikan uap tersebut melalui air dingin yang disirkulasikan dari sumber air. Suhu air yang optimal pada ruang kondensor harus mencapai 0°C hingga 60°C [3]. Pengendalian digunakan kontroller PID dengan driver pengatur tegangan PWM sebagai pengatur tegangan pada pompa sirkulasi. Kemudian suhu pada kondensor tersebut disensing menggunakan sensor temperatur. Sebagai tampilan grafik respon kendali penulis gunakan bantuan Mikrokontroller Arduino mega sehingga respon akuisisi data dibentuk grafik pada PC ataupun Laptop.

Tujuan yang akan dicapai dalam penulisan tugas akhir ini yaitu; Menghasilkan sebuah alat peraga pengendalian distilasi dengan kendali PID untuk dapat menampilkan grafik respon plant. Dapat menentukan tingkat efektif suhu setpoint air kondensor.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Proses perpindahan panas

Proses Pembentukan Uap Untuk merubah energi panas menjadi energi mekanis diperlukan suatu media kerja . Dalam hal ini media kerja yang digunakan adalah uap. Uap dalam ketel yang dimaksud adalah uap air, yaitu gas yang timbul akibat perubahan fase air menjadi uap melalui proses pemanasan. Proses pembentukan uap dapat dilihat sebagai Gambar 1 berikut ini [4]:

Pada tekanan 1 atm dan 100°C air akan berubah menjadi uap dan apabila dipanaskan terus menerus maka seluruhnya akan berubah menjadi uap. Pada pemanasan air dari temperatur $t_1^\circ\text{C}$ menjadi 100°C dibutuhkan kalor (Q), maka kalor yang dibutuhkan adalah :

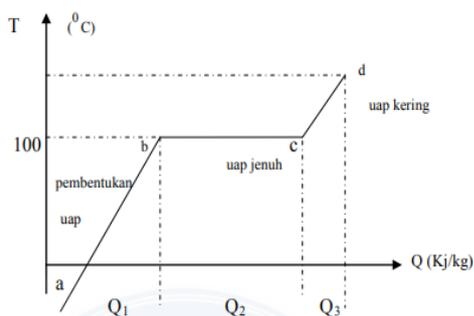
$$Q_1 = m_a \cdot C_p \cdot \Delta t \quad (1)$$

Dimana ;

$$m_a = \text{massa air (kg/satuan waktu)}$$

$$C_p = \text{panas spesifik air (kkal/kg)} \cdot 1$$

$$\Delta t = (1000 \text{ C} - t_1)$$



Gambar 1. Proses Pembentukan Uap [4]

Bila pemanasan terus dilanjutkan, maka volume uap bertambah sampai seluruh air berubah menjadi uap dan temperatur air tidak naik, maka tekanannya juga tetap, kalor yang dibutuhkan untuk perubahan fase ini adalah:

$$Q_2 = \mu \cdot Q_1 \tag{2}$$

Dimana ;

μ = massa uap (kg)

Q_1 = panas laten (penguapan) (kkal/kg⁰C)

Selanjutnya bila uap air terus dipanaskan, maka temperatur uap air akan naik dan kenaikan temperaturnya sebanding dengan kalor yang diterima yaitu :

$$Q_3 = \mu \cdot C_{ps} \cdot \Delta t \tag{3}$$

Dimana ;

μ = massa uap (kg)

C_{ps} = panas spesifik uap (kkal/kg⁰C)

$\Delta t = (t_1 - 100^\circ\text{C})$

Dalam penelitian ini, hanya memakai fase cair dan fase uap, perubahan fase cair menjadi fase uap dan sebaliknya fase uap menjadi fase cair. Proses perubahan fase yang terjadi di dalam ketel (boiler) adalah fase cair menjadi fase uap. Fase Uap Yaitu bila mana dalam keseimbangan, tekanan (P), volume (V), dan temperatur (T) tidak berubah. Bentuk fisis air adalah dalam bentuk cair jenuh dengan berat jenis 1 kg/dm³ (teoritis). Jika suhu dinaikkan hingga 100°C pada tekanan 1 atm, maka air tersebut akan berubah fase berbentuk uap, tetapi bila di atas air tersebut diberikan tekanan, sehingga gelembung - gelembung uap tidak dapat terbentuk dan proses penguapan tidak dapat berlangsung meskipun sudah mencapai suhu 100° C. jadi proses dalam mencapai titik keseimbangan pada P, V, dan T tidak berubah, maka selama itu disebut fase cair.

B. Sistem kendali

Ada tiga komponen dalam sistem pengendalian yaitu:

- a. Sensor
- b. Kontroller
- c. Actuator

Penggunaan sensor, kontroller, dan actuator pada sistem distilasi dapat dijelaskan sebagai berikut [5]

a. Sensor

Sensor yang digunakan dalam proses kondensasi adalah sensor suhu. Sensor suhu merupakan alat semikonduktor yang mengubah energi panas atau besaran suhu menjadi besaran listrik yang mudah dapat dianalisis besarnya. *Thermocouple* merupakan sistim pengukuran temperatur. Elemen sensor temperatur (measuring junction) menghasilkan beda tegangan atau *electromotive force* (emf), yang kemudian emf yang dihasilkan dibandingkan dengan skala konversi tertentu menjadi unit temperatur. Elemen sensor sebuah *thermocouple* merupakan dua jenis logam konduktor yang berbeda yang disebut *thermo-element*, satu sama lain diisolasi kecuali pada bagian junction. Kabel ekstensi *thermocouple* yang dapat digunakan adalah sepasang kabel yang mempunyai karakteristik temperatur-emf relatif terhadap *thermocouple*-nya sehingga pada saat digunakan tidak memberikan pengaruh negative (penyebab kesalahan) terhadap hasil pengukuran [6].

b. Controller

Kontroller dengan menggunakan mikrokontroller arduino mega. Arduino adalah sebuah kit atau papan elektronik yang dilengkapi dengan software open source yang menggunakan keluarga mikrokontroler ATmega dan berfungsi sebagai pengendali mikro single-board yang dirancang untuk memudahkan penggunaan elektronik dalam berbagai bidang yang dirilis oleh Atmel. Dimana Hardwarenya memiliki prosesor Atmel AVR dan softwarenya memiliki bahasa pemrograman sendiri. Selanjutnya kontroller yang digunakan yaitu jenis Arduino MEGA 2560, Arduino mega 2560 juga merupakan papan mikrokontroler berbasis atmega 2560. Arduino mega 2560 memiliki 54 pin digital input/output, dimana 15 pin dapat digunakan sebagai output PWM, 16 pin sebagai input analog, dan 14 pin sebagai UART (Port serial Hardware), selain itu arduino mega ini juga memiliki 16 MHz kristal osilator, tombol reset, header ICSP, koneksi USB dan jack power. Ini semua yang diperlukan untuk mendukung mikrokontroler dalam berbagai pekerjaan. Selanjutnya untuk memulai mengaktifkan perangkat tersebut cukup dengan menghubungkannya ke computer melalui kabel USB atau power suplay atau baterai. Terkait dengan hal tersebut Arduino mega 2560 memiliki kecocokan dengan sebagian besar shield yang dirancang untuk Arduino Duemilanove atau Arduino Diecimilia. Perlu diketahui juga bahwa Arduino Mega 2560 adalah versi terbaru yang menggantikan versi Arduino Mega [7].

c. Aktuator

Aktuator merupakan alat yang mengaktualkan proses, dimana dalam hal ini yang bertindak sebagai

actuator digunakan Pulse Width Modulation (PWM). Pulse Width Modulation (PWM) secara umum adalah sebuah cara memanipulasi lebar sinyal yang dinyatakan dengan pulsa dalam suatu periode, untuk mendapatkan tegangan rata-rata yang berbeda. Beberapa contoh aplikasi PWM adalah pemodulasian data untuk telekomunikasi, pengontrolan daya atau tegangan yang masuk ke beban, regulator tegangan, audio effect dan penguatan, serta aplikasi-aplikasi lainnya. Aplikasi PWM berbasis mikrokontroler biasanya berupa pengendalian kecepatan motor pompa.

Sinyal PWM pada umumnya memiliki amplitudo dan frekuensi dasar yang tetap, namun memiliki lebar pulsa yang bervariasi. Lebar Pulsa PWM berbanding lurus dengan amplitudo sinyal asli yang belum termodulasi. Artinya, Sinyal PWM memiliki frekuensi gelombang yang tetap namun duty cycle bervariasi (antara 0% hingga 100%) [8].

D. Kendali PID

Kontrol otomatis dalam dunia pengendalian terdiri dari tiga macam, yaitu kontrol P (Proportional) yang berfungsi untuk mempercepat respon, kontrol I (Integral) yang berfungsi untuk mengkoreksi dan mereduksi offset, dan kontrol D (Derivatif) yang berfungsi untuk memprediksi dan mereduksi overshoot. Ketiga kontrol ini sebenarnya dapat diaplikasikan menjadi kontrol P (Proportional), kontrol PI (Proportional-Integral), kontrol PD (Proportional-Derivatif), dan kontrol PID (Proportional-Integral-Derivatif) [9].

Pengendalian PID Controller dan cara mencari konstantanya yaitu dengan menggunakan metode ziegler-nichols. Tahap-tahap yang akan dilakukan dalam mencari konstanta PID sebagai berikut:

1. Analisa grafik untuk menemukan Transfer Function,
2. Mencari Konstanta PID.

Dalam penelitian ini mengambil studi kasus tentang kontrol panas cairan dalam kondensor. Kendali PID untuk memastikan suhu cairan stabil pada panas tertentu dengan mengontrol kecepatan pompa dalam mensirkulasi air dalam kondensor. Menentukan (tuning) parameter PID digunakan metode open loop Ziegler-Nichols [10].

Tabel 1 Parameter PID metode Ziegler–Nichols

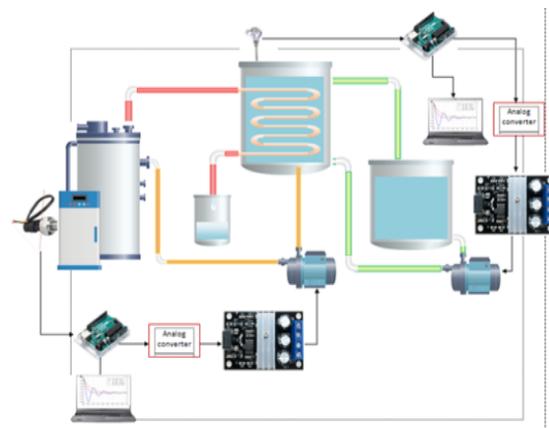
	Kp	Ti	Td
Pid	1,2 Tg/Tu	2 Tu	0,5 Tu
Pi	0,9 Tg/Tu	3,3 Tu	
p	Tg/tu		

Menentukan parameter PID metode Ziegler–Nichols dapat dihitung nilai Kp, Ki dan Kd sebagai parameter kendali pada arduino mega 2560.

III. METODOLOGI

Metode yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini yaitu metode perancangan dan metode pengujian. Metode perancangan dilakukan untuk menentukan jenis alat dan komponen yang digunakan dan bagaimana sistem yang akan dibuat sebagai berikut. Metode perancangan:

1. Membuat ketel dari alluminium dengan ukuran diameter 30cm, dengan tinggi 30cm. Membuat kondensor dari alluminium dengan ukuran diameter 20cm x tinggi 20cm
1. Membuat tempat sumber air sirkulasi kondensor dengan ukuran diameter 20cm, dengan tinggi 20cm.
2. Menentukan heater water sebagai pemanas air yang ditempatkan di dalam ketel.
3. Membuat kondensasi berbentuk spiral dengan pipa kapiler tembaga ukuran $\frac{1}{4} \times 0.003''$.
4. Memasang sensor suhu thermocouple dengan range $-40^{\circ}\text{C} \sim 400^{\circ}\text{C}$ pada kondensor
5. Menginstall dan membuat program arduino untuk menampilkan LCD dan plotting respon kendali.
6. Merangkai modul pwm sebagai driver pengendalian pompa dc 12V. Memasang pompa sebagai alat sirkulasi air dingin pada kondensor

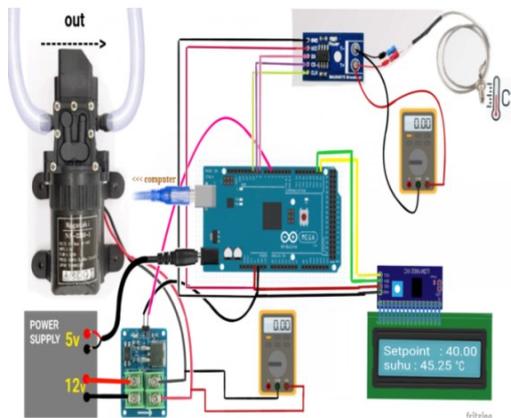


Gambar 2.. Rancangan Sistem

Metode Pengujian

1. Menguji sensor suhu TC sampai suhu 100°C terhadap sinyal yang dihasilkan, sebagai pembanding menggunakan termometer.
2. Menguji program mikrokontroler arduino yang terhubung dengan sensor suhu thermocouple TC untuk monitoring LCD dan akuisisi data respon kendali.
3. Menguji driver pwm dengan sinyal suhu untuk menghasilkan output pwm dari 0v – 12v. dengan Duty Cycle adjustable sebesar 5%-100%.

4. Menguji motor dc dengan member tegangan dc 0v – 12v.
5. Menguji sistem kendali suhu pada ketel yang merupakan sistem pembatas suhu 100°C dengan CRX-100 temperature kontroller sistem SSR.
6. Menguji keseluruhan sistem kendali suhu pada kondensor yang merupakan sistem loop tertutup.



Gambar 3. Pengujian Sistem

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Transfer Heat

Transfer heat adalah perpindahan panas dari sumber panas ke benda lain atau air, sehingga benda atau air tersebut menjadi panas akibat proses penyerapan panas oleh air. Sehingga air Menerima panas dari heater pada boiler sebesar Q adalah banyak kalor yang diterima ataupun dilepas oleh suatu benda (J), c adalah kalor jenis zat (J/kg°C), m adalah massa benda yang menerima ataupun melepas kalor (kg), ΔT adalah perubahan suhu (°C).

Apabila ada sebanyak 1000 gram air yang dipanaskan dengan menggunakan suhu 100°C hingga suhunya berubah dari 30°C menjadi 95°C. dimana kalor jenis air ini adalah 1 kal/g°C atau 4.200 J/kg K. Maka banyak kalor yang diterima air yaitu:

$$m = 1000 \text{ g} = 1 \text{ kg}$$

$$\Delta T = 100^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C} = 65^\circ\text{C}$$

$$c = 1 \text{ kal/g}^\circ\text{C} = 4.200 \text{ J/kg K}$$

maka

$$Q = 1000 \text{ g} \times 1 \text{ kal/g}^\circ\text{C} \times 65^\circ\text{C}$$

$$Q = 65.000 \text{ kalori}$$

$$Q = 65 \text{ K kalori}$$

Jadi, banyaknya kalor yang diterima air tersebut adalah 65 K kalori. Uap Air melepas panas dari cubing ke air pada kondensor sebesar:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

$$Q = 1000 \text{ g} \times 1 \text{ kal/goC} \times (95-50)^\circ\text{C}$$

$$Q = 45.000 \text{ kalori} = 45 \text{ K kal}$$

Jadi, banyaknya kalor yang dilepas uap air ke air pendingin tersebut pada kondensor adalah 45 K kal

B. Hasil Pengukuran Tegangan Output Sensor Thermocouple

Tampilan nilai suhu pada LCD arduino dengan sensor suhu thermocouple dipastikan benar, maka tampilan nilai suhu harus ada pembandingnya. Pada pengujian ini digunakan suhu pembanding dengan menggunakan thermometer standar. Pengujian ini dilakukan untuk memastikan bahwa tampilan LCD suhu sensor thermocouple sudah tepat sesuai standar nya. Pengujian dilakukan dengan memasukkan sensor thermocouple dengan thermometer kedalam air yang dipanaskan. Suhu yang diberikan dari 30°C hingga 100°C. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 1 berikut ini.

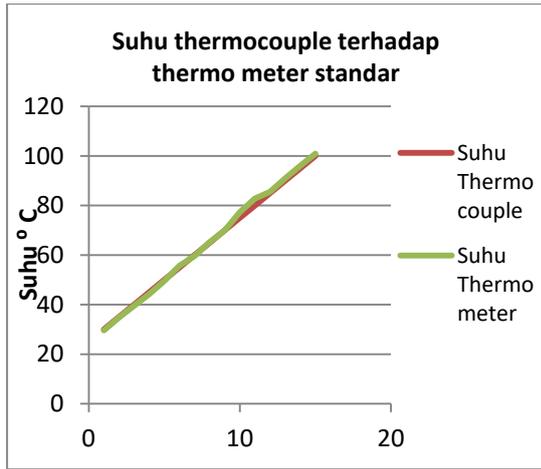
Tabel 2.Data Pengukuran Suhu Dengan Termocouple

No.	Suhu Sensor Thermocouple (derajat Celcius)	Tegangan Sensor Thermocouple (mV)
1	30	0
2	35	0.2
3	40	0.4
4	45	0.6
5	50	0.8
6	55	1
7	60	1.2
8	65	1.4
9	70	1.6
10	75	1.8
11	80	2.1
12	85	2.3
13	90	2.5
14	95	2.7
15	100	3

Tegangan yang dihasilkan dari sensor thermocouple sangat kecil dalam mili Volt. Suhu sensor diberikan 30°C hingga 100 °C menghasilkan sinyal sebesar 0 m volt sampai dengan 30 m volt

C. Hasil Perbandingan Suhu Thermocouple Dengan Thermometer

Tampilan nilai suhu pada LCD arduino dengan sensor suhu thermocouple dipastikan benar, maka tampilan nilai suhu harus ada pembandingnya. Pada pengujian ini digunakan suhu pembanding dengan menggunakan thermometer standar. Pengujian ini dilakukan untuk memastikan bahwa tampilan LCD suhu sensor thermocouple sudah tepat sesuai standar nya. Pengujian dilakukan dengan memasukkan sensor thermocouple dengan thermometer kedalam air yang dipanaskan. Suhu yang diberikan dari 30°C hingga 100°C. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.

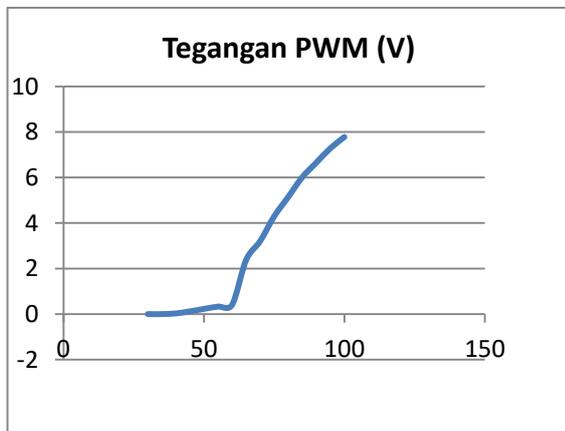


Gambar 4. Suhu thermocouple terhadap thermo meter standar

Suhu yang dihasilkan oleh sensor thermocouple dinyatakan akurat walaupun hanya berbeda 0,2°C hingga 1,8°C, sehingga tingkat toleransi kesalahan sebesar 2,25%.

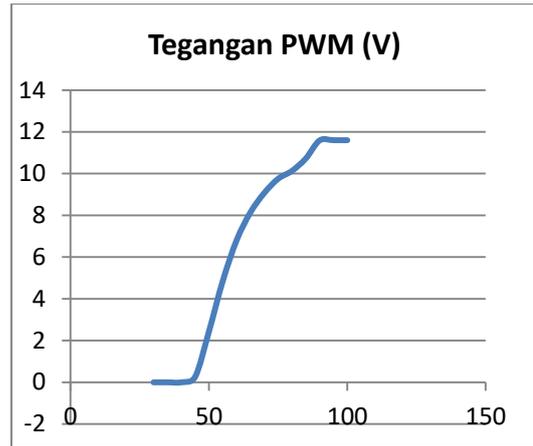
D. Hasil Pengujian Tegangan PWM

Tegangan PWM bervariasi tergantung nilai Kp dan nilai sensor suhu yang diberikan pada program arduino. Pada pengujian ini suhu dinaikan dari 30 sampai 100°C dengan nilai Kp=2, Ki=0, dan Kd=0. Besar tegangan output PWM dengan tegangan Input tetap 12 volt seperti Gambar 5.



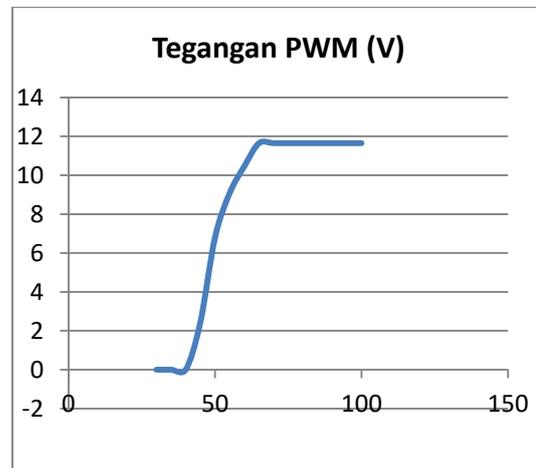
Gambar 5. Grafik Pengukuran Pada Tegangan PWM Pada KP=2

Tegangan PWM dengan nilai Kp=5, Ki=0, dan Kd=0. Besar tegangan output PWM dengan tegangan Input tetap 12 volt seperti Gambar 6



Gambar 6. Grafik Pengukuran Pada Tegangan PWM Pada KP=5

Tegangan PWM dengan nilai Kp=10, Ki=0, dan Kd=0. Besar tegangan output PWM dengan tegangan Input tetap 12 volt seperti Gambar 7



Gambar 7. Grafik Pengukuran Pada Tegangan PWM Pada KP=10

E. Penentuan parameter kendali PID Dengan Metode Ziegler–Nichols

Menentukan (tuning) parameter PID digunakan metode open loop Ziegler-Nichols. Langkah-langkah penalaan untuk kondensor plant sebagai berikut:

- a. Memberi panas pada sensor TC.
- b. Memasang sistem akuisisi data, menetapkan waktu cuplik 10 detik.
- c. Mengamati tanggapan sistem sampai terbentuk kurva S.
- d. Berdasarkan data kurva S menetapkan Tu dan
- e. Tg.



Gambar 8 Tuning PID Dengan Metode Ziegler–Nichols

Kurva S respon akuisisi data dengan member panas pada sensor TC. Untuk menentukan nilai T_u dan T_g , pertama-tama menarik garis lurus secara horizontal pada respon yang sudah steady, lalu menarik garis miring pada respon saat naik, selanjutnya menarik garis lurus vertikal pada perpotongan garis horizontal dan pada garis miring. Sehingga dapat menentukan nilai T_u dan T_g . Dari hasil garis kurva S yang terbentuk, maka didapat nilai T_u dan T_g yaitu,

$$\text{Time delay} = T_u = 30 \text{ s}$$

$$\text{Time constant} = T_g = 55 \text{ s}$$

Hasil perhitungan ditetapkan ketiga parameter PID yaitu KP, KI dan KD ditunjukkan pada Tabel 3

Tabel 3 Parameter PID Hasil perhitungan

Parameter	Nilai
KP	2,2
KI	0,0367
KD	33

Data pengukuran tegangan PWM menunjukan motor berputar pada tegangan 6 volt, sehingga pada $K_p = 2$ motor berputar dengan suhu 85°C . Suhu ini sangat tinggi sehingga proses transfer panas tidak mungkin dilakukan dari cubing uap ke air pendingin. Hal ini dikarenakan proses kondensasi uap menjadi air yang efektif adalah suhu lebih kecil dari 60°C .

Nilai $K_p = 5$ motor berputar dengan suhu 60°C , suhu ini sangat juga masih tinggi sehingga proses transfer panas tidak optimal dilakukan dari cubing uap ke air pendingin.

Nilai $K_p = 10$ motor berputar dengan suhu 50°C . suhu ini sudah memadai, sehingga proses transfer panas dapat dilakukan dari cubing uap ke air pendingin.

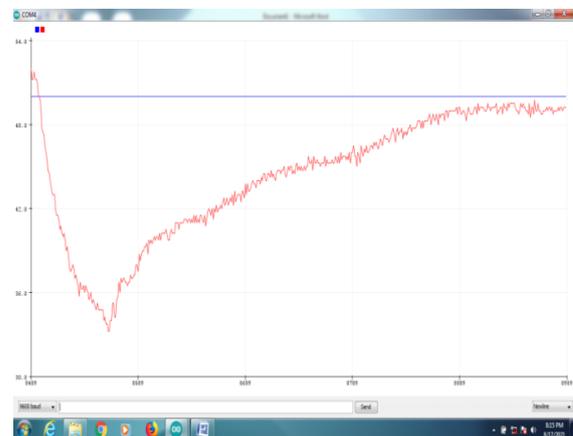
Nilai set point pada kontroller arduino ditetapkan pada suhu 50°C , sehingga Parameter setting PID yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4 Parameter Setting Parameter PID

Parameter	Nilai
KP	10
KI	0,367
KD	33

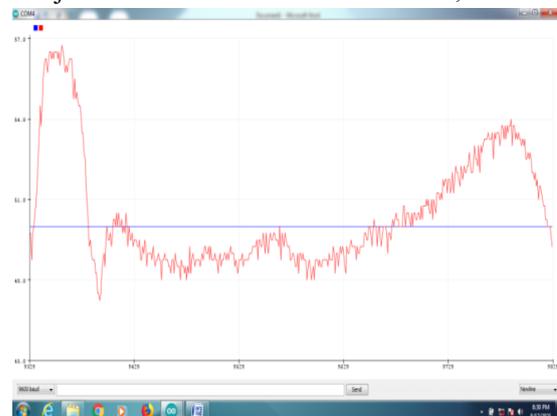
F. Respon Kendali Suhu Kondensor

Pada pengujian implementasi dengan parameter PID tersebut pada set point 50°C pengendalian suhu pada kondensor mampu mengubah fasa uap menjadi air dengan tingkat error sebesar 3°C diatas set point dan 5°C di bawah set point. Dengan menambah batu ES supaya air pendingin kondensor dapat tercapai, set point dapat dilakukan pada 40°C . Tidak tercapainya suhu air pendingin kondensor dikarenakan kecilnya tempat air.



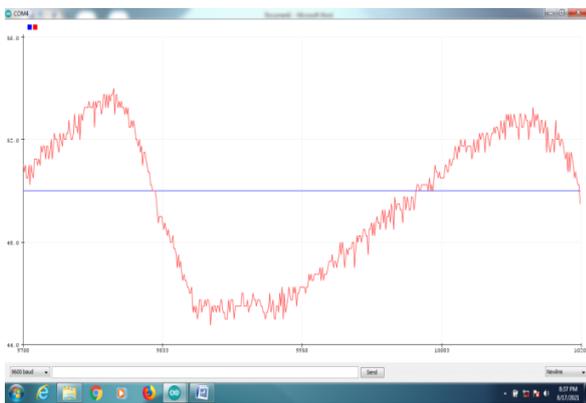
Gambar 9. Respon kendali waktu naik

Respon kendali Gambar 9 pada setpoint 50°C dimana waktu naik (rise time) pengujian implementasi kendali PID, Dari akuisisi data arduino rise time menunjukkan 300 detik dari titik a ke titik b,



Gambar 10. Respon kendali Overshoot

Respon kendali Gambar 10, dimana waktu puncak (top time) pengujian implementasi kendali PID. Dari akuisisi data arduino sebesar 400 detik dan nilai overshoot menunjukkan 12%.



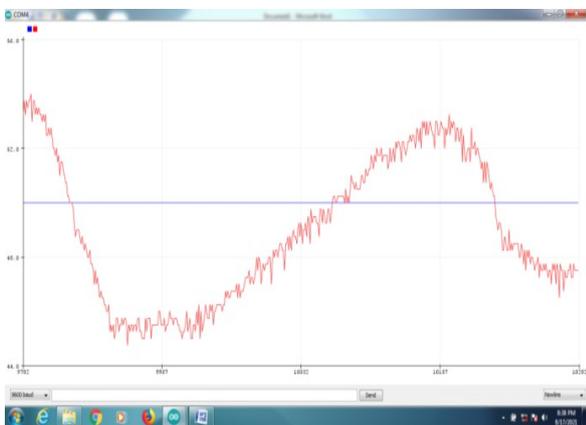
Gambar 11. Respon kendali Overshoot

Respon kendali Gambar 11, Perubahan suhu bawah dan suhu atas selama proses pengendalian pada kondensor yaitu antara 45 °C sampai dengan 53°C dengan tingkat error sebesar,

$$\text{error} = \frac{53-50}{50} \times 100\% = 6\% \text{ (atas setpoint)}$$

$$\text{error} = \frac{45-50}{50} \times 100\% = -10\% \text{ (bawah setpoint)}$$

Error yang didapatkan sebesar 6% diatas setpoint dan 10% dibawah setpoint seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Respon Kendali Steady State

Dari gambar 12. kurva tersebut terlihat bahwa setelah pompa bekerja, temperature air pendingin kondensor turun 45 °C. Selanjutnya panas uap dalam cubing tembaga melepas panas, sehingga secara perlahan suhu air pendingin kondensor naik sampai mencapai temperature 53°C. Kemudian pompa kondensor bekerja, sehingga suhu air pendingin kondensor turun. Selanjutnya transfer panas terjadi dari uap dalam cubing tembaga ke air pendingin kondensor. Panas air dalam kondensor perlahan naik ke 53°C demikian seterusnya proses kondensor dalam mentransfer panas.

V. KESIMPULAN

Dari hasil dan pembahasan terhadap permasalahan dapat disimpulkan bahwa:

1. Pengukuran menggunakan TC dan MAX 6675 konverter pengubah parameter tegangan analog menjadi tegangan digital agar dapat dibaca oleh Mikrokontroler Arduino dan tampil dalam bentuk LCD dikategorikan presisi sebagai pembanding temperature menggunakan thermometer digital.
2. Proses pengendalian suhu pada kondensor dengan parameter $K_p = 10$, $K_i = 0,367$ dan $K_d = 33$, sesuai yang diharapkan dengan temperature error sebesar 6% diatas setpoint dan 10% dibawah setpoint.
3. Tingkat keefektifan suhu setpoint air kondensor terhadap hasil perubahan fasa penyingkapan menjadi air yaitu dibawah suhu 60°C. Set point kendali suhu dilakukan pada suhu 50°C sudah efektif.
4. Alat peraga yang dibuat terkait pengendalian suhu pada sebuah kondensor mampu menyerap panas uap dalam cubing tembaga, sesuai temperature yang diharapkan sebesar di bawah 60°C. Suhu kondensor pada 50°C dijaga secara otomatis dengan kendali PID pada set point 50°C menunjukkan sudah cukup baik.

REFERENSI

- [1] Popong Effendrik, 2014, **Karakterisasi Thermocouple Dengan Menggunakan Perangkat Lunak Matlab – Simulink**, Jurnal ELTEK, Vol 12 Nomor 01, April 2014 ISSN 1693-4024, Hal 133-145
- [2] Fahri F. Polii, 2016, **Penelitian Penyulingan Minyak Pala "Siauw" Metode Uap Bertekanan Dan karakteristik Mutu Minyak Pala**, Jurnal Penelitian Teknologi Industri Vol. 8 No. 1 Juni 2016 : 23-34 ISSN No.2085-580X
- [3] Syamsul, 2016, **Rancang Bangun Sistem Kendali Pada Proses Penyulingan Minyak Pala Untuk Optimasi Energi**, Jurnal Litek (ISSN: 1693-8097) Volume 13 Nomor 2, September 2016: hal. 55-60
- [4] Holman, J. P. (2002). **Heat Transfer**. Southern Methodist University.
- [5] Santoso, N. W. (t.thn.). **Pengendalian Suhu Pencampuran Air Berbasis Industrial Robustness-Rtu Dengan Sistem Kendali Terdistribusi**. Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung .
- [6] Sutarya, D. (2008). **Analisis Unjuk Kerja Thermocouple W3re25 Pada Suhu Penyinteran 1500 derajat C**.
- [7] Iskandar, A. (2017). **Sistem Keamanan Pintu Berbasis Arduino Mega**. Informatika Upgris Vol.3, No.2 .
- [8] Alexander Christofer Re Gunadhi, 2018, **Pengendalian Parameter Suhu Pada Mini Plant Boiler Dengan Menggunakan Pengendali PID**, Jurnal Ilmiah GIGA Volume 21 (1) Juni 2018 Halaman 69-79.
- [9] Zaidir Jamal, 2015, **Implementasi Kendali Pid Penalaan Ziegler-Nichols Menggunakan Mikrokontroler**, Jurnal Informatika, Vol.15, No.1, Bulan Juni 2015.