

Implementasi Kontrol PID Untuk Optimasi Suhu *Boiler* Pada Mesin Kopi *Espresso*

Fajar Suryansyah Hidayatulloh¹, Wahyu Dirgantara², Delila Cahya Permatasri³

¹ Universitas Merdeka, Teknik Elektro, Malang, Indonesia

² Universitas Merdeka, Teknik Elektro, Malang, Indonesia

³ Universitas Merdeka, Teknik Elektro, Malang, Indonesia

Article Info

Article history:

Diterima 30 Mei 2023

Revisi 2 Juli 2023

Diterbitkan 27 Oktober, 2023

Keywords:

Arduino

Espresso

Mesin Kopi

PID

ABSTRAK

Teknologi pada mesin kopi pembuat *espresso* mulai banyak digunakan pada *coffee shop* maupun rumahan dan menjadi percepatan dalam pembuatan kopi saat ini. Teknologi yang umum digunakan pada mesin kopi adalah proses ekstraksi pada pembuatan kopi hanya menggunakan satu sistem saja dimana untuk pembuatan jenis kopi lain akan menseting ulang. Namun pada penelitian ini teknologi mesin kopi menggunakan tiga jenis tombol yang dimana memiliki sistem variann ekstraksi di masing-masing sistem. Mesin kopi *espresso* adalah pengeksrak bubuk kopi. Bubuk kopi dimasukkan pada *portafilter*, kemudian pompa mendorong air dari *boiler* yang sudah dipanaskan oleh *heater* menuju *group head* dan bubuk kopi akan didorong keluar oleh air untuk diekstrak sari kopi tersebut. Untuk menghasilkan kopi secara kontinyu maka suhu pada *boiler* harus diatur secara tepat dan dikontrol dengan *heater* secara tepat. Sistem kontrol suhu pada mesin kopi ini menggunakan metode PID, pengaturan suhu pada bagian *boiler* dengan *heater* yang akan memanaskan air dalam *boiler*. Hasil penelitian menggunakan metode PID untuk kontrol suhu mesin kopi ini diperoleh nilai $K_p=51$, $K_i=2,8$ dan $K_d=229,5$ dapat stabil disuhu 93°C .

This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.



Corresponding Author:

Fajar Suryansyah Hidayatulloh,

Universitas Merdeka, Jalan Terusan Dieng No. 62-64 Klojen, Pisang Candi, Kec. Sukun, Kota Malang, Jawa Timur 65146, Indonesia

Email: fajarsuryansyah71@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Indonesia tergolong salah satu produsen dan eksportir kopi terbesar di dunia. Indonesia memiliki cita rasa kopi yang bervariasi. Hal ini disebabkan faktor geografis Indonesia yang memiliki iklim ideal untuk penanaman kopi di berbagai wilayah, sehingga tiap wilayah memiliki keunikannya sendiri mengenai cita rasa kopi. Pada kurun waktu 2017-2019 Indonesia memproduksi lebih dari 700 ribu ton kopi per tahun. Dari total produksi kopi tahunan lebih dari 700.000 ton, konsumsi kopi Indonesia terus meningkat menjadi 294.000 ton pada tahun 2020[1]. Saat ini telah banyak dikembangkan olahan dari minuman kopi, baik yang diolah menggunakan mesin, maupun secara manual. *Espresso* merupakan minuman yang dihasilkan dari biji kopi yang diekstraksi menggunakan mesin berdasarkan uap dan air panas dengan tekanan tinggi. Minuman jenis ini banyak diminati karena merupakan based/dasar dari jenis olahan kopi lainnya (*latte*, *cappuccino*, *macchiato*, *mocha* dan *americano*)[2]. *Espresso* adalah kopi yang terbuat dari air panas yang disaring melalui saringan. Cara kerja mesin *espresso* dimulai dengan secangkir kopi. Selanjutnya, tuangkan air ke dalam tangki. Tergantung model yang digunakan, bisa satu galon, dua galon, atau tiga galon penuh. Kemudian memasukkan air dan mengatur mesin untuk berjalan. Uap perlahan naik dari air panas. Uap membantu melelehkan crema yang terbentuk pada kopi. Pompa kemudian menyalurkan air panas. Pada titik ini, tekanan terbentuk di dalam air. Pompa didorong oleh piston untuk membawa air ke titik kritis di mana tekanan meningkat ke atas air. Pada

titik ini, tekanan akan menyebabkan katup uap mati, dan gilingan kopi akan mulai keluar dari mesin *espresso*[3].

Jenis-jenis kopi atau variasi kopi *espresso* yaitu *espresso shot* adalah satuan *espresso* yang biasa digunakan. *Single Shot* biasa berkisar 30-38 ml, saat ini ukuran *double Shot* 60 ml banyak menjadi standar untuk bahan dasar minuman lain. *Ristretto* yang berarti *restricted* mempunyai makna 1 dosis kopi untuk membuat *espresso* diseduh hanya dengan setengah dosis air. *Ristretto* mempunyai perbandingan 1:1 atau 18 gram *espresso* dan 18 ml air. *Ristretto* mempunyai karakter rasa yang lebih kuat tapi tidak sepahit *espresso*. *Lungo (long)* adalah kebalikan dari *ristretto*. 18 gram kopi diseduh dengan 50-65ml air. Menghasilkan minuman yang lebih encer dari pada *espresso*. Karena lebih banyak zat yang larut, termasuk kafein, rasa *lungo* paling pahit dibanding *espresso* dan *ristretto*[4]. Gramasi yang tertera dengan hukum pembuatan *perfect espresso* international yaitu *single espresso* 55 gr / 1 L \pm 10% sesuai dengan biji kopi yang digunakan tetapi, bubuk kopi yang di pakai adalah house blend dari brand mbo wis menggunakan gramasi yaitu untuk *single espresso* 18 gr pembuatan *perfect espresso*. Selanjutnya proses *brewing* dengan panas suhu $93^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}$. Suhu tersebut umumnya dianggap ideal untuk menyiapkan *perfect espresso*[5].

Pada alat yang akan dibuat menggunakan sebuah termokopel. Termokopel 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. Cara kerja dari sensor ini dengan mengkonversikan panas dan merubah menjadi sinyal analog pada lapisan luar sensor (*probe*) yang kemudian ditransmisikan menuju mikrokontroler[6]. Terdapat juga sebuah sensor *pressure transmitter* yang digunakan untuk mengubah *sensing element* sebuah sensor menjadi sinyal yang bisa dibaca atau diterjemahkan oleh kontroler. Sistem transmisi elektronik adalah transmisi yang menggunakan sinyal listrik untuk mengirimkan sinyal dengan jangkauan transmisi 4 hingga 20 mA dan 1 hingga 5 VDC[7]. Juga ada *solenoid valve*, yang merupakan sebuah katup yang digerakkan oleh energi listrik yang mempunyai kumparan sebagai penggeraknya. Kumparan ini berfungsi untuk menggerakkan piston yang dialiri oleh arus AC ataupun DC sebagai daya penggerak. *Solenoid valve* memiliki 2 buah saluran yaitu saluran masuk (*inlet port*) dan saluran keluar (*outlet port*). Saluran masuk berfungsi sebagai lubang masukan untuk cairan atau air, saluran keluar berfungsi sebagai terminal atau tempat keluarnya cairan[8]. Sebagai pemanas air yaitu menggunakan *heater*. *Heater* adalah sebuah elemen pemanas mengubah listrik menjadi panas melalui proses pemanasan. Arus listrik melalui elemen pertemuan perlawanan, mengakibatkan pemanasan elemen[9]. Sebagai penekan air pada ekstraksi digunakan sebuah pompa AC. Pompa adalah mesin atau peralatan mekanis yang digunakan untuk menaikkan cairan dari dataran rendah ke dataran tinggi atau untuk mengalirkan cairan dari daerah bertekanan rendah ke daerah yang bertekanan tinggi dan juga sebagai penguat laju aliran pada suatu sistem jaringan perpipaan[10].

Pada mesin ini akan menggunakan metode PID. PID adalah mekanisme kontrol umpan balik yang membutuhkan kontrol terus menerus. Fleksibilitas pengontrol PID memungkinkannya digunakan di banyak aplikasi sistem kendali[11]. Pengontrol PID seperti pengontrol suhu memiliki tiga parameter yang mempengaruhi kinerja pengontrol tersebut, yaitu konstanta *proporsional* (K_p), konstanta *integral* (K_i), dan konstanta *derivative* (K_d). Oleh karena itu dilakukan tuning eksperimental untuk mendapatkan nilai K_p K_i dan K_d yang benar agar kontroler dapat beroperasi secara optimal[12]. Komponen yang pertama adalah kendali *proportional*. Kendali *proportional* berguna untuk mempercepat respon dari sistem. Kendali *proportional* memiliki efek samping yaitu menyebabkan *overshoot* dan menyebabkan osilasi. Komponen yang kedua adalah kendali *integral*. Kendali *integral* ini berguna untuk menghilangkan *error steady state* pada respon sistem. Efek samping dari kendali *integral* adalah memperparah osilasi dan *overshoot* dari respon sistem. Komponen yang terakhir adalah kendali *derivative*. Kendali *derivative* ini berfungsi untuk menghilangkan *overshoot* dan osilasi dari respon sistem sehingga meningkatkan *settling time* dari respon sistem[13].

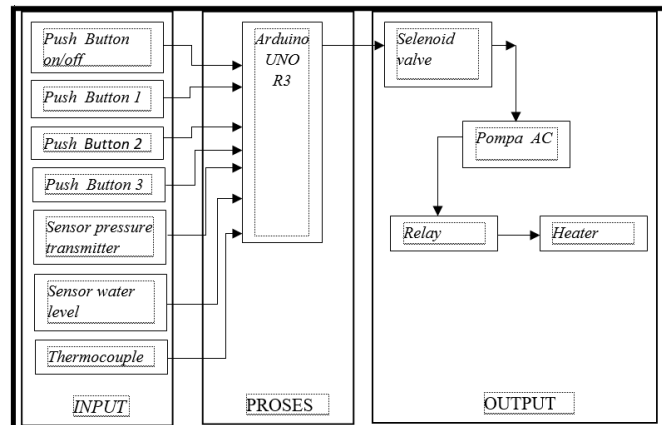
Nilai target adalah keadaan tertentu yang ingin dicapai. Sensor merekam aktivitas sistem dan mengubahnya menjadi besaran yang sama dengan satuan titik setel. Output dari sensor adalah sinyal umpan balik yang dikurangi dengan nilai yang ditetapkan untuk menghasilkan sinyal kesalahan. Kendali PID pada metode pertama Zieger Nichols yang pertama kali dicari adalah menentukan nilai dari *proportional gain* (K_p), *integral time* ($T_i=1/K_i$), dan *derivative time* ($T_d=K_d$). Karakteristik kontroler PID sangat dipengaruhi oleh kontribusi nilai dari ketiga parameter P, I dan D. Pengaturan konstanta K_p , T_i , dan T_d akan mengakibatkan penonjolan sifat dari masing-masing elemen[14]. Semua proses akan diatur dalam sebuah mikro control yaitu arduino. Penggunaan mikrokontrol arduino disini dikarenakan dari murah, sederhana dan mudah pemrogramannya, perangkat lunaknya *open source*, tidak perlu perangkat *chip programmer*, suda memiliki

sarana komunikasi USB, bahasa pemrograman relative mudah, memiliki modul siap pakai (*shield*) yang bisa ditancapkan pada *board* arduino[15].

2. METODE

Pengimplementasian Kontrol PID Untuk Optimasi Suhu *Boiler* Pada Mesin Kopi *Espresso* ini menggunakan metode sebagai berikut.

2.1. Diagram Blok Sistem



Gambar 1. Diagram Blok Sistem

Pada gambar 1 Diagram blok menunjukkan adanya *input*, *proses*, dan *output* dalam suatu sistem. Sistem memiliki empat tombol sebagai *input*, masing-masing tombol memiliki fungsinya masing-masing. Tombol daya menyala, memungkinkan banyak fungsi perangkat lunak dijalankan. Proses berlangsung di mikrokontroler dimana terhubung fungsinya untuk membuka *solenoid valve* dan menghidupkan pompa DC untuk mengisi *boiler* di mesin *espresso* dengan air hingga ketinggian air di *boiler* mencapai ketinggian yang diinginkan, kemudian sensor ketinggian air mengirimkan sinyal ke mikrokontroler untuk menghentikan proses pengisian air. Setelah diisi dengan air, pemanas *boiler* menyala dan menyala hingga *set point* di kontroler PID. Ketika suhu yang diinginkan tercapai, termokopel mengirimkan sinyal ke mikrokontroler agar pemanas dapat digunakan dalam mode siaga untuk menjaga suhu pada titik setel dan layar akan menampilkan angka yang sesuai dengan nilai seting yang menunjukkan bahwa mesin *espresso* siap untuk digunakan.

Pada saat tombol 1 ditekan pada mikrokontroler, akan terjadi proses yang diprogram untuk membuka katup solenoid dan menyalakan pompa DC untuk mengekstrak bubuk kopi menjadi kopi *ristretto* dengan mengatur waktu ekstraksi dan proses penakaran air 1:1 untuk jumlah bubuk kopi, 1 untuk takaran air dan waktu.

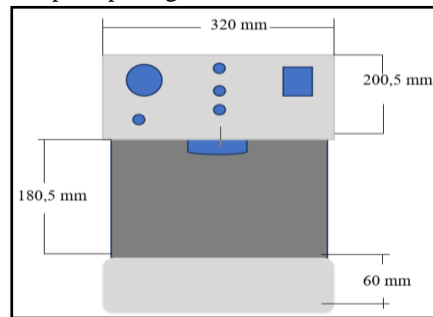
Saat tombol 2 ditekan, mikrokontroler memprogram proses untuk membuka katup *solenoid* dan menyalakan pompa DC untuk mengekstraksi bubuk kopi menjadi *espresso* seduh dengan mengatur waktu ekstraksi dan proses takaran air 1:2, 1 untuk jumlah bubuk kopi, 2 untuk takaran air dan waktu.

Begitu juga saat tombol 3 ditekan memiliki proses di mikrokontroler yang diprogram untuk membuka katup solenoid dan menyalakan pompa DC untuk mengekstraksi bubuk kopi menjadi kopi *lungo* dengan mengatur waktu ekstraksi dan takaran air yang akan dilakukan. 1:3, 1 untuk jumlah bubuk kopi, 3 untuk takaran air dan waktu.

Dengan ketiga tombol tersebut, pompa mengambil air yang ada di tangki air lalu memompanya ke *boiler* dimana air di *boiler* terisi dan mencapai suhu yang diinginkan, lalu menuju ke *portafilter* tempat kopi digiling. Tekanan air mulai naik karena bubuk kopi standar gramasinya sesuai berada di *portafilter*, yang menahan air mengalir melalui bubuk kopi sampai pompa tekanan keluar 9 bar tercapai, di mana air masuk ke melewati bubuk kopi untuk menyelesaikan proses ekstraksi kopi. Namun jika bubuk kopi yang digunakan tidak sesuai dengan standar gramasi, tekanan pada sistem ekstraksi menjadi *overpressure* sehingga menjadi berbahaya bagi proses, maka terdapat sistem yaitu *pressure relief valve*, dimana sistem ini berfungsi untuk melindungi atas sistem tekanan berlebih.

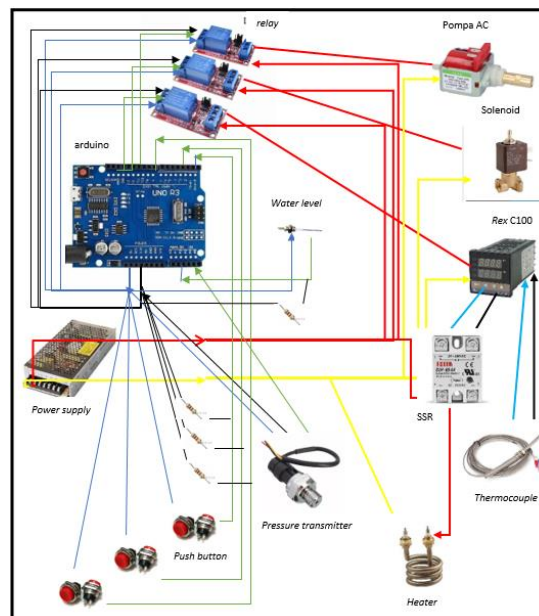
2.2. Perancangan Mekanik

Perancangan mekanik alat “Rancang Bangun Mesin Kopi Espresso Menggunakan Arduino Uno R3 Berbasis *Proportional, Integral, dan Derivative* (PID)” memiliki Panjang 320 mm lebar alat 360 mm dan tinggi 450 mm akan dibuat seeperti pada gambar 2.



Gambar 2. Mekanik Alat

2.3. Perancangan Rangkaian Elektrik



Gambar 3. Rangkaian Elektrik

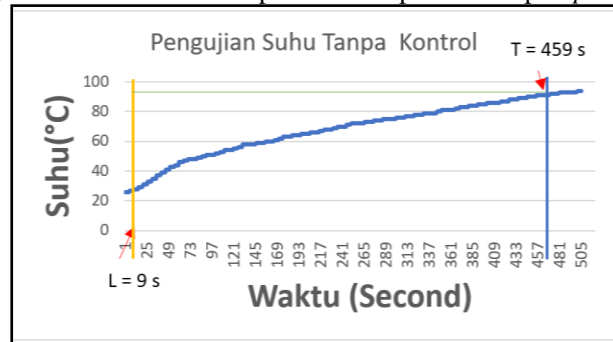
Rangkaian elektrik yang digunakan pada mesin kopi terhubung pada setiap komponennya. Sebagai penghubung terdapat warna merah dan kuning sebagai tegangan AC, penghubung warna hitam adalah ground DC, penghubung warna biru adalah tegangan DC positif, penghubung warna hijau adalah untuk pin *trigger*. Untuk komponen yang digunakan adalah *power supply* digunakan sebagai sumber tegangan bagi semua komponen yang digunakan pada mesin kopi kemudian arduino UNO R3 sebagai mikrokontrol yang menjadi wadah pengkodean untuk melakukan semua perintah kepada setiap komponen. Disini ada penggunaan beberapa sensor yaitu ada sensor *water level* digunakan sebagai mengatur isi air di dalam *boiler* Ketika sudah penuh pompa akan mati, kemudian ada sensor *pressure transmitter* sebagai pengukur tekanan yang terjadi dalam proses ekstraksi agar tidak terjadi *over pressure*, dan ada sensor termokopel digunakan sebagai pengukur suhu air yang ada pada *boiler*. *Relay* disini digunakan sebagai saklar otomatis pada *rex C100*, *solenoid*, dan pompa. *Solenoid* digunakan sebagai *valve* ekstraksi dan *valve* pembuangan Ketika terjadi *over pressure*. Pompa AC digunakan sebagai pompa pengisian dan pompa yang akan menekan pada proses ekstraksi. *Rex C100* digunakan untuk mengontrol PID, *heater*, dan termokopel, juga sebagai indikator penampil suhu air dalam *boiler*. *Push button* digunakan sebagai tombol pemilihan menu untuk ekstraksi kopi.

2.4. Perancangan Kontroler Sistem PID

Kontroler PID memiliki tiga parameter yang mempengaruhi kinerja kontroler tersebut, yaitu konstanta *proporsional* (K_p), konstanta *integral* (K_i), dan konstanta *derivative* (K_d). Oleh karena itu

dilakukan tuning eksperimental untuk mendapatkan nilai K_p , K_i dan K_d yang benar agar kontroler dapat berfungsi secara optimal.

Berikut pada gambar 4 adalah hasil respon dari alat pembuat kopi *espresso* tanpa kontrol.



Gambar 4. Grafik Respon Sistem

Dari grafik respon sistem pada Fig. 6 terlihat respon plant berupa kurva S, maka langkah selanjutnya adalah mencari nilai L (*dead time*) dan T (*delay time*). Didalam sistem, grafik respon, maka didapatkan nilai $L=9$ detik dan $T=459$ detik. Nilai-nilai ini kemudian dimasukkan ke dalam rumus ,

Diketahui :

$$L = 9 \text{ s}$$

$$T = 459 \text{ s}$$

Sehingga,

$$k_p = 1,2 T/L \quad (1)$$

$$= 1,2 (459/9)$$

$$= 51$$

$$T_i = 2xL \quad (2)$$

$$= 2 \times 9$$

$$= 18$$

$$T_d = 0,5xL \quad (3)$$

$$= 0,5 \times 9$$

$$= 4,5$$

$$K_p = K_p \quad (4)$$

$$= 51$$

$$K_i = K_p/T_i \quad (5)$$

$$= 51/18$$

$$= 2,8$$

$$K_d = K_p \times T_d \quad (6)$$

$$= 51 \times 4,5$$

$$= 229,5$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan data yang akan diuji untuk mengetahui sistem dan perencanaan yang sudah dibuat dapat beroperasi sesuai dengan perencanaan. Pengujian dilakukan pada tiap komponen yang akan digunakan agar sesuai dengan rangkaian alat yang akan diuji dengan sistem secara keseluruhan.

3.1. Pengujian Sensor Termokopel

Tabel 1. Hasil Percobaan Sensor Termokopel

No	TABLE I. HASIL PERCOBAAN SENSOR TERMOKOPEL		
	Sensor Termokopel	Termometer digital	Error
1	27°C	26,3°C	2,7%
2	35°C	33,5°C	4,5%
3	40°C	39,3°C	1,8%
4	45°C	45,0°C	0%
5	50°C	49,3°C	1,4%
6	55°C	53,5°C	4,5%
7	60°C	58,8°C	2,0%
8	65°C	64,0°C	1,6%
9	70°C	69,8°C	0,3%
10	74°C	73,7°C	0,4%
11	81°C	80,3°C	0,9%
12	82°C	81,2°C	1,0%
Nilai error rata-rata			1,67%

Dari data pengujian yang dilakukan dengan membandingkan pembacaan sensor termokopel dan termometer digital pada Tabel 1 terlihat nilai *error* maksimal 4,5%, nilai *error* minimal 2,7%. Nilai *error* pembacaan sensor termokopel masih dapat ditolerir karena nilai *error* yang dihasilkan masih kurang dari 5%, sehingga nilai *error* yang dihasilkan tidak terlalu mempengaruhi kinerja sistem pembacaan sensor suhu termokopel.

3.2. Pengujian Sensor Pressure transmitter

Tabel 2. Hasil Pengujian Sensor *Pressure Transmitter*

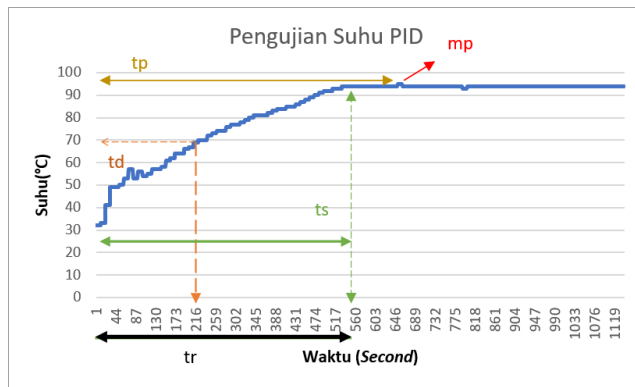
No.	TABLE II. HASIL PERCOBAAN SENSOR <i>PRESSURE TRANSMITTER</i>	
	Tekanan pada barro metter	Nilai tegangan analog sensor
1.	0 Bar	100.00
2.	2 Bar	276.00
3.	4 Bar	386.00
4.	6 Bar	518.00
5.	8 Bar	642.00
6.	9 Bar	707.00
7.	10 Bar	772.00

Pengambilan data dengan membandingkan pembacaan tekanan pada sensor *pressure transmitter* dengan barro meter yang dalam setiap bar dapat menghasilkan nilai analog pada masing-masing barnya.

Nilai Analog yang tertampil pada serial monitor kemudian akan digunakan sebagai sistem *safety over pressure* dapat dilihat bahwa Ketika pada 0 Bar tegangan analog yang dihasilkan adalah 100.00.

3.3. Pengujian PID dan Analisa Respon Sistem

Pengujian dilakukan untuk mengetahui kinerja sistem secara keseluruhan dapat bekerja dengan baik. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian pengendalian suhu menggunakan kontrol PID apakah kinerja dari kontrol PID sudah bekerja dengan baik atau belum. Dalam hal ini, sistem digunakan untuk menstabilkan suhu boiler pada mesin kopi sesuai dengan nilai *set point* yang telah ditentukan. Pengujian dilakukan dengan cara memberikan *input* melalui *rex C100* berupa nilai *set point* (suhu) yang telah ditentukan untuk proses ekstraksi setelah suhu *set point* tercapai maka kontrol PID akan menjaga suhu agar tetap stabil. Suhu yang digunakan untuk melakukan pengujian PID adalah 94°C dengan nilai Kp 51, Ki 2,8 dan Kd 229,5. Dapat dilihat hasil pengujian sistem kontrol PID dalam gambar 5 berikut.



Gambar 5. Grafik Pengujian PID Pada Suhu 94°C

Dari hasil percobaan PID pada boiler mesin kopi espresso sebanyak 750 ml air dengan suhu ruang 33°C dibutuhkan waktu 560 s untuk mencapai *rise time* atau 9 menit untuk menuju *set point* dengan nilai *over shoot* yang kecil yaitu 1,67%.

Tabel 3. Performa Respon Sistem Menggunakan Kontrol PID

TABLE III. PERFORMA RESPON SISTEM MENGGUNAKAN KONTROL PID		
NO	PERFORMA RESPON KURVA	HASIL
1	<i>Delay time</i> (td)	216 s
2	<i>Rise time</i> (tr)	560 s
3	<i>Peak Time</i> (tp)	689 s
4	<i>Settling time</i> (ts)	560 s
5	<i>Max overshoot</i> (Mp)	1,67%

3.4. Pengambilan Data Proses Ekstraksi Kopi

Pengujian dilakukan untuk mengetahui kinerja sistem secara keseluruhan dapat bekerja dengan baik. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian hasil dari ekstraksi kopi apakah waktu yang digunakan dapat menghasilkan kopi *espresso* dengan takaran ml air yang sesuai disetiap tombol menu dan *espresso* yang dihasilkan dapat menjadi *espresso*. Dalam hal ini, sistem digunakan untuk mengatur nyala pompa dalam mengekstrak bubuk kopi agar menghasilkan takaran ml air yang sesuai. Suhu yang digunakan untuk melakukan pengujian ekstraksi kopi ini adalah 94°C yang diatur oleh PID dan dapat diubah melalui *rex C100* sesuai keinginan pengguna.

TABLE IV. PENGAMBILAN DATA PENGUJIAN			
No	WAKTU	SUHU	MILILITER
1	35 Detik	94 °C	60,4 Mililiter

2	25 Detik	94 °C	43,7 Mililiter
3	20 Detik	94 °C	36,2 Mililiter
4	18 Detik	94 °C	33,5 Mililiter
5	15 Detik	94 °C	26,4 Mililiter
6	10 Detik	94 °C	20,1 Mililiter
7	9 Detik	94 °C	19 Mililiter

Pada tabel 4, dapat dilihat hasil dari pengujian sistem untuk mengekstrak biji kopi yang telah digrinder dengan *grind size* nomor 2. *Grind size* disini dapat mempengaruhi tekanan pompa waktu pengestrakan dan kekuatan pada saat tamping juga dapat berpengaruh pada tekanan pompa dan banyaknya biji kopi yang di ekstrak. Dengan bubuk kopi sebanyak 18,4 gram dapat menghasilkan *espresso* yang bervariasi jenis disetiap pengestrakan. Suhu yang stabil digunakan adalah pada 94°C. Dari pengujian ini didapatkan data yang sesuai dengan perencanaan, dan dapat berjalan sesuai rancangan.

4. Kesimpulan

Mesin kopi *espresso* dapat beroperasi dan menghasilkan kopi sesuai dengan tiga variasi jenis *ristretto* dengan 19 ml, *espresso* dengan 36,2 ml, dan *lungo* dengan 60,4 ml. Penggunaan kontrol PID mampu beroperasi sesuai dengan *set point* yang ditentukan yaitu $93^{\circ}\text{C} \pm 3$ dan PID mampu stabil suhu *boiler* 94 °C dengan nilai parameter $K_p = 51$, $K_i = 2,8$ dan $K_d = 229,5$. Pembacaan sensor suhu termokopel dengan thermometer digital dapat dilihat hasil bahwa pembacaan sensor suhu termokopel dapat digunakan karena memiliki error maksimal 4,5%. Error yang dihasilkan menunjukkan bahwa sensor suhu cukup akurat dan presisi sehingga mampu menampilkan kinerja yang baik pada sistem. Pengontrol suhu PID pada *boiler* menghasilkan respon sistem nilai delay time (td) 216s, rise time (tr) 560s, *settling time* (ts) 560s, *peak time* (tp) 689s dan maksimal *overshoot* yang terjadi sebesar 1,67%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada bapak ibu pembimbing Universitas Merdeka Malang, yang telah membimbing dalam pembuatan jurnal ini. Mengucapkan terima kasih kepada:

1. Wahyu Dirgantara, S.T., M.T.
2. Delila Cahya Permatasari, S.Tr.T., M.Tr.T.

Sebagai Pembimbing yang telah melakukan koreksi dan masukan perbaikan naskah-naskah yang dimuat dalam jurnal.

REFERENSI

- [1] Indonesian Directorate General of Plantations, "Coffee Production by Province in Indonesia , 2015-2019," *Indones. Dir. Gen. Plant.*, vol. 1, p. 1, 2021, [Online]. Available: pertanian.go.id/home/?show=page&act=view&id=61
- [2] Syarifuddin, Yusriyani, and Asriani, "Pengaruh Olahan Mesin Espresso dan Manual Brew Pour Over V60 Pada Biji Kopi Arabika (*Coffea arabica* L) Terhadap Aktivitas Antioksidan," *J. Kesehatan. Yamasi Makassar*, vol. 6, no. 1, pp. 65–74, 2022, [Online]. Available: <http://journal.yamasi.ac.id>
- [3] U. medan area Indonesia, "Bagaimana Cara Kerja Mesin Kopi Espresso," *Bagaimana Cara Kerja Mesin Kopi Espresso*, no. 3, p. 1, 2020, [Online]. Available: <https://mesin.uma.ac.id/2020/02/27/bagaimana-cara-kerja-mesin-kopi-espresso/>
- [4] R. Danutirta *et al.*, "Teknik Pembuatan Perfect Espresso Pada Operasional Lobby," *J. Indones. Tour. policy Stud.*, vol. 2, no. 1, 2018, [Online]. Available: <http://jitps.ui.ac.id/index.php/Tourism/article/view/114/pdf>
- [5] SCAA, "SCAA Standard | Golden Cup," *Scaa*, pp. 1–2, 2015.
- [6] D. Sutarya, B. Bahan, and B. Nuklir -Ptbn, "Analisis Unjuk Kerja Thermocouple W3Re25 pada Suhu Penyinteran 1500°C," *J. Batan*, vol. 01, no. 01, pp. 16–24, 2008, [Online]. Available: <http://jurnal.batan.go.id/index.php/pin/article/viewFile/2543/2327>
- [7] D. I. Pt and M. Energi, "ANALISA PROSES KALIBRASI TRANSMITTER KETINGGIAN AIR WTP PADA PEMBANGKIT LISTRIK," vol. 4, no. 2, pp. 187–198, 2021.
- [8] M. Zarkasi, S. B. Mulia, M. Eriyadi, T. Elektro, and P. E. Indorama, "PERFORMA SOLENOID PADA VALVE ALAT PENGISIAN AIR MINUM OTOMATIS," vol. 3, no. 2, pp. 53–60, 2018.
- [9] J. Riset, S. Teknologi, and A. Busairi, "Jurnal Ristech Universitas Abulyatama Uji Temperatur Elemen Pemanas Jenis Coil Terhadap Pembengkakan Termoplastik," vol. 2, no. 2, pp. 16–23, 2020.
- [10] P. Studi, T. Elektro, F. Teknik, and U. Udayana, "PERANCANGAN SISTEM POMPA AIR DC DENGAN PLTS 20 kWp TIANYAR TENGAH SEBAGAI SUPLAI DAYA UNTUK MEMENUHI KEBUTUHAN AIR," vol. 7, no. 2, pp. 46–56, 2020.
- [11] S. Y. Kurniawan, A. B. Setiawan, and W. Dirgantara, "Kursi Roda Otomatis Berbasis IoT(Internet Of Things) Menggunakan Metode PID (Proportional Integral Derivative Controller)," *Semin. Nas. Fortei Reg.*, vol. 7, no. Vol. 5 No. 1 (2022): SinarFe7-

- 5 2022, pp. 79–84, 2022.
- [12] B. Setiawan, P. Tama, and D. Cahya, “Metode PID untuk pengkondisian suhu pada bedplate di pencetak 3D 2x2x2 meter,” *J. Eltek*, vol. 19, no. 1, p. 35, 2021, doi: 10.33795/eltek.v19i1.284.
- [13] P. Saka, G. Asa, and S. Priyambodo, “SISTEM PEMBELAJARAN KONTROL PID (PROPORSIONAL INTEGRAL DERIVATIF) PADA PENGATUR KECEPATAN MOTOR DC PID (PROPORTIONAL INTEGRAL DERIVATIVE) CONTROL LEARNING SYSTEM ON DC MOTOR SPEED CONTROLLER S1 Teknik Elektro IST Akprind Yogyakarta Intisari Keywords :,” *J. Elektr.*, vol. 3, pp. 72–77, 2016.
- [14] D. C. Permatasari, N. A. Abiwindraya, W. Dirgantara, and N. Nachrowie, “Implementasi Metode PID Untuk Pengaturan Kecepatan Motor DC Pada Mesin Pencacah Bunga Rosella Kering Untuk Pengolahan Teh Rosella,” *JASIEK (Jurnal Apl. Sains, Informasi, Elektron. dan Komputer)*, vol. 4, no. 1, pp. 1–8, 2022, doi: 10.26905/jasiek.v4i1.8391.
- [15] M. Arofik, E. D. Marindani, and D. Suryadi, “Suara Menggunakan Arduino Uno R3,” *J. Tek. Elektro Univ. Tanjungpura*, vol. 1, no. 1, pp. 1–10, 2018.