

# Scada Pada Proses Destilasi Dengan Pengendalian Suhu Menggunakan PID

Anang Dasa Novfowan <sup>\*a)</sup>, Mochammad Mieftah <sup>a)</sup>, dan Wijaya Kusuma <sup>a)</sup>

(Received 21 Desember 2023 || Revised 22 Januari 2023 || Accepted 22 Februari 2024)

**Abstract :** *Controlling temperature is crucial because it is the most significant factor in the distillation process. Temperature instability is a result of manual and traditional control, and several errors may occur. Therefore, the low quality of the product that is produced during the distillation process has an additional effect. In order to effectively control or manage the system, an automatic temperature control system is designed using an electronic controller with a closed system control mode that not only delivers setpoint values but also feedback. The procedure of distillation that is being employed involves combining two different kinds of solutions: water and ethanol, which has a boiling point of 78°C. Thermocouple sensors are used to monitor temperature, and PLCs with PID control are used to process the temperature data that are obtained. For plant supervision, control, and data collecting, a SCADA is necessary. A number of tests have been conducted, including near loops with and without PID that are SCADA-monitored. The temperature stability response is then examined by analyzing the outcomes of multiple tests that have been conducted. Values of  $K_p = 5188$ ,  $T_i = 182$ , and  $T_d = 457$  were found by using the Ziegler Nichols method to the temperature control of the distillation equipment. Furthermore, the steady state error was no more than 1% and the overshoot characteristics were only 2.5%, according to the system response graph. From the Ziegler Nichols PID control parameters, it shows a good system response and produces ethanol distillation results with a concentration of 88%.*

**Keywords:** *Distillation, SCADA, PID Ziegler Nichols*

## 1. Pendahuluan

Distilasi merupakan bagian penting dalam industri. Destilasi, yang juga dikenal sebagai penyulingan, merupakan metode untuk memisahkan bahan kimia berdasarkan perbedaan titik didih atau kecepatan menguap. Dalam proses penyulingan, campuran zat dipanaskan hingga menguap, kemudian uap tersebut didinginkan kembali menjadi cairan. Zat dengan titik didih lebih rendah akan menguap lebih dulu. Jenis bahan yang akan didistilasi, suhu, volume, dan waktu distilasi adalah beberapa faktor yang memengaruhi proses distilasi [1].

Suhu memainkan peran utama dalam proses distilasi, sehingga penting untuk mengontrolnya dengan baik. Pengendalian suhu secara manual atau konvensional dapat mengakibatkan fluktuasi suhu dan kesalahan yang banyak, yang berdampak pada kualitas produk hasil distilasi. Oleh karena itu, desain sistem pengendalian suhu otomatis menggunakan kontroler elektronik dalam mode pengendalian tertutup, yang memberikan nilai setpoint dan umpan balik, memungkinkan untuk mengontrol dan mengendalikan sistem dengan tepat [2].

Berdasarkan kondisi tersebut, permasalahan yang timbul adalah bagaimana membuat alat pengendali suhu otomatis untuk proses pemanasan. Alat ini dapat digunakan selama proses distilasi untuk mengurangi tingkat kesalahan dan menjaga suhu sesuai keinginan [3].

Untuk proses distilasi, dua jenis larutan dicampur, yaitu etanol dengan titik didih 78°C dan air. SCADA dibutuhkan untuk memantau, mengontrol, dan mengumpulkan data dari pabrik. Sensor termokopel digunakan untuk mengukur suhu, dan data tersebut diproses oleh PLC dengan kontrol PID[4].

## 2. Metode

### 2.1. Distilasi

Distilasi merupakan teknik pemisahan campuran yang berdasarkan perbedaan tingkat volatilitas (kemudahan suatu zat untuk menguap) pada suhu dan tekanan tertentu. Inti dari proses distilasi adalah perbedaan titik didih cairan pada tekanan spesifik. Setelah campuran menguap, langkah selanjutnya adalah pendinginan dan pengembunan. Zat dengan titik didih lebih rendah akan menguap terlebih dahulu, sementara zat dengan titik didih lebih tinggi akan mengembun dan menguap setelah mencapai titik didihnya[5]-[8].

Ada beberapa jenis distilasi. Pertama adalah distilasi sederhana, yang merupakan teknik pemisahan kimia untuk memisahkan dua atau lebih bagian dengan titik didih yang signifikan; kedua adalah distilasi bertingkat, yang memisahkan dua atau lebih bagian dengan titik didih yang mirip; dan terakhir adalah distilasi azeotrop, yang memisahkan campuran azeotrop, yang merupakan campuran dua atau lebih bagian yang sulit dipisahkan. Dalam proses ini, seringkali senyawa tambahan digunakan untuk membantu pemisahan[9]-[12].

Distilasi uap memisahkan zat senyawa cair yang tidak larut dalam air. Distilasi uap dapat digunakan untuk mengekstrak beberapa produk alami, seperti minyak eukaliptus, minyak jeruk, atau minyak dari berbagai tumbuhan lainnya. Distilasi uap juga dikenal sebagai distilasi vakum untuk campuran air dengan senyawa yang tidak larut dalam air.

Untuk memisahkan dua bagian dengan titik didih yang sangat tinggi, tekanan atmosfer dikurangi menjadi 1 atm, sehingga titik didihnya menjadi lebih rendah. Selama proses ini, suhu yang digunakan untuk distilasi tidak terlalu tinggi.

### 2.2. Heater

Dalam alat ini, elemen pemanas air digunakan, suatu elemen pemanas yang dapat meningkatkan suhu air di sekitarnya.

\*Korespondensi: anang.dasa@polinema.ac.id

a) Prodi Teknik Listrik, Jurusan Teknik Elektro, Polinema.  
Jalan Soekarno-Hatta No. 9 Malang 65141

Peralatan ini biasanya terbuat dari rangka metal (rangka metal) yang dilapisi pada bagian dalamnya untuk mengisolasi panas agar tidak terbuang[13]-[15].

**2.3. Thermocouple**

Sensor *Thermocouple* adalah salah satu jenis sensor suhu yang paling sering digunakan, hal ini dikarenakan rentang suhu operasional Thermocouple yang luas yaitu berkisar -200°C hingga lebih dari 2000°C dengan harga yang relatif rendah. Thermocouple pada dasarnya adalah sensor suhu Thermo-Electric yang terdiri dari dua persimpangan (junction) logam yang berbeda. Salah satu Logam di Thermocouple dijaga di suhu yang tetap (konstan) yang berfungsi sebagai junction referensi sedangkan satunya lagi dikenakan suhu panas yang akan dideteksi.

**2.4. Sistem Kontrol**

Salah satu jenis sensor suhu yang paling sering digunakan adalah termokopel, yang pada dasarnya adalah sensor suhu termoelektrik dengan dua persimpangan (junction) logam yang berbeda. Salah satu logam di dalam termokopel dijaga pada suhu yang konstan (konstan), yang berfungsi sebagai persimpangan referensi sementara yang lain dijaga pada suhu yang lebih rendah (lebih dari 2000°C)..

**2.5. Metode Tuning PID Ziegler-Nichols**

Proses pengaturan parameter PID kontroler diperlukan untuk mendapatkan komposisi KP, KI, dan KD yang ideal atau ideal sehingga respons sistem sesuai dengan keinginan kita. Salah satu contoh pengaturan PID yang sering digunakan adalah Ziegler-Nichols. Tuning ini dilakukan untuk proses kontrol, bukan untuk proses pengawasan. Akibatnya, kontroller dengan nilai parameter yang telah ditetapkan dari hasil proses pengaturan yang didasarkan pada prosedur Ziegler- Nichols ini sangat baik dalam proses penghilangan gangguan, tetapi sangat buruk dalam mengawasi perubahan referensi. Merode ini terdiri dari dua kategori: rangkaian terbuka (open loop) dan rangkaian tertutup..

**2.6. Programmable Logic Controller (PLC)**

Programmable Logic Controller (PLC) adalah sebuah perangkat elektronik yang dibangun dari mikroprosesor untuk mengontrol suatu proses atau mesin. Proses yang dikontrol ini dapat berupa regulasi variabel secara kontinu seperti pada sistem-sistem konveyor, dan lain sebagainya, PLC akan mengoperasikan semua sistem yang memiliki output device yang menjadi ON ataupun Off. Juga dapat mengoperasikan segala system dengan variable output. PLC dapat dioperasikan pada sisi input dengan perlatan ON-OFF (switch) atau dengan peralatan variable input.

**2.7. Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA)**

PLC adalah perangkat elektronik yang dibuat oleh mikroprosesor dan digunakan untuk mengontrol proses atau mesin tertentu. Proses yang dapat dikontrol termasuk regulasi variabel secara terus menerus, seperti pada sistem konveyor, dan lain-lain. PLC juga dapat mengoperasikan semua sistem yang memiliki output perangkat ON atau OFF, dan juga dapat mengoperasikan semua sistem dengan variable output. PLC dapat dioperasikan pada sisi input daripada CPU.

**3. Hasil dan Pembahasan**

**3.1. Langkah –langkah Perancangan**

Bagan alir berikut menunjukkan skema pelaksanaan tahap persiapan: 1. Melakukan penelitian dan pembelajaran lebih lanjut tentang sistem yang dibahas dalam penelitian ini dengan metode: Membaca literatur tentang topik tersebut, seperti artikel, makalah,

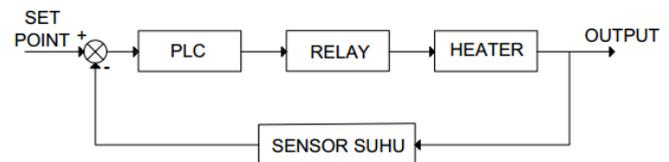
jurnal, karya tulis, dan buku-buku yang berkaitan dengan proses destilasi, kontrol PID, sensor suhu, kompor pemanas (heater), pengendali program logika (PLC), dan pengendali pengawasan dan pengendalian.

Membuat perancangan sistem yang terdiri dari tiga bagian: a. Desain proses destilasi. Desain proses dengan labu destilasi, pemanas (heater), pendingin kipas, dan pemasangan thermocouple sensor[16]-[18].

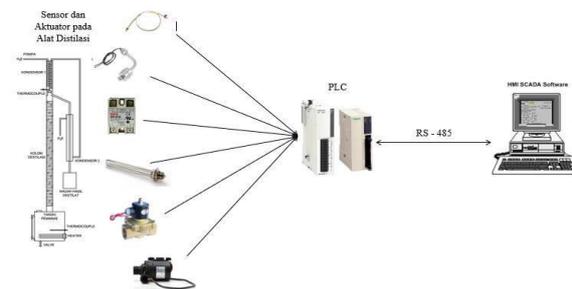
Perangkat Keras: Membangun sensor dan actuator dengan PLC, termasuk ekspansinya, dan menyambungkannya ke PC atau laptop. c. Perangkat Lunak: Membuat program untuk PLC dan desain HMI pada PC atau Laptop sehingga sistem yang ada dapat berfungsi dengan baik.

Langkah terakhir adalah menguji sistem secara keseluruhan untuk memastikan bahwa itu bekerja dengan baik dan menghasilkan hasil yang diinginkan.

**3.2. Blok Diagram Sistem**



**GAMBAR 3.1 BLOK DIAGRAM SISTEM**



**GAMBAR 3.2 SINGLE LINE DIAGRAM SISTEM**

Sistem alat destilasi ini bekerja dengan cara berikut: ketika tombol ON di panel HMI ditekan, sistem akan aktif, yang berarti sistem aktif secara keseluruhan. Kemudian masukkan nilai parameter PID dan titik didih pada HMI sesuai dengan titik didih bahan. Misalnya, untuk etanol, nilai titik didih dikurangkan menjadi 80–85oC. Float switch akan mendeteksi apakah ada bahan cair di dalam tangki pemanas saat sistem pemanasan dimulai dengan menekan tombol START pada SCADA. Jika tangki pemanas kosong, pemanas tidak dapat diaktifkan. Jika float switch mendeteksi adanya bahan, pemanas akan mulai aktif untuk memanaskan bahan tersebut. Selanjutnya, suhu tangki pemanas akan diukur oleh sensor suhu thermocouple..

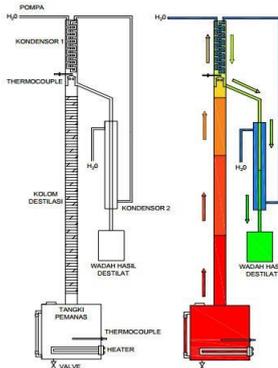
Jika sensor suhu thermocouple di tangki destilasi menunjukkan suhu 50oC, pompa pendingin atau kondensor akan mulai bekerja. PLC memiliki kontrol PID yang mengontrol kestabilan suhu pada titik yang telah dimasukkan. Hasil kontrol PID PLC dikeluarkan sebagai output digital, yang dimasukkan ke driver pemanas atau relay solid state (SSR) untuk mengontrol daya pemanas.

Proses akan berlanjut hingga nilai set point yang diinginkan dicapai. Setelah mencapai nilai tersebut, kontrol PLC akan mempertahankannya hingga sistem menghasilkan ethanol yang

diinginkan. Selector Switch menguras bahan dalam tangki. Selain itu, sistem akan mati ketika tombol OFF ditekan. SCADA memungkinkan operator untuk melihat dan mengontrol semua proses yang dijelaskan. Dengan adanya SCADA, operator dapat melihat proses seperti sistem kontrol suhu pada tangki pemanas alat destilasi secara real time.

### 3.3. Perancangan Mekanik

Pada perancangan mekanik dibagi menjadi 3 bagian yaitu pembuatan tangki pemanas, kolom distilasi dan kondensor. Desain perancangan mekanik secara keseluruhan dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



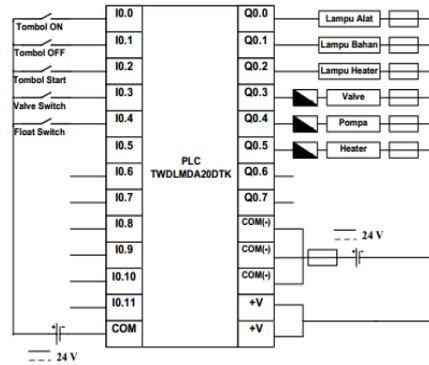
GAMBAR 3.3 DESAIN 2D ALAT DESTILASI



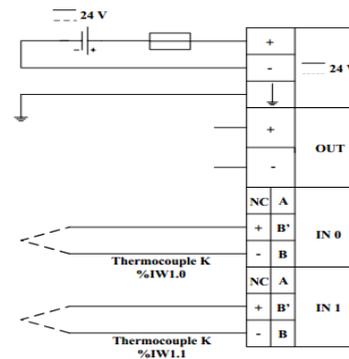
GAMBAR 3.4 PHOTO ALAT DESTILASI

### 3.4. Perakitan PLC dan Koneksi SCADA

Untuk PLC dan SCADA, program dirancang menggunakan Twido Suite dan Vijeo Designer. Rangkaian sensor suhu, sensor level air, pompa, valve, driver pemanas, dan pemanas dihubungkan ke I/O PLC. Gambar 3.4 menunjukkan diagram wiring sistem.



GAMBAR 3.5 WIRING DIAGRAM PLC



GAMBAR 3.6 WIRING INPUT ANALOG (EXPANSION)

### 3.5. Pengujian Alat Sensor Suhu

Pengujian sensor suhu thermocouple dilakukan dengan membandingkan hasil sensor suhu yang ditunjukkan pada komputer atau laptop dengan hasil alat ukur thermometer. Pengujian dilakukan dengan mengubah nilai suhu setiap 10 °C. Hasil pengujian ini dapat dilihat dalam tabel berikut.

TABEL 3.1 TABEL PENGUJIAN SENSOR SUHU

No.	Suhu	Pengukuran Tegangan Sensor Thermocouple (mV)	Nilai Sensor Thermocouple yang Terbaca	Nilai Thermometer	Error (%)
1	30	0,1	300	29	3,45
2	40	0,3	400	38,8	3,12
3	50	0,69	500	49	2,04
4	60	1,1	600	58,5	2,56
5	70	1,5	700	69	1,45
6	80	1,91	800	78	2,56

Hasil pengujian sensor suhu thermocouple cukup akurat dan sesuai, sehingga dapat menghasilkan kinerja yang baik. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa hasilnya cukup akurat dan sesuai, dan nilai error rata-ratanya tidak lebih dari 5%.

### 3.6. Pengujian Alat Heater dan Driver Heater

Pengujian yang dilakukan pada driver pemanas dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui seberapa baik driver berfungsi dalam mengatur penyalaan pemanas. Untuk melakukan pengujian rangkaian driver heater ini, kontak driver AC dihubungkan ke sumber AC. Input driver heater diperoleh dari output PID, yang

merupakan tegangan DC dari PLC. Kemudian, tegangan DC diukur pada kontak input driver. Kemudian, daya yang dikeluarkan dicatat pada output driver dalam bentuk satuan presentasi.

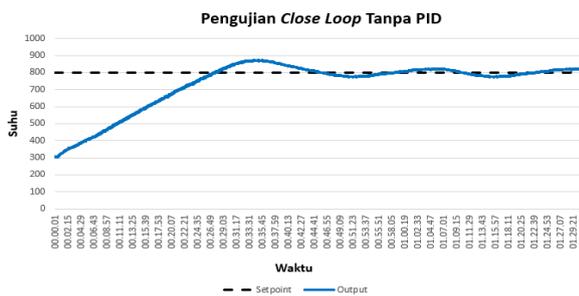
TABEL 3.2 TABEL PENGUJIAN HEATER

No.	Inpur Driver Heater (%)	Nilai Output yang Terbaca Pada PLC	Tegangan Output PLC (V) / Input SSR	Tegangan Heater (V) / Ouput SSR	Arus Heater (A)
1	10	1000	1,7	98	0,3
2	20	2000	3,4	131	0,5
3	30	3000	4,6	146	0,7
4	40	4000	6,9	162	1
5	50	5000	8,7	178	1,2
6	60	6000	11,4	186	1,4
7	70	7000	14,4	197	1,6
8	80	8000	17,3	208	1,8
9	90	9000	21,6	215	2
10	100	10000	23,8	218	2,2

Menurut tabel 3.2 pengujian heater dan driver heater, jelas bahwa semakin besar tegangan yang diberikan pada SSR akan menyebabkan heater bekerja secara maksimal. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa tegangan yang diterima SSR, yang berbeda sesuai dengan presentase yang dihasilkan dari output PID, akan menghasilkan jumlah daya yang lebih kecil yang dapat digunakan untuk menyalakan heater.

3.7. Pengujian Kontrol PID Kontrol Close Loop

Untuk menentukan nilai dari PID pada sistem yang tidak diketahui persamaannya, perlu dilakukan pengujian untuk mendapatkan nilai persamaan pada sistem. Perancangan PID dilakukan untuk menentukan nilai Kp, Ti dan Td dari plant yang terkontrol dalam hal ini adalah heater. Perancangan dilakukan dengan memberi masukan berupa unit step pada plant sehingga didapatkan respon sistem dari umpan balik yang diperoleh dari pembacaan sensor suhu.



GAMBAR 3.7 RESPON SISTEM KOTROL CLOSE LOOP TANPA PID

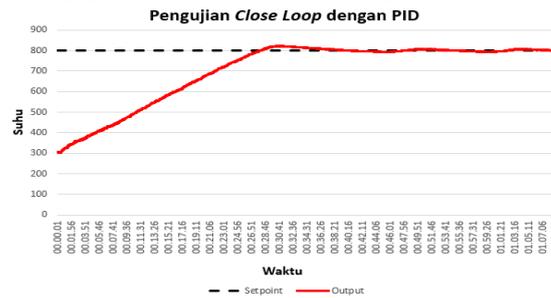
TABEL 3.3 KARAKTERISTIK RESPON SISTEM TANPA PID

Karakteristik Respon	Tanpa PID
Rise time (Tr)	27 Menit atau 1.620
Peak Time (Tp)	33 Menit atau 1.980
Percent Overshoot (PO)	8,5 %
Setling time (Ts)	57 Menit atau 3.420

% Error Steady State Atas (ESS)	2,5 %
% Error Steady State Bawah (ESS)	2,12 %

Berdasarkan grafik dan tabel pengujian jika sistem tidak diberi konfigurasi PID maka nilai output akan melebihi setpoint sebesar 86,8°C atau mengalami overshoot yang cukup sebesar yaitu 8,5%. Ketika sistem diberi PID maka nilai output stabil mendekati nilai setpoint dan tidak mengalami overshoot. Waktu untuk output mencapai nilai setpoint 80°C hampir sama yaitu membutuhkan waktu sekitar 25 hingga 30 menit untuk mencapai setpoint.

3.8. Pengujian Kontrol Close Loop Dengan PID ZN



GAMBAR 3.8 RESPON SISTEM KOTROL CLOSE LOOP TANPA PID

TABEL 3.4 KARAKTERISTIK RESPON SISTEM MENGGUNAKAN PID

Karakteristik Respon	Dengan PID
Rise time (Tr)	25 Menit atau 1.500 S
Peak Time (Tp)	28 Menit atau 1.680 s
Percent Overshoot (PO)	2,5 %
Setling time (Ts)	42 Menit atau 2.520 S
% Error Steady State Atas (ESS)	0,25 %
% Error Steady State Bawah (ESS)	0,75 %

Berdasarkan grafik dan tabel diatas dapat dilihat bahwa dengan menggunakan sistem PID maka sistem menjadi lebih baik, nilai waktu rise time, setling time lebih cepat, overshoot dan error steady state dari respon lebih bagus dibanding tanpa PID. Dengan menggunakan sistem PID suhu output yang dihasilkan lebih stabil berkisar di suhu 79-81°C dengan setpoint yang ditentukan adalah 80°C. Sistem yang menggunakan PID juga memiliki error steady state lebih kecil yaitu tidak melebihi 1%.

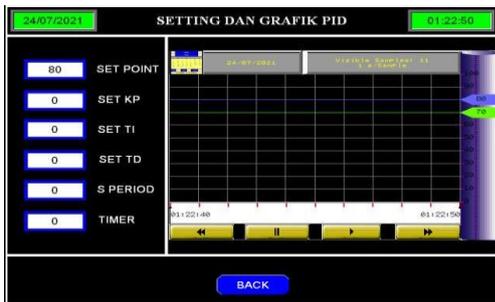
3.9. Desain SCADA Alat Distilasi

Pada alat distilasi ini menggunakan SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) sebagai monitoring sistem dan juga dapat digunakan untuk mengkontrol alat tersebut. Pembuatan desain SCADA ini menggunakan software Vijeo Designer. SCADA pada prototipe ini memiliki 2 layer. Pada layer pertama terdapat gambar alat atau visualisasi alat yang terdiri dari tangki pemanas, kolom distilasi, kondensor dan komponen lainnya. Terdapat tombol dan lampu indikator yang mewakili setiap fungsi tertentu sesuai dengan konfigurasi yang telah dilakukan. Lampu indikator berfungsi sebagai indikasi bahwa komponen sedang berada pada kondisi aktif. Pada layer ini juga terdapat nilai hasil dari pembacaan thermocouple 1 dan 2. Berikut tampilan layer pertama.



GAMBAR 3.9 TAMPILAN SCADA LAYER 1

Di layer 2 berisi pengaturan PID, pada layer ini berguna untuk memasukkan nilai *set point* dan parameter Kp, Ti, Td. Layer ini juga berisikan tampilan grafik suhu yang dibaca oleh *thermocouple*. Terdapat tombol *back* untuk kembali ke layer pertama.



GAMBAR 3.10 TAMPILAN SCADA LAYER 2

### 3.10. Pengujian Kinerja Sistem Keseluruhan

Pengujian kinerja sistem keseluruhan dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kinerja alat distilasi berfungsi dengan baik atau tidak dan mengetahui apakah kandungan ethanol sesuai dengan yang diharapkan. Pengujian ini dilakukan 3 kali pengujian dengan bahan ethanol dicampur dengan air dengan kadar ethanol hanya 20%.

- A. Pengujian pertama dilakukan dengan memasukkan nilai *set point* 80°C dan menggunakan kontroller tanpa PID. Berdasarkan hasil pengujian yang pertama didapatkan hasil yang kurang maksimal. Kandungan ethanol ketika diukur menggunakan hydrometer alkohol mecapai angka 79% dan membutuhkan waktu pertama menetes sekitar 1 jam dari awal pemanasan kemudian dapat mencapai 100ml dengan waktu sekitar 2,5 jam. Untuk energi listrik yang terpakai adalah 0,562 KWh.
- B. Pengujian kedua dilakukan dengan memasukkan nilai *set point* 80°C dan menggunakan kontroller PID. Berdasarkan hasil pengujian yang kedua didapatkan hasil yang bagus. Kandungan ethanol ketika diukur menggunakan hydrometer alkohol dapat mecapai angka 88% dan membutuhkan waktu pertama menetes sekitar 1 jam dari awal pemanasan kemudian dapat mencapai 100ml dengan waktu sekitar 2,5 jam. Untuk energi listrik yang terpakai adalah 0,599 KWh.
- C. Pengujian ketiga dilakukan dengan memasukkan nilai *set point* 90°C dan menggunakan kontroller menggunakan PID. Berdasarkan hasil distilasi yang telah dihasilkan pada pengujian yang ketiga, didapatkan hasil yang kurang maksimal. Kandungan ethanol ketika diukur menggunakan hydrometer alkohol hanya mecapai angka 70% dan membutuhkan waktu pertama menetes sekitar 1 jam dari awal pemanasan kemudian dapat mencapai 100ml lebih cepat yaitu sekitar 2

jam. Untuk energi listrik yang terpakai adalah 0,516 KWh.

TABEL 3.5 PENGUJIAN KINERJA SISTEM

No	Deskripsi	Set Point (°C)	Kadar Ethanol Bahan (%)	Waktu 100 ml Distilasi (Jam)	Hasil Distilasi Ethanol (%)	Energi yang Terpakai (KWh)
1	Dengan Kontr	80	20	2,23	79	0,562
2	Dengan Kontroller	80	20	2,41	88	0,599
3	Dengan Kontroller	90	20	2	70	0,516

Berdasarkan tabel 4.4 sistem dengan pengujian kedua yaitu dengan menggunakan parameter PID pada *set point* 80° memiliki hasil distilasi yang lebih baik dengan kadar ethanol 88% tetapi memiliki waktu yang lama yaitu 2,41 jam untuk menghasilkan 100 ml ethanol dan energi yang terpakai paling banyak hampir mencapai 0,6 KWh. Untuk pengujian pertama yaitu tanpa PID memiliki waktu lebih cepat tetapi hasil kadar ethanol 79% dan pada pengujian ketiga dengan menggunakan parameter PID pada *set point* 90° memiliki waktu paling cepat tetapi memiliki kadar ethanol paling rendah karena banyak air yang ikut menguap.

### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan pada sistem pengaturan suhu alat distilasi, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

Pengaruh nilai PID pada sistem adalah kontrol proporsional yang semakin besar akan mengurangi nilai *overshoot* tetapi memperlambat *rise time*. Untuk kontrol integral berfungsi untuk menghilangkan nilai *error steady state* tetapi jika terlalu besar akan mengakibatkan sistem tidak stabil atau berosilasi sedangkan untuk kontrol diferensial berfungsi untuk mengurangi nilai *overshoot*. Berikut respon sistem dan *output* hasil dari pengujian alat distilasi: Berdasarkan perhitungan percobaan dan perhitungan PID dengan menggunakan metode *Ziegler Nichols* maka didapatkan nilai  $K_p = 5188$ ,  $T_i = 182$  dan  $T_d = 457$ . Dengan memasukkan nilai PID tersebut maka sistem akan berjalan lebih stabil dibanding tidak menggunakan PID yang memiliki waktu *rise time* 25 menit, *Peak Time* 28 menit, *percent overshoot* 2,5 %, *Settling time* 42 menit dan *error steady state* tidak melebihi 1 %. Saat pengujian *Close Loop* tanpa PID memberikan respon yang kurang stabil karena memiliki nilai *percent overshoot* mencapai 8,5 %, *error steady state* mencapai 2 – 2,5 % dan menghasilkan kadar ethanol 70% Sehingga, kontrol tanpa PID tidak dapat diaplikasikan dalam alat kontrol suhu pada alat distilasi. Ketika pengujian *Close Loop* menggunakan PID dengan metode *Ziegler Nichols* dapat memberikan respon yang lebih baik dan mampu menjaga suhu sesuai dengan *set point* dengan nilai *percent overshoot* hanya 2,5 %, *error steady state* tidak melebihi 1 % dan menghasilkan kadar ethanol 88%. Meskipun untuk energi listrik yang terpakai 0,599 KWh, lebih banyak dibanding percobaan *close loop* tanpa PID yaitu 0,562 KWh. Perbedaan tersebut dikarenakan lamanya sistem pemanasan.

---

**Referensi**

- [1] Akbar Putra Pratama. (2020). Desain SCADA Untuk Prototipe Temperature Control Menggunakan Controller PLC Dengan Algoritma PID. Polinema.
- [2] Eka Candra Wijaya, Iwan Setiawan, ST. MT, Wahyudi, ST. MT. (2015). Auto Tuning PID Berbasis Metode Osilasi Ziegler-Nichols Menggunakan Mikrokontroler AT89S52 pada Pengendalian Suhu. Universitas Diponegoro.
- [3] Fatimura Muhrinsyah. (2014). Tinjauan Teoritis Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Operasi Pada Kolom. Universitas PGRI Palembang.
- [4] Tito Rano Pradibto & Kusworo Adi. (2015). Otomasi Sistem Destilasi Menggunakan PLC Omron CP1H dan Kontrol Suhu Dengan Kendali Auto Tuning PID Dalam Penampil SCADA. Universitas Diponegoro.
- [5] Rapiyanto, P. T., 2011, *Pengatur Suhu Destilator pada Proses Destilasi Bio-Ethanol Berbasis Kendali Proporsional Menggunakan PLC Omron CPM2a*, Thesis, Pasca Sarjana Teknik Elektro, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- [6] 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.
- [7] Ogata, K. (1997). Teknik Kontrol Automatik (Vol. 1). (E. Leksono, Penerj.) Bandung: Erlangga.
- [8] Ogata, K. (1997). Modern Control Engineering (Vol. 2). (E. Leksono, Penerj.) Bandung: Erlangga.
- [9] Karaghpur, 2009, *Industrial Automation and Control*, Indian Institute of Technology, New Delhi.
- [10] D. I. P. F. Pamungkas and R. Stighfarrinata, "Pengaturan Rasio Zat Penjernih Air menggunakan PLC (Programmable Logic Controller) pada Water Treatment di Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Minyak dan Gas Bumi (PPSDM MIGAS) CEPU," *Jurnal Teknologi dan Manajemen Sistem Industri*, vol. 1, no. 1, pp. 1–6, 2022.
- [11] A. D. Novfowan, M. Mieftah, W. Kusuma, and S. Nurhadi, "Power Line Carrier (PLC) sebagai Media Pendeteksi Fasa Pelanggan Tegangan Rendah," *Elposys: Jurnal Sistem Kelistrikan*, vol. 10, no. 3, pp. 154–159, 2023.
- [12] Z. Yang, L. He, H. Yu, C. Zhao, P. Cheng, and J. Chen, "Detecting PLC intrusions using control invariants," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 9, no. 12, pp. 9934–9947, 2022.
- [13] M. N. Hidayat, E. C. Nursal, F. Ronilaya, and M. F. Hakim, "Perencanaan Control Valve Pada Head Tank PLTA Tulungagung Menggunakan PLC," *Elposys: Jurnal Sistem Kelistrikan*, vol. 10, no. 2, pp. 130–135, 2023.
- [14] JN. Alam and T. Hidayat, "Implementation of a Temperature Measurement System for Transferring Image Patterns to Copper Boards in PCB Making," *SAINSTECH: JURNAL PENELITIAN DAN PENGKAJIAN SAINS DAN TEKNOLOGI*, vol. 31, no. 1, pp. 8–13, 2021.
- [15] D. Schwung, S. Yuwono, A. Schwung, and S. X. Ding, "Decentralized learning of energy optimal production policies using PLC-informed reinforcement learning," *Computers & Chemical Engineering*, vol. 152, p. 107382, 2021.
- [16] J. Oeing, L. M. Neuendorf, L. Bittorf, W. Krieger, and N. Kockmann, "Flooding prevention in distillation and extraction columns with aid of machine learning approaches," *Chemie Ingenieur Technik*, vol. 93, no. 12, pp. 1917–1929, 2021.
- [17] J. A. Común-Apolinario, A. D. Santos-Gutiérrez, and D. Huamanchahua, "Design of an Essential Oil Extraction Machine Using PLC and Solar Energy," in *2022 2nd International Conference on Computers and Automation (CompAuto)*, IEEE, 2022, pp. 12–16.
- [18] J. Oeing, L. Neuendorf, L. Bittorf, W. Krieger, and N. Kockmann, "Machine and Deep Learning Approaches for Flooding Prevention in Distillation and Extraction Columns," *Authorea Preprints*, 2020.