

Kendali Suhu Otomatis pada Proses Distilasi Batang Sereh menggunakan Metode PID

Achmad Kusairi Sam^{1*}, Ahmad Sahru Romadhon²,
Vivi Tri Widyaningrum³, Denisa Putri Ayu Lestari⁴

^{1,2,3,4} Teknik Mekatronika Universitas Trunojoyo Madura, Indonesia
Jl. Raya Telang, Kec. Kamal, Kabupaten Bangkalan, Jawa Timur 69162
*Email : kusairisam@trunojoyo.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.52620/sainsdata.v3i2.204>

Abstrak

Kebutuhan manusia dengan bahan bakar tidak akan bisa dipisahkan dan akan selalu bertambah kebutuhannya. Jika kebutuhan akan bahan bakar terus berlanjut, krisis bahan bakar di masa depan tidak dapat dihindarkan. Ketergantungan manusia pada bahan bakar fosil mendorong pengembangan energi terbarukan, salah satunya melalui proses distilasi. Namun, suhu tabung distilasi dan kondensor harus dikontrol dengan ketat untuk memastikan efisiensi proses. Suhu yang terlalu tinggi pada tabung distilasi (lebih dari 90 °C) dapat menurunkan kualitas hasil penyulingan, sedangkan suhu air hasil sirkulasi kondensor sebesar 25 °C untuk mendukung proses kondensasi yang optimal. Dengan demikian solusi yang diberikan adalah dengan merancang kendali suhu otomatis pada proses distilasi. Penelitian ini menggunakan *autonics* TC4S sebagai regulator temperatur dari proses distilasi yang dihubungkan dengan sensor RTD dan pada kondensor menggunakan sensor suhu DS18B20 serta pompa DC. Suhu pada distilasi akan dijaga kestabilannya pada rentang suhu 85 °C - 90 °C, sedangkan pada air hasil sirkulasi kondensor jika suhu mencapai 35 °C maka akan didinginkan hingga mencapai suhu 25 °C. Hasil pada akan membandingkan hasil distilasi menggunakan metode dan tanpa metode (manual). Setelah dilakukan pengujian hasil menunjukkan bahwa kuantitas minyak yang dihasilkan dengan metode sebesar 500 ml, sedangkan tanpa metode 170 ml. Parameter PID yang digunakan sebesar K_p 0,1, K_i 2,1, dan K_d 0.4 pada TC4S dan K_p 7, K_i 2, dan K_d 4 pada sensor DS18B20.

Kata kunci: Distilasi, Kondensor, TC4S, Sensor DS18B20, Sensor RTD, PID.

PENDAHULUAN

Berdasarkan data dari Kementerian ESDM RI, konsumsi energi tertinggi berasal dari bahan bakar fosil dengan tingkat konsumen hampir mencapai 95%. Sekitar 50% dari tingkat konsumsi tersebut berasal dari Bahan Bakar Minyak (BBM). Data Kementerian ESDM RI juga menjelaskan, pada tahun 2036 batu bara akan mengalami kepunahan dikarenakan saat ini Indonesia hanya memiliki cadangan batu bara sekitar 7,3–8,3 miliar ton. Demikian pula dengan cadangan minyak bumi yang sekarang tinggal 4,7 miliar barel dan diprediksi akan habis pada tahun 2028. Bahkan untuk bahan bakar gas diperkirakan akan lebih cepat lagi habis yaitu pada tahun 2027 (Wiratmaja, 2020).

Distilasi merupakan proses pemurnian campuran cair berdasarkan titik didih, yang dalam penelitian ini digunakan untuk menghasilkan minyak sereh sebagai bahan bakar terbarukan. Keberhasilan proses distilasi sangat dipengaruhi oleh kestabilan suhu dan tekanan uap, karena kedua faktor ini menentukan kualitas molekul yang dihasilkan. Suhu yang optimal, yakni dalam rentang 85–90°C, menjadi kunci utama keberhasilan proses, di mana tekanan uap turut meningkat seiring bertambahnya suhu. Untuk menjaga efisiensi dan stabilitas suhu, digunakan pengontrol suhu otomatis yang mengatur intensitas api pada kompor secara dinamis, memastikan suhu tidak melebihi batas optimal dan menjaga proses berjalan dengan baik (Fitrah, et al. 2020).

Alat ini menggunakan *temperature controller Autonics* TC4S dengan algoritma PID untuk mengontrol suhu distilasi, dilengkapi sensor RTD yang mengubah suhu menjadi resistansi listrik dan motor servo driven valve untuk mengatur bukaan gas LPG saat pembakaran. Suhu air hasil kondensasi diukur menggunakan sensor DS18B20, dengan sirkulasi air yang diatur melalui pompa DC yang menghubungkan dua ember sebagai



sistem pendingin. Metode PID digunakan untuk menjaga suhu distilasi sesuai titik didih dan memastikan kondensor tetap dingin. Alat ini diharapkan dapat membantu masyarakat mengembangkan energi terbarukan dengan proses distilasi yang lebih efisien (Novfowan, et al. 2024).

Tinjauan Pustaka

Distilasi

Distilasi adalah metode pemisahan campuran berdasarkan perbedaan titik didih dan tekanan uap. Pada distilasi, campuran heterogen terdiri dari satu fasa yang diproses melalui menara distilasi vertikal, terdiri dari kondensor di atas, reboiler di bawah, dan *plate/tray/packing* sepanjang menara. Proses distilasi melibatkan penguapan dan pengembunan berulang melalui pertukaran panas di kondensor, reboiler, dan kontak uap-cair. Bahan hasil fermentasi dipanaskan hingga menguap, kemudian didinginkan di kondensor menjadi cairan. Menara distilasi terbagi menjadi dua bagian utama: *enriching section* di bagian atas untuk mencuci cairan dari komponen kurang volatil, dan *stripping section* di bagian bawah untuk memisahkan volatil melalui penguapan parsial di reboiler (Budiman, 2016).

Temperature Control TC4S

Temperature control adalah perangkat yang membaca data dari sensor, membandingkannya dengan nilai setpoint, dan menghasilkan deviasi untuk perhitungan metode kontrol, seperti ON-OFF, P, PI, PD, atau PID. *Temperature control* TC4S membutuhkan daya 24VAC dan mendukung sensor tipe RTD (JPT 100, CU 100, dll.) serta *thermocouple* (K, J, E, dll.). Perangkat ini mendukung aktuator seperti *relay electromechanics* untuk ON-OFF dan *solid-state relay* (SSR) untuk metode ON-OFF, P, PI, dan PID. Output kontrol meliputi sinyal ON-OFF, siklus, atau fase, dengan kemampuan menampilkan *set value* (SV) dan *process value* (PV) (Tadeus, 2018).

Sensor DS18B20

DS18B20 adalah sensor suhu digital dengan ketelitian 9–12 bit, rentang pengukuran suhu -55°C hingga 125°C, dan tegangan kerja 3–5,5V. Sensor ini memiliki kode unik 64-bit pada setiap chip, memungkinkan penggunaan skala besar dengan satu kabel tanpa komponen tambahan. DS18B20 mendukung fitur alarm dan identifikasi sensor dengan suhu di luar batas, serta tersedia dalam dua jenis casing standar dan anti air (Suryana, 2021).

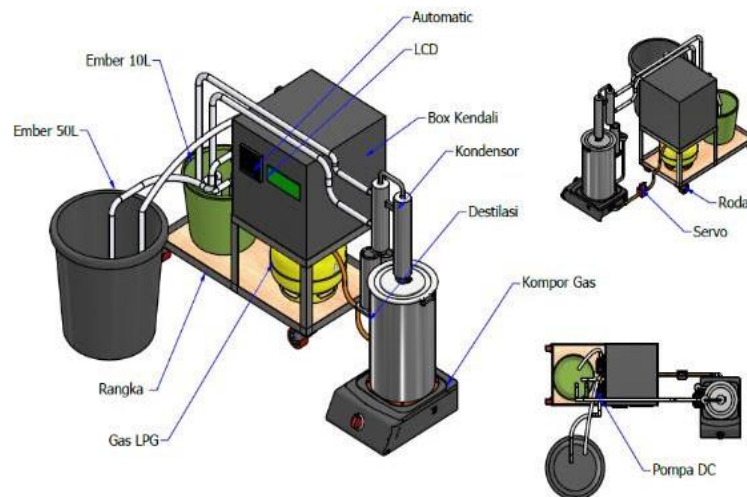
Sensor RTD

Sensor suhu RTD berfungsi mengubah suhu menjadi resistansi listrik yang meningkat sebanding dengan kenaikan suhu. Sensor ini memiliki keunggulan akurasi tinggi, respons cepat, dan perubahan sinyal yang linier, meskipun harganya relatif mahal dan jangkauannya terbatas. Dengan daya tahan tinggi dan ketahanan suhu yang baik, sensor RTD cocok digunakan dalam kontrol suhu distilasi (Setiamukti, et.al. 2020).

METODE

Desain Mekanik

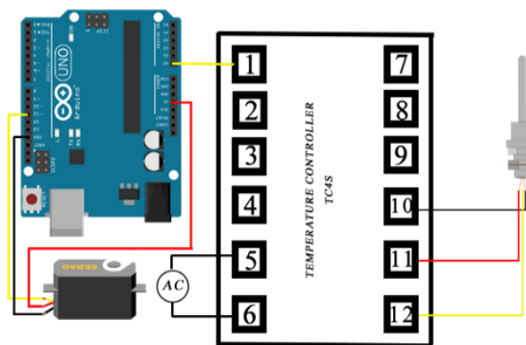
Perancangan sistem kontrol ini dirancang berdasarkan relevansi dan kegunaan komponen yang digunakan. Perancangan ini dibuat berdasarkan keefektifan dan responsivitas pada sistem penggunaan alat. Desain alat ini ditunjukkan pada Gambar 1.



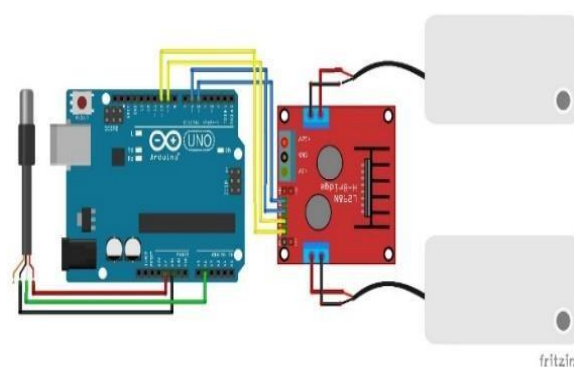
Gambar 1. Desain Mekanik

Rangkaian Utama Sistem

Rangkaian elektronika merupakan rangkaian yang terdiri dari komponen elektronik individual dan dihubungkan oleh kabel konduktif yang dapat dilalui arus listrik (Irvani, et.al 2025). Rangkaian ini dapat dilihat pada Gambar 2. Gambar 2(a) merupakan rangkaian utama sistem distilasi sedangkan Gambar 2(b) merupakan rangkaian utama system kondensor



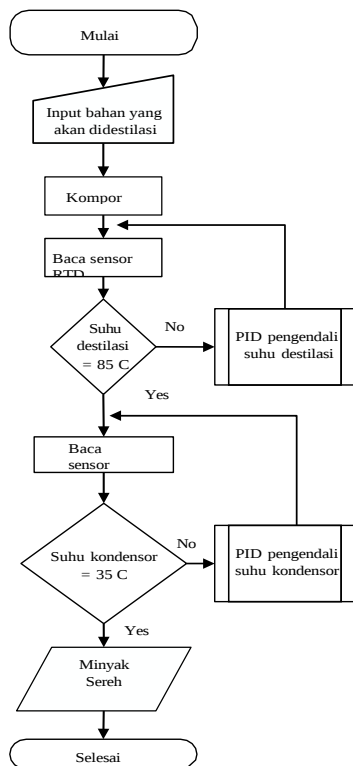
Gambar 2 (a). Rangkaian Utama Sistem Distilasi



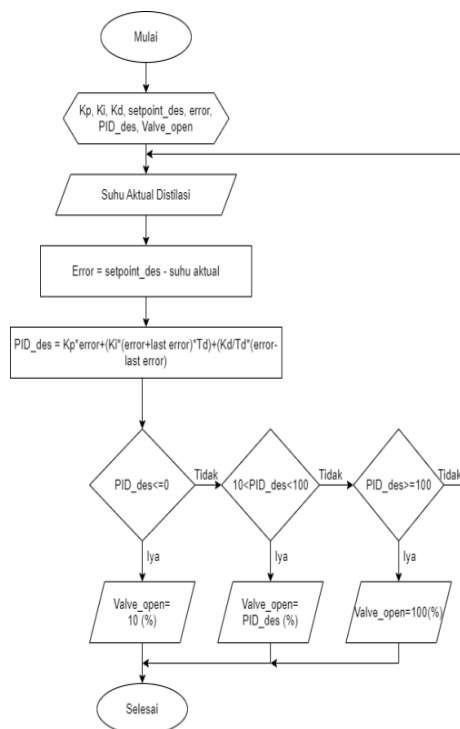
Gambar 2 (b). Rangkaian Utama Sistem Kondensor

Flowchart Pengendalian Sistem Kendali Suhu Otomatis

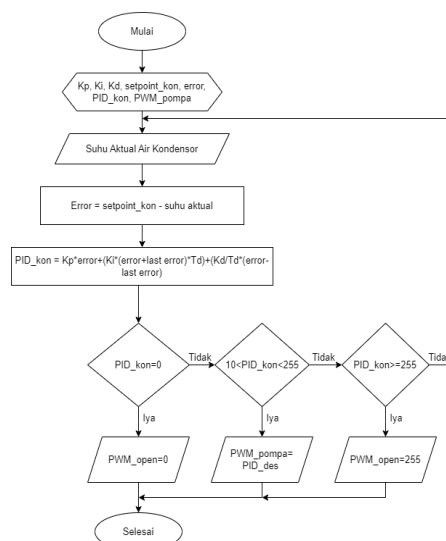
Berikut merupakan *flowchart* pada system yang akan mempermudah Langkah-langkah yang harus dilakukan. Pada penelitian ini ada beberapa *flowchart* yang dijadikan acuan untuk memahami jalannya alat dengan masing-masing kegunaannya. Gambar 3(a) merupakan *flowchart* keseluruhan sistem, sedangkan gambar 3b merupakan *flowchart* PID pengendalian suhu distilasi dan gambar 3c *flowchart* PID pengendali kondensor.



Gambar 3 (a). Flowchart keseluruhan sistem



Gambar 3 (b) Flowchart PID pengendalian suhu distilas



Gambar 3 (c). flowchart PID pengendali kondensor

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengoperasian Alat

Temperature Control TC4S berfungsi untuk mengatur suhu pada proses distilasi (Autonics, n.d.). Pada sistem distilasi ini, Arduino UNO berperan sebagai pemroses data dari hasil pembacaan sensor (Aziz & Ma'arif, 2020). Komponen Servo Driven Control Valve MG996R digunakan untuk mengatur buka tutup aliran gas LPG yang menuju kompor gas (Dwi & Hanifah, 2020). Sensor Resistance Temperature Detectors (RTD) berfungsi untuk mendeteksi suhu pada tabung distilasi (Omega Engineering, n.d.), sedangkan sensor DS18B20 digunakan untuk mengukur suhu cairan pendingin pada kondensor (Sulaiman & Kurniawan, 2021). Modul Driver Motor L298N digunakan untuk mengatur kecepatan pompa dalam rangka menjaga suhu larutan pendingin pada kondensor tetap stabil (Nugroho & Hidayatullah, 2022). Pompa DC berfungsi untuk mengatur perpindahan air antara ember pertama dan ember kedua secara bolak-balik. Seluruh komponen mendapat pasokan tegangan listrik dari power supply, yang kemudian disesuaikan oleh modul step down agar sesuai dengan kebutuhan masing-masing komponen. Parameter-parameter kontrol dari proses distilasi ditampilkan melalui LCD (Liquid Crystal Display) untuk memudahkan pemantauan sistem (Prasetyo & Cahyadi, 2021)..



Gambar 4. Hasil Alat

Sensor suhu DS18B20 akan dihubungkan pada ember kecil yang menerima air dari proses kondensor. Sedangkan TC4S akan dihubungkan dengan sensor RTD. Ketika suhu pada distilasi sudah tinggi maka servo akan bergerak dan mengecilkan api. Seiring berjalannya waktu air pada kondensor akan semakin panas dan sensor suhu DS18B20 akan mendeteksi perubahan suhu, yang akan menyalakan pompa pada ember besar sehingga air dingin pada ember besar akan berpindah pada ember kecil dan suhu kondensor kembali rendah.

Pengujian Sensor DS18B20

Sensor DS18B20 ini digunakan untuk mendeteksi kenaikan suhu yang terjadi pada air dari sirkulasi kondensor. Sensor ini akan diletakkan pada ember kecil, yang Dimana saat air ember kecil panas sensor akan mengirim sinyal pada pompa DC dan akan menggerakkan air dingin sehingga suhu kondensor kembali rendah. Pada Tabel 1 merupakan hasil pengujian dari sensor DS18B20.

Tabel 1. Kalibrasi Sensor DS18B20

Waktu	Suhu Air (°C)	Set Point	Error (%)
1	46,56	25	21,56
2	46	25	21
3	41,38	25	16,37
4	40	25	15
5	37,94	25	12,94
6	37,63	25	12,63
7	36	25	11
8	34,63	25	9,63
9	33,38	25	8,38
10	31,44	25	6,44
11	31,12	25	6,13
12	31,19	25	6,19
13	30,87	25	5,88
14	30,19	25	5,19
15	29,31	25	4,31
16	28,75	25	3,75
17	28,44	25	3,44
18	28,19	25	3,19
19	28	25	3
20	27,69	25	2,69
21	27,25	25	2,25
22	26,81	25	1,81
23	26,5	25	1,5
24	26,19	25	1,19
25	26	25	1
26	25,87	25	0,88
27	25,69	25	0,69
28	25,5	25	0,5
29	25,31	25	0,31
30	25,12	25	0,12
31	24,94	25	0,94
32	24,87	25	0,87
33	24,62	25	0,62
Σ Error			5,9

Pengujian TC4S

Dalam pengujian TC4S ini *setpoint* yang ditentukan adalah 85 °C jadi servo akan bergerak ketika suhu sudah mencapai *setpoint* dan mendapatkan data yang sesuai banyak dilakukan pengkalibrasian untuk mendapatkan hasil yang terbaik berikut data yang dihasilkan dari pengujian akan ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Pengujian TC4S

Waktu	Sudut Servo	Suhu Distilasi
1	SSR is ON (Heating) sudut servo: 0	25
3	SSR is ON (Heating) sudut servo: 0	25
5	SSR is ON (Heating) sudut servo: 0	25
7	SSR is ON (Heating) sudut servo: 0	25
9	SSR is ON (Heating) sudut servo: 0	25
11	SSR is ON (Heating) sudut servo: 0	25
13	SSR is ON (Heating) sudut servo: 0	25
15	SSR is ON (Heating) sudut servo: 0	25
17	SSR is ON (Heating) sudut servo: 0	25
19	SSR is ON (Heating) sudut servo: 0	25
...	...	...
3600	SSR is ON (Heating) sudut servo: 83	88

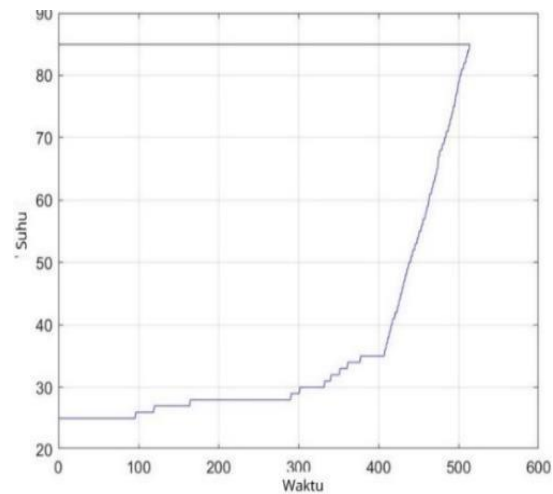
Pengujian Tanpa Metode PID

Sebelum pengujian dengan metode PID, dilakukan pengujian tanpa PID selama 70 menit untuk mengidentifikasi potensi masalah pada alat dan sebagai acuan pembanding. Data diambil secara manual dan hasilnya disajikan dalam Tabel 3, menjelaskan setiap 10 menit perkembangan selama proses berlangsung.

Tabel 3. Pengujian Sistem Tanpa PID

No.	Waktu	Keterangan
1.	1-10 menit	Pada menit awal proses distilasi Suhu tabung distilasi 29.6°C dan masih dalam tahapan normal.
2.	10-20 menit	Ada sedikit kenaikan pada suhu namun belum terlihat signifikan hanya 29.9°C pada 10-14 menit proses berjalan, namun saat mencapai menit ke 15 mulai terlihat ada kenaikan suhu.
3.	20-30 menit	Panas distilasi mulai tinggi sehingga suhu naik menjadi 53.8°C lalu pada menit ke 25 sudah mencapai 85 derajat sehingga besarnya api di kompor dikecilkan. Namun karena pemanasan pada tabung distilasi belum tersebar merata suhu pada tabung distilasi masih naik turun. Hasil tetesan minyak sereh yang dikeluarkan dari proses kondensasi masih tetesan kecil.
4.	30-40 menit	Dikarenakan besar api dikecilkan pada menit ke 30 ini suhu distilasi turun cukup jauh dari setpoint yang Ditentukan menjadi 67.3°C sehingga api kompor kembali dibesarkan tetapi dalam dua menit suhu mengalami kenaikan yang cepat hingga mencapai 85°C. Karena kenaikan suhu terjadi begitu cepat tersebut besaran api kompor dikecilkan Kembali namun suhu tidak juga kunjung turun karena pemanasan pada tabung distilasi sudah. Lebih merata sehingga pada kondisi ini walaupun besaran api kecil, suhu distilasi tetap bertahan tinggi. Setelah proses berjalan selama 30 menit, suhu air kondensor mulai panas sehingga tempat penampungan air untuk sistem sirkulasi air kondensor di beri tambahan es batu agar suhu air kembali dingin.
5.	40-50 menit	Pada menit ke 40 ini besaran api pada kompor harus selalu di monitor. Saat kondisi ini pun titik cair hasil dari proses kondensasi mulai terlihat. Ketika proses sudah berjalan 45 menit suhu distilasi dan besaran api pada kompor mulai intens untuk diperhatikan.
6.	50-60 menit	Saat menit ke 50 ini besaran api diturunkan hingga paling terkecil sehingg suhu turun menjadi 73.9°C. Jadi pada menit ke 50 ini walaupun besaran api sudah mengecil tetapi suhu masih tetap tinggi.
7.	60-70 menit	Pada kondisi ini tetesan cairan hasil kondensasi sudah terlihat namun masih tetesan kecil sehingga hasil tetesan pada proses ini sedikit.

Pada pengujian dengan sistem PID ini didapatkan dua data dari masing-masing sistem. Suhu distilasi dapat distabilkan pada 85 °C - 90 °C. Pada pengujian ini status servo *on* ketika sudut 0 derajat dan *off* ketika sudutnya 83 derajat. Ketika suhu tabung distilasi sudah mencapai 85 °C servo *off* dan api mengecil, sudut servo akan *on* kembali setelah beberapa detik dan begitu seterusnya dengan tujuan agar suhu stabil pada suhu 85 °C-90 °C. Berikut pada Gambar 5 merupakan grafik hasil pengujian pada distilasi.



Gambar 5. Grafik Pengujian dengan PID Pada Distilasi

Pengujian Sistem Dengan PID

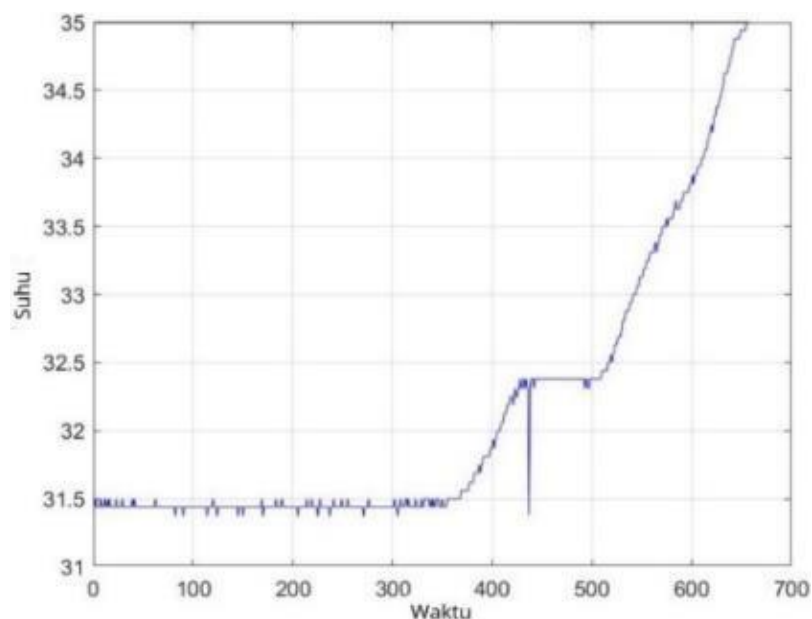
Grafik sistem PID menunjukkan sumbu X sebagai suhu ($^{\circ}\text{C}$) dan sumbu Y sebagai waktu (detik). Pada awal pemanasan, suhu meningkat bertahap dan stabil, lalu naik tajam setelah 400 detik mendekati *setpoint*, mencerminkan kontrol PID yang beradaptasi untuk mencapai target. Respon berjenjang menunjukkan keseimbangan antara kecepatan dan kestabilan, sementara peningkatan tajam mengindikasikan upaya PID mempercepat pencapaian suhu target. Gambar 6 menampilkan parameter respons sistem PID pada distilasi.

```
struct with fields:

    RiseTime: 167
    SettlingTime: 511.8000
    SettlingMin: 79
    SettlingMax: 85
    Overshoot: 0
    Undershoot: 0
    Peak: 85
    PeakTime: 514
```

Gambar 6. Parameter Respon Sistem pada Distilasi.

Lalu pada percobaan sistem pada kondensor didapatkan dengan metode PID bahwa pompa DC menyala ketika suhu air sudah mencapai 35°C dan mati kembali saat suhu air mencapai 25°C . Pada pengujian ini sudah dapat dipastikan bahwa suhu kondensor selalu dingin untuk mencegah *overheating* pada sistem. Berikut pada Gambar 7 merupakan grafik hasil pengujian pada kondensor.



Gambar 7. Grafik Pengujian dengan PID Pada Kondensor

Grafik respon sistem PID menunjukkan sumbu X sebagai suhu ($^{\circ}\text{C}$) dan sumbu Y sebagai waktu (detik). Suhu awal stabil di 31°C , menandakan sistem PID belum merespons agresif. Seiring waktu, suhu perlahan meningkat saat PID mulai merespons setpoint. Gangguan sempat menurunkan suhu, namun sistem kembali menyesuaikan dan mencapai setpoint. Grafik ini menunjukkan respons awal yang lambat, diikuti penyesuaian cepat. Gambar 8. menampilkan parameter respons sistem PID pada distilasi.

`struct` with fields:

```
RiseTime: 245.4667
SettlingTime: 648.7900
SettlingMin: 34.6900
SettlingMax: 35
Overshoot: 0
Undershoot: 0
Peak: 35
PeakTime: 655
```

Gambar 8. Respon Sistem Kondensor

KESIMPULAN

Dari pengujian dan penelitian yang telah dilakukan pada alat Kendali Suhu Otomatis Pada Proses Distilasi dan Kondensasi Pemurnian Batang Sereh Menggunakan PID Control dapat disimpulkan Sistem kendali suhu menggunakan sensor RTD sebagai pembaca suhu dan sensor dihubungkan pada *autonics* untuk mengaktifkan servo ketika suhu distilasi telah mencapai 85°C. Alat juga mampu mengendalikan sirkulasi air pada kondensor mampu meningkatkan hasil hingga 82,5% dibandingkan dengan hasil sebelum suhu pendingin pada kondensor dikendalikan. Dari hasil kuantitas minyak sereh yang didapatkan pada pengujian tanpa metode 170 ml sedangkan pada pengujian dengan metode didapatkan 500 ml. Kedua hasil tersebut telah membuktikan bahwa pengontrolan suhu otomatis mempengaruhi hasil kuantitas dari proses distilasi. Pada penelitian selanjutnya disarankan menggunakan *Autonics* jenis TK4S karena fiturnya lebih lengkap, lalu mengganti sensor DS18B20 karena sensor DS18B20 sangat sensitive terhadap getaran.

DAFTAR PUSTAKA

- Autonics. (n.d.). Temperature controller TC4S. Retrieved from <https://www.autonics.com/products/TC4S>
- Aziz, M., & Ma'arif, M. R. (2020). Perancangan sistem monitoring suhu dan kelembaban menggunakan sensor DHT22 dan Arduino UNO berbasis Internet of Things (IoT). *Jurnal Teknik ITS*, 9(2), A151–A155. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v9i2.62038>
- Budiman, A. (2016). Distilasi Teori dan Pengendalian Operasi. 5. Elsevier Ltd <https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.09.038>.
- Dwi, R. F., & Hanifah, N. (2020). Rancang bangun sistem monitoring suhu dan kontrol katup otomatis menggunakan servo MG996R berbasis Arduino. *Jurnal Sains dan Teknologi*, 19(2), 87–94.
- Fitrah, A. N., Rusli, M. S., Setyaningsih, D., Riyanto, A., & Hidayati, N. (2020). Proses Pemurnian Fraksi Kaya Rhodinol Minyak Sereh Wangi Menggunakan Spinning Band Distillation. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 30(2).
- Irvani, A. I., Inayah, I., Muhammad Rohfadli, S. T., Alkadri, Y., Roihan, M., Andaria, A. C., ... & Hanam, E. S. (2025). *Dasar-Dasar Elektronika*. Mega Press Nusantara : Sumedang
- Novfowan, A. D., Mieftah, M., & Kusuma, W. (2024). Scada Pada Proses Destilasi Dengan Pengendalian Suhu Menggunakan PID. *Elposys: Jurnal Sistem Kelistrikan*, 11(1), 56-61.
- Nugroho, F. S., & Hidayatullah, M. (2022). Implementasi driver motor L298N untuk kendali pompa air pada sistem irigasi otomatis. *Jurnal Teknologi Terapan*, 5(1), 45–52.
- Omega Engineering. (n.d.). RTD Sensors. Retrieved from <https://www.omega.com/en-us/resources/rtd-sensors>
- Prasetyo, A., & Cahyadi, A. I. (2021). Desain dan implementasi sistem distilasi air laut menggunakan mikrokontroler Arduino dan sensor suhu. *Jurnal Energi Terbarukan*, 10(1), 1–8.
- Sulaiman, R., & Kurniawan, A. (2021). Rancang bangun sistem kontrol suhu otomatis menggunakan sensor DS18B20 dan Arduino UNO. *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*, 9(3), 195–200. <https://doi.org/10.14710/jtsiskom.9.3.2021.195-200>

Setiamukti, D., Toifur, M., Ishafit, M. S., & Okimustava, M. (2020) Pengaruh Konsentrasi Larutan Elektronik

Terhadap Fabrikasi dan Uji Sensor Cu/Ni. Penerbit K-Media : Yogyakarta.

Suryana. T. (2021). *Implementation DS18B20 1-Wire Digital Temperature Sensor with NodeMCU Ideal Temperature for Brewing Coffee*. J. Komput.

Tadeus. D. Y, Setiono. I. (2018). Deskripsi Teknis Pengendali Temperatur Industri Sebagai Bagian Dari Sistem Regulasi Temperatur. J. Gema Teknol. 20(1). <https://doi.org/10.14710/gt.v20i1.21075>

Wiratmaja, I.G. and Elisa, E. (2020). Kajian Peluang Pemanfaatan bioetanol Sebagai Bahan Bakar Utama kendaraan Masa Depan di Indonesia. Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha, 8(1), pp. 1–8. <https://doi.org/10.23887/jptm.v8i1.27298>.