

Optimasi Parameter PID Pada Sistem Kontrol Suhu Alat *Roasting* Biji Kopi

Dewi Anggraeni^{1*}, Aditya Ilham Saputra¹, Setyawan Purnomo Sakti²

Laboratorium Teknologi Sensor, Departemen Fisika
Fakultas MIPA, Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 15 Desember 2024
Direvisi: 3 Februari 2025
Diterima: 11 Maret 2025

Kata kunci:

Kontrol Suhu
Matlab
PID
Roasting Kopi

Keywords:

Temperature Control
Matlab
PID
Coffee Roasting

Penulis Korespondensi:

Dewi Anggraeni
Email: dewianggraeni.x@ub.ac.id

ABSTRAK

Kopi merupakan salah satu komoditi penting bagi Indonesia. Potensi besar yang dimiliki ini harus dapat dimanfaatkan dengan maksimal baik. Salah satu tahapan penting dalam pengolahan biji kopi adalah proses *roasting* biji kopi. Penelitian ini berfokus pada optimasi parameter kontrol PID pada alat *roasting* biji kopi. Tahapan Utama dalam penentuan parameter control PID yang dilakukan menggunakan PID Tuner MATLAB dan juga proses penyempurnaan nilai parameter tersebut. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa parameter PID untuk meningkatkan kinerja kontrol suhu alat *roasting* kopi, pada rentang suhu 210 °C, 215 °C, 220 °C, 225 °C, dan 230 °C menunjukkan bahwa parameter PID yang telah disempurnakan ($K_p = 5$, $K_i = 0,017$, dan $K_d = 2$) memiliki performa yang lebih baik dibandingkan dengan parameter yang diperoleh langsung dari PID Tuner Matlab ($K_p = 33,4$, $K_i = 1$, dan $K_d = 4,74$). Parameter yang telah melalui proses penyempurnaan menunjukkan (*risetime*) yang cukup cepat (123 detik), *overshoot* yang kecil (2,8 °C) dan tidak terjadi osilasi yang signifikan dalam sistem. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa penggunaan parameter PID yang telah disempurnakan lebih optimal untuk mengendalikan suhu pada alat *roasting* biji kopi, karena menghasilkan respon sistem yang lebih baik. Dengan adanya penyempurnaan nilai parameter PID ini maka diharapkan dapat menghasilkan hasil *roasting* biji kopi dengan variasi tingkat kematangan yang akurat, sehingga pengguna dapat menentukan karakteristik rasa dan aroma kopi yang diinginkan berdasarkan tingkat kematangannya.

Coffee is an important commodity for Indonesia. This huge potential must be utilized optimally. One of the important stages in processing coffee beans is the process of *roasting* coffee beans. This research focuses on optimizing PID control parameters on coffee bean *roasting* equipment. The main stages in determining PID control parameters are carried out using MATLAB's PID Tuner and also the process of improving the parameter values. From this research it can be concluded that the PID parameters to improve the temperature control performance of coffee *roasting* equipment, in the temperature ranges of 210 °C, 215 °C, 220 °C, 225 °C, and 230 °C indicate that the PID parameters have been improved ($K_p = 5$, $K_i = 0.017$, and $K_d = 2$) has better performance compared to parameters obtained directly from PID Tuner Matlab ($K_p = 33.4$, $K_i = 1$, and $K_d = 4.74$). Parameters that have gone through the refinement process show a fairly fast rise time (123 seconds), small *overshoot* (2.8 °C) and no significant oscillations occur in the system. Thus, it can be concluded that the use of refined PID parameters is more optimal for controlling temperature in coffee bean *roasting* equipment, because it produces a better system response. By improving the PID parameter values, it is hoped that it can produce roasted coffee beans with accurate variations in maturity levels, so that users can determine the desired taste and aroma characteristics of coffee based on the maturity level.

Copyright © 2025 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

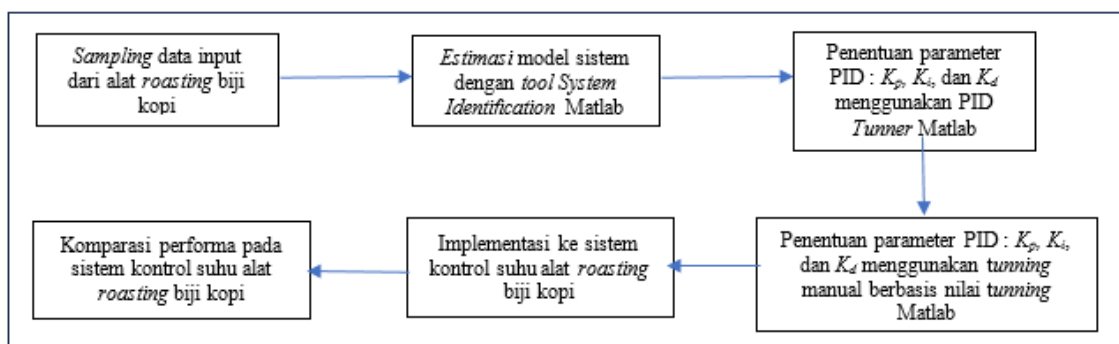
Indonesia merupakan salah satu dari 5 besar penghasil biji kopi di dunia. Pada tahun 2022-2023 total produksi biji kopi mencapai 11,85 juta karung ukuran 60 kg atau sebesar 711.000 ton kopi, jumlah ini meningkat 1,27 juta karung dari tahun sebelumnya. Kopi merupakan salah satu komoditi hasil perkebunan mempunyai peran cukup penting dalam kegiatan perekonomian di Indonesia. Kopi juga salah satu komoditas ekspor Indonesia yang cukup penting sebagai penghasil devisa negara selain minyak dan gas. Dengan jumlah yang cukup besar tersebut, kopi masih menjadi komoditas sumber devisa negara yang potensial (USDA, 2023). Potensi besar yang dimiliki ini harus dapat dimanfaatkan dengan maksimal baik pada peningkatan produksi maupun pengolahan biji kopi. Salah satu tahapan dalam pengolahan biji kopi adalah proses *roasting* biji kopi. Proses ini dapat memengaruhi karakteristik dari rasa, aroma, maupun kandungan pada kopi yang dihasilkan (Fadri, 2019).

Proses *roasting* biji kopi yang dilakukan masyarakat masih menggunakan peralatan sederhana berupa tabung drum atau menggunakan mesin *roasting* yang belum dapat mengontrol suhu *roasting* dengan akurat dan bervariasi. Alat pemanas atau *roasting* konvensional belum dapat menghasilkan suhu *roasting* yang akurat dan stabil karena belum terdapat sistem kontrol yang dapat menjaga kestabilan suhu *roasting*. Hal ini dapat mengakibatkan hasil *roasting* biji kopi memiliki tingkat kematangan yang tidak merata dan tingkat kematangan kopi tidak sesuai dengan yang diharapkan. Agar proses *roasting* dapat berjalan sesuai dengan suhu pemanasan yang diharapkan maka *roasting* harus dilengkapi dengan sensor yang dapat mengukur suhu pada panci pemanas dan sistem kontrol untuk menjaga kestabilan suhu pemanasan (Manurung et al., 2020).

Pada penelitian sebelumnya (Ahmady, 2020), telah dilakukan perancangan sistem kontrol *roasting* biji kopi menggunakan algoritma *fuzzy*, namun hasil yang didapat menunjukkan sistem kontrol yang belum optimal dan belum stabil. Oleh karena itu, pada penelitian ini berfokus pada optimasi parameter kontrol PID pada alat *roasting* biji kopi. Sistem kontrol PID digunakan karena mempunyai respon sistem yang cukup baik (Yuslinda, 2015). Respon sistem dihasilkan dari penentuan 3 parameter kontrol yaitu *proportional*, *integral*, *derivative* yang ketiganya akan berjalan untuk mendapatkan sinyal untuk dikirimkan ke aktuator untuk mengontrol kondisi yang diinginkan. *Kontroller* PID dapat meminimalisasi kesalahan atau *error* yang terjadi pada saat proses *roasting*. Dengan adanya sistem PID maka dapat dihasilkan hasil *roasting* biji kopi dengan variasi tingkat kematangan yang akurat dan sesuai keinginan, sehingga pengguna dapat menentukan karakteristik rasa dan aroma kopi yang diinginkan berdasarkan tingkat kematangannya.

II. METODE

Pada penelitian ini, optimasi parameter kontrol PID pada alat *roasting* biji kopi, dilakukan sebagai pengembangan dari bagian penelitian sebelumnya dalam rancang bangun alat *roasting* biji kopi. Optimasi parameter kontrol dilakukan dengan bantuan *tool* PID *tuner* dari Matlab, serta *tuning* manual, sebagai upaya optimasi performa kontrol PID pada suhu alat *roasting* biji kopi. Alur penelitian ini ditunjukkan oleh Gambar 1 berikut:



Gambar 1 Alur penelitian optimasi parameter PID pada sistem kontrol suhu alat *roasting* biji kopi

Penelitian ini dilakukan dengan menentukan nilai parameter kontrol PID K_p , K_i , dan K_d pada untuk mendapatkan hasil yang paling mendekati *setpoint* suhu *roasting* biji kopi. Proses tuning nilai parameter tersebut menggunakan *tool* PID *tuner* matlab, yang dilakukan pertama-tama dengan memodelkan sistem dari alat yang dibuat. Proses identifikasi ini dimulai dengan melakukan *sampling* data. Proses *sampling* data dilakukan dengan menjalankan pemanasan dan data kenaikan suhu dicatat

setiap 0,2 detik pada serial monitor. Kemudian dengan *System identification tool matlab*, untuk mengetahui model sistem kontrol suhu.

Tahap pertama dalam memodelkan suatu sistem adalah mencari fungsi transfernya, hal ini bertujuan untuk mencari tahu hubungan antara input dan output yang diterima oleh sistem (Quiroz, 2022). Dengan didapatkannya fungsi transfer maka dapat dianalisis bagaimana respon sistem dalam membaca sinyal input. Dalam sebuah kontrol PID, fungsi transfer digunakan untuk menyesuaikan parameter K_p , K_i , dan K_d agar sistem dapat mencapai performa yang diinginkan (Veloni, 2012). Pada penelitian ini penulis menggunakan Matlab untuk mendapatkan fungsi transfer dengan tingkat akurasi terbaik yang akan digunakan dalam memodelkan sistem *roasting*.

Tahapan selanjutnya dilakukan tuning PID menggunakan tool Matlab, untuk menentukan parameter kontrolnya, diantaranya K_p (Proporsional), K_i (Integral), dan K_d (*Derivatif*) (Borase, 2021). Penentuan ketiga parameter tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan PID Tuner pada Matlab dengan mengetahui fungsi transfer sistem. Performa sistem kontrol dapat dilihat dari nilai *risetime* dan *overshoot* pada suhu alat *roasting* biji kopi (Lüken, L, 2023). Kontrol suhu alat *roasting* biji kopi dilakukan dalam dua fase pemanasan yaitu di suhu 140 °C kemudian naik ke range suhu 210 – 230 °C dengan selisih 5 C. Tiap sampel data diambil sebanyak 3 kali perulangan agar bisa didapatkan karakteristik yang menggambarkan sistem dengan lebih akurat.

Implementasi pada sisitem kontrol suhu alat *roasting* biji kopi dilakukan dengan menggunakan nilai parameter PID yang didapat dari Matlab, dan juga dari proses penyempurnaan. Hasil ini dilakukan untuk mendapatkan optimasi terbaik pada sistem kontrol suhu *roasting* biji kopi.

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Tuning Parameter PID menggunakan PID Tuner Matlab

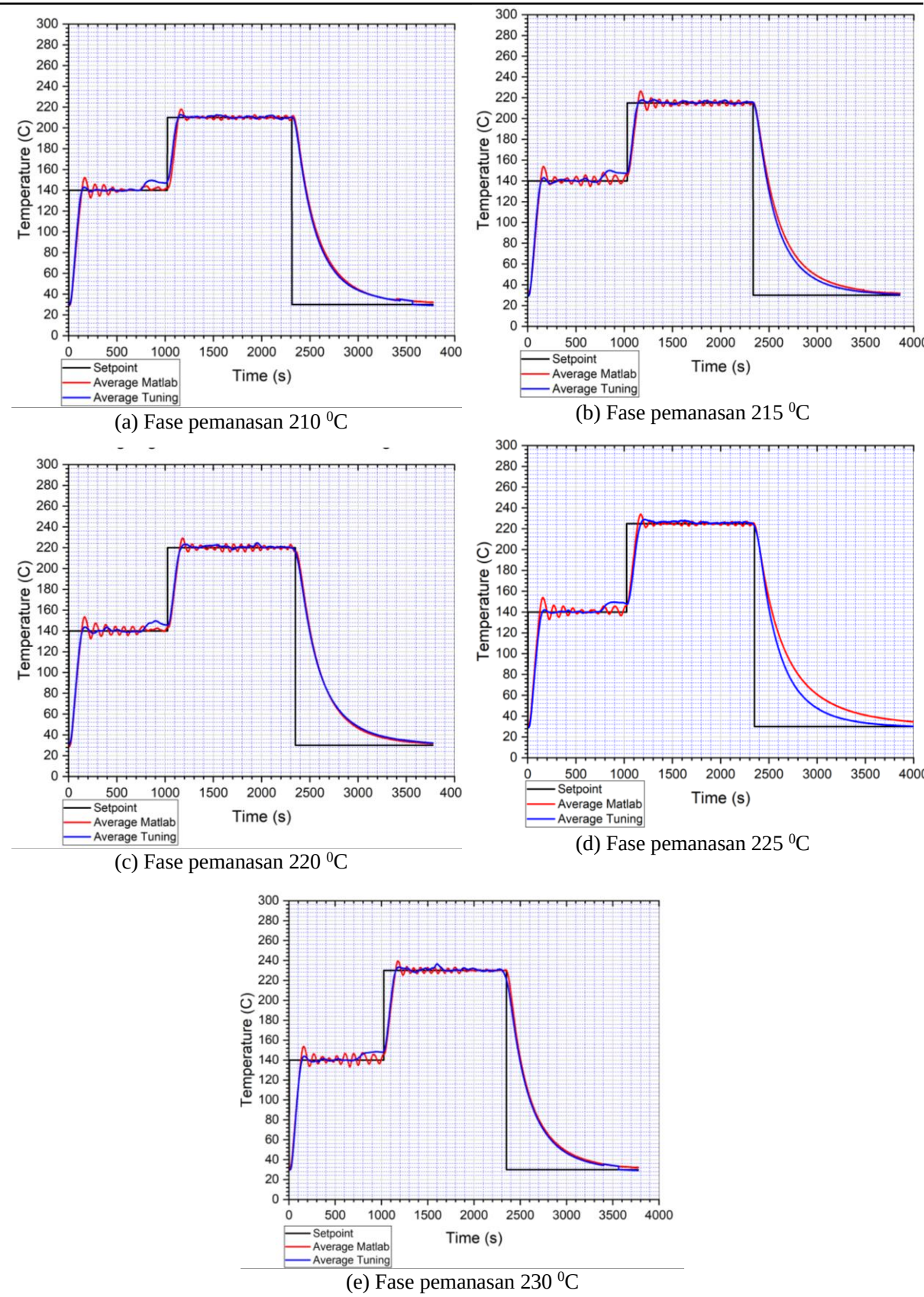
Penentuan nilai parameter PID kontrol suhu alat *roasting* biji kopi, diantaranya K_p , K_i , dan K_d dilakukan dengan bantuan tool PID Tuner Matlab. Hasil tuning PID menggunakan matlab tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Hasil tuning parameter PID menggunakan PID Tuner Matlab

Parameter	Nilai
K_p	33,4
K_i	1
K_d	4,74

Dengan dua fase pemanasan pada alat *roasting* biji kopi, yaitu fase pemanasan pertama 140 °C kemudian naik ke range suhu 210 °C – 230 °C, data suhu diambil dengan selisih 5 derajat untuk tiap sampel. Tiap sampel data diambil sebanyak 3 kali perulangan agar didapatkan karakteristik yang menggambarkan sistem dengan lebih akurat. Hasil yang diperoleh dari 3 kali perulangan kemudian dilakukan *plot* kedalam sebuah grafik untuk dilihat respon sistem rata-rata dari 3 kali perulangan dan dianalisis seberapa lama sistem dapat mencapai *risetime* dan besar *overshoot* yang dihasilkan. Dari perbandingan hasil tersebut kemudian parameter digunakan parameter yang lebih baik untuk dilakukan pengambilan data menggunakan biji kopi. Gambar 2 menunjukkan bagaimana performa respon kontrol suhu menggunakan nilai parameter PID dari hasil PID Tuner Matlab, dengan masing-masing fase pemanasan kedua yang berbeda.

Pada fase pemanasan kedua dengan setting poin suhu 210 C, kenaikan ke suhu 140 dapat dicapai cukup cepat dengan waktu 138 detik dengan overshoot ± 11 derajat. Pada kenaikan suhu 140 ke 210 sistem membutuhkan waktu ± 113 detik dengan overshoot ± 8 derajat dan sistem cukup beresilasi.. Osilasi cukup terlihat pada fase pemanasan pertama maupun kedua, dengan menggunakan nilai parameter PID dari hasil tuning Matlab. Untuk memperbaiki performa sistem kontrol tersebut, maka dilakukan tuning manual berbasis nilai tuning dari Matlab, untuk optimasi sistem kontrol suhu pada alat *roasting* biji kopi ini.



Gambar 2 Perbandingan performa sistem kontrol suhu menggunakan nilai parameter PID Tuner Matlab dan penyempurnaannya.

3.2 Penyempurnaan Nilai Parameter PID

Berbasis nilai parameter PID yang diperoleh dari PID Tuner Matlab, maka dilakukan penyempurnaan nilai parameter untuk hasil optimasi sistem kontrol suhu yang lebih baik, melalui *develop* model PID pada alat *roasting* biji kopi. Nilai proses *develop*, penyempurnaan parameter PID ini dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2 Nilai penyempurnaan nilai parameter PID

Parameter	Nilai
K _p	5
K _i	0,017
K _d	2

Uji performa nilai parameter PID yang telah disempurnakan tersebut, dapat dilihat dari performa sistem kontrol suhu yang diperlihatkan pada Gambar 2 tersebut, dengan masing-masing fase pemanasan kedua yang berbeda, yaitu 210 °C (Gambar 2(a)), 215 °C (Gambar 2(b)), 220 °C (Gambar 2(c)), 225 °C (Gambar 2(d)), dan 230 °C (Gambar 2(e)).

Dari hasil perbandingan rata-rata data dan grafik yang dihasilkan dari uji coba 3 kali repetisi pada 5 variasi data suhu yaitu 210 °C, 215 °C, 220 °C, 225 °C, dan 230 °C antara parameter yang diperoleh dari matlab dengan parameter yang diperoleh dari hasil penyempurnaan tuning memiliki perbedaan yang cukup signifikan, seperti yang ditampilkan pada Tabel 3 berikut. Parameter K_p, K_i, dan K_d yang diperoleh dari hasil penyempurnaan memiliki respon sistem yang lebih stabil dan *overshoot* yang relatif kecil sehingga parameter ini yang akan digunakan untuk pengambilan data menggunakan biji kopi.

Tabel 3 Hasil perbandingan *risetime* dan *overshoot* sistem pada fase pemanasan kedua

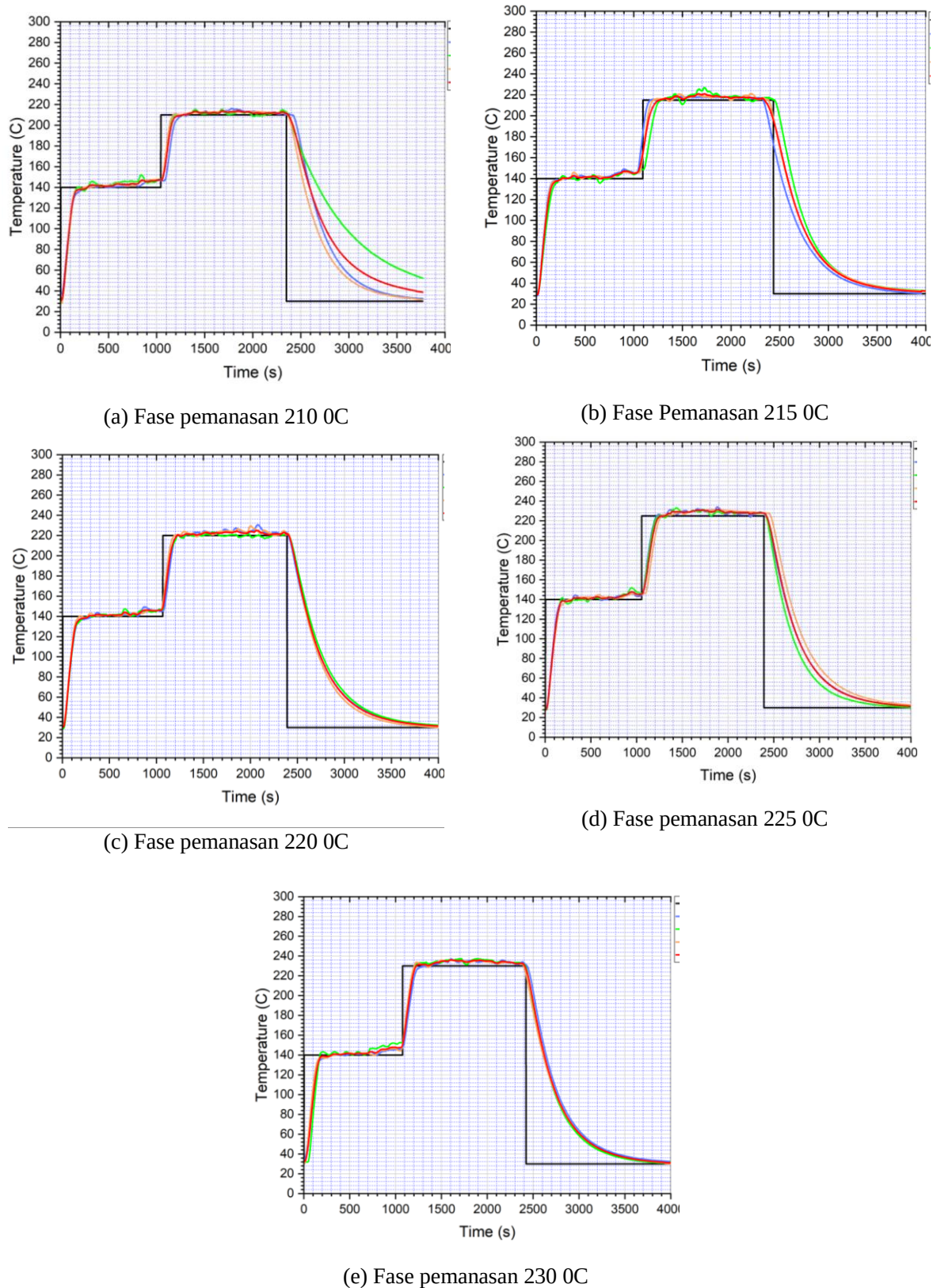
Suhu (°C)	PID Tuner Matlab		Penyempurnaan Tuning	
	<i>Overshoot</i>	<i>Risetime</i>	<i>Overshoot</i>	<i>Risetime</i>
210	±8 °C	113 detik	±2 °C	105 detik
215	±11 °C	112 detik	±2 °C	122 detik
220	±9 °C	128 detik	±3 °C	132 detik
225	±9 °C	114 detik	±4 °C	116 detik
230	±9 °C	127 detik	±3 °C	139 detik
Rata-rata	9,2 °C	119 detik	2,8 °C	123 detik

Berdasarkan hasil perbandingan dari pengujian tersebut maka diperoleh respon yang lebih baik dari parameter hasil *tuning* daripada matlab. Meskipun *risetime* yang didapatkan tidak mempunyai perbedaan yang signifikan namun *overshoot* dan osilasi yang didapatkan memiliki perbedaan yang cukup jauh. Selanjutnya, setelah ditetapkan parameter yang terbaik dilakukan pengujian menggunakan biji kopi dan diperoleh grafik seperti terlihat pada Gambar 3.

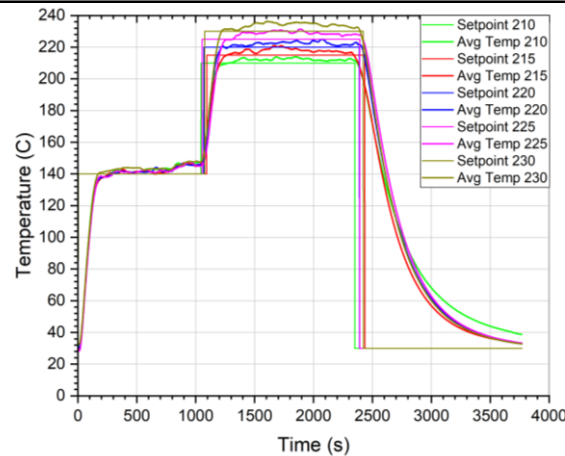
Pengambilan data dilakukan sebanyak 3 kali di setiap variasi data untuk mencari keakuratan data yang dihasilkan dan dilihat rata-rata dari grafik perulangan setiap variasi suhu. Berikut merupakan hasil *plot* data dari setiap tiap variasi suhu dengan 3 kali perulangan,

Dari hasil pengujian sistem dan pengambilan data diperoleh grafik seperti terlihat pada Gambar 3. Grafik yang didapatkan dari kelima variasi suhu dengan 3 kali perulangan pada masing-masing suhu didapatkan rata-rata grafik dengan garis berwarna merah. Dari kelima variasi tersebut terdapat *overshoot* paling tinggi sebesar 3 derajat dan *risetime* paling lama sebesar 300 detik. Pada sistem tersebut hanya terdapat sedikit osilasi dan *steadystate* sudah mendekati *setpoint*.

Gambar 4 menunjukkan komparasi nilai rata-rata performa sistem kontrol suhu alat *roasting* biji kopi pada fase pemanasan kedua yang berada pada rentang 210 °C – 230 °C, menggunakan nilai parameter penyempurnaan. Pada pemanasan suhu 210 °C memiliki *risetime* 284 detik dan *overshoot* sebesar 3 °C, pada suhu 215 °C memiliki *risetime* selama 268 detik dan *overshoot* sebesar 2 °C, lalu pada suhu 220 °C *risetime* dicapai selama 288 detik dengan *overshoot* sebesar 2 °C, kemudian pada suhu 225 °C memiliki *risetime* sebesar 290 detik dengan *overshoot* 3 °C, dan yang terakhir pada suhu 230 °C memiliki *risetime* rata-rata sebesar 314 detik dengan *overshoot* rata-rata sebesar 2 °C. Sistem PID juga memiliki osilasi yang minim atau sebesar kurang lebih 2 °C dari *setpoint* yang ditetapkan.



Gambar 3 Performa sistem kontrol alat roasting biji kopi dengan berbagai nilai fase pemanasan kedua



Gambar 4 Komparasi nilai rata-rata performa sistem kontrol suhu alat *roasting* biji kopi pada fase pemanasan kedua 210 °C, 215 °C, 220 °C, 225 °C, dan 230 °C

IV. KESIMPULAN

Dari penelitian ini disimpulkan bahwa parameter PID untuk meningkatkan kinerja kontrol suhu alat *roasting* kopi, pada rentang suhu 210 °C - 230 °C dengan menunjukkan bahwa parameter PID yang telah disempurnakan ($K_p = 5$, $K_i = 0,017$, dan $K_d = 2$) memiliki performa yang lebih baik dibandingkan dengan parameter yang diperoleh langsung dari PID Tuner Matlab ($K_p = 33,4$, $K_i = 1$, dan $K_d = 4,74$). Parameter yang telah melalui proses penyempurnaan menunjukkan (*risetime*) yang cukup cepat (123 detik), *overshoot* yang kecil (2,8 °C) dan tidak terjadi osilasi dalam sistem. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa penggunaan parameter PID yang telah disempurnakan lebih optimal untuk mengendalikan suhu pada alat *roasting* biji kopi, karena menghasilkan respon sistem yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmady, Hafidh. (2020). Sistoem Kontrol Alat Roasting Biji Kopi Menggunakan Arduino. 13410200032-2020-UNIVERSITASDINAMIKA.pdf
- Borase, R. P., Maghade, D. K., Sondkar, S. Y., & Pawar, S. N. (2021). A review of PID control, tuning methods and applications. In *International Journal of Dynamics and Control* (Vol. 9, Issue 2, pp. 818–827). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1007/s40435-020-00665-4>.
- Fadri, R. A., Sayuti, K., Nazir, N., & Suliansyah, I. (2019). The Effect of Temperature and Roasting Duration on Physical Characteristics and Sensory Quality of Singgalang Arabica Coffee (*Coffea arabica*) Agam Regency. *Journal of Applied Agricultural Science and Technology*, 3(2), 189–201. <https://doi.org/10.32530/jaast.v3i2.117>
- Lüken, L., Brandner, D., Lucia, S. Sobolev. (2023). Training for Data-efficient Approximate Nonlinear MPC. *IFAC-PapersOnline* (Vol. 56, Issue 2). <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2023.10.545>.
- Manurung, R., Nugroho, O. I. A., & Apriliyanto, E. (2020). Pelatihan Penggunaan Mesin Roasting Modern dalam Pengelolaan Kopi Arabika pada Kelompok Swadaya Masyarakat Galuh Lestari. *Jurnal Abdidas*, 1(5), 471–477. <https://doi.org/10.31004/abdidas.v1i5.102>
- Quiroz-Juárez, M. A., Rosales-Juárez, J. A., Jiménez-Ramírez, O., Vázquez-Medina, R., & Aragón, J. L. (2022). ECG Patient Simulator Based on Mathematical Models. *Sensors*, 22(15). <https://doi.org/10.3390/s22155714>
- USDA. (2023). Coffee: World Markets and Trade. <https://public.govdelivery.com/session/new>
- Veloni, A., & Palamides, A. (2012). *Control System Problems: Formulas, Solutions, and Simulation Tools* (1st ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781315217024>
- Yuslinda, S., Jaafar, H. I., Ghazali, R., Rafiqah, N., & Razif, A. (2015). The Effects of Auto-Tuned Method in PID and PD Control Scheme for Gantry Crane System. In *International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE)* (Issue 6). <https://www.researchgate.net/publication/271823222>.