

PENERAPAN SISTEM KONTROL SUHU PID AUTOTUNING UNTUK OTOMATISASI PROSES EKSTRAKSI KAFEIN KONVENSIONAL DARI BIJI KOPI JAVA ROBUSTA

Oleh

Nikolaus Dharmawan Dharsono¹, Susanto Pausinugroho², Abdul Multi³, Taswanda Taryo⁴

^{1,2,3,4} Jurusan Teknik Elektro, Institut Sains dan Teknologi Nasional, Jakarta, Indonesia

E-mail: ¹nikolauz.dd@gmail.com

Article History:

Received: 03-12-2025

Revised: 10-12-2025

Accepted: 01-01-2026

Keywords:

Ekstraksi Kafein, Faktor Ekstraksi, Java Robusta, Kontrol Suhu, PID Autotuning

Abstract: Kopi Java Robusta merupakan salah satu komoditas potensial sebagai sumber kafein untuk aplikasi farmasi dan pangan. Namun, proses ekstraksi kafein sangat dipengaruhi oleh kestabilan suhu, sementara banyak sistem ekstraksi yang digunakan masih bersifat konvensional dan kurang akurat. Masalah utama yang dihadapi adalah ketidakmampuan sistem pemanas menjaga suhu pada setpoint sehingga menurunkan efisiensi ekstraksi. Untuk mengatasi hal tersebut, penelitian ini menerapkan sistem kontrol suhu berbasis PID autotuning pada alat ekstraksi kafein dengan variasi rasio kopi: pelarut (1:10 dan 1:15) serta suhu ekstraksi 60°C dan 70°C. Sistem kontrol dievaluasi dari kemampuan mencapai suhu target dan stabilitas selama proses ekstraksi. Hasil menunjukkan bahwa rasio 1:10 mampu mencapai setpoint pada suhu 60°C dan 70°C, meskipun terjadi overshoot sebesar 7°C pada 60°C dan 4°C pada 70°C, sedangkan rasio 1:15 tidak mampu mencapai suhu target karena keterbatasan daya pemanas. Kadar kafein tertinggi diperoleh pada kondisi 70°C dengan rasio 1:10 sebesar 2,4%. Analisis faktorial menunjukkan bahwa rasio kopi: pelarut dan suhu merupakan faktor utama yang mempengaruhi jumlah kafein terekstrak, sementara interaksi antar variabel tidak signifikan. Secara keseluruhan sistem kontrol suhu yang diterapkan menunjukkan kemampuan untuk mendukung proses ekstraksi secara otomatis, proses kontrol suhu masih memerlukan finetuning agar kontrol suhu lebih stabil

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara penghasil kopi, namun pemanfaatan kopi sebagai sumber bahan baku obat, khususnya kafein, masih terbatas. Kafein banyak digunakan dalam industri farmasi sebagai stimulan dan bahan aktif obat. Kopi java robusta memiliki potensi sebagai

sumber kafein dengan kadar 2,8% (Putri, 2024), tetapi jenis kopi java robusta belum pernah diteliti secara kadar kafein secara spesifik.

Proses ekstraksi kafein sangat dipengaruhi oleh kestabilan suhu. Sistem yang umum digunakan masih bersifat konvensional dan kurang akurat (Syamsul, 2020). Metode kontrol suhu PID autotuning dinilai lebih tepat karena mampu menjaga suhu proses secara stabil dan responsif. Penelitian ini menerapkan kontrol PID untuk ekstraksi kafein pada suhu 60°C dan 70°C dengan perbandingan kopi: air 1:10 dan 1:15 serta waktu ekstraksi 15 menit. Setelah ekstraksi berbasis air, proses dilanjutkan dengan pemurnian menggunakan kloroform

Penelitian ini bertujuan menentukan kadar kafein pada Java Robusta, mengevaluasi performa kontrol suhu PID autotuning, serta menilai kemurnian kafein hasil ekstraksi. Hasil penelitian diharapkan memberi kontribusi pada pengembangan teknologi kontrol proses ekstraksi, pemanfaatan kopi lokal sebagai sumber bahan aktif, dan dasar pengembangan sistem ekstraksi otomatis skala industri.

LANDASAN TEORI

1. Kafein

Kafein (1,3,7-trimetilsantin) adalah senyawa alkaloid golongan xantin yang banyak ditemukan pada kopi, teh, kakao, dan guarana, serta dikenal sebagai stimulan sistem saraf pusat yang mampu meningkatkan kewaspadaan, konsentrasi, dan metabolisme tubuh. Senyawa ini memiliki sifat stabil terhadap panas, rasa pahit, serta kelarutan yang meningkat pada suhu tinggi sehingga mendukung proses ekstraksi menggunakan berbagai metode seperti perendaman air panas, Soxhlet, ultrasonikasi, hingga supercritical CO₂. Kandungan kafein pada kopi terutama jenis robusta memiliki kafein yang cukup tinggi sehingga menjadikannya sumber yang sering digunakan dalam penelitian pangan dan farmasi. Proses ekstraksi kafein dipengaruhi oleh beberapa faktor penting seperti suhu, rasio kopi terhadap pelarut, waktu ekstraksi, ukuran partikel, dan jenis pelarut yang digunakan. Suhu tinggi umumnya meningkatkan kelarutan kafein, namun kestabilan suhu sangat menentukan konsistensi hasil sehingga sistem pemanas dengan kontrol PID sering diterapkan untuk menjaga setpoint proses.

Kafein bekerja sebagai antagonis reseptor adenosin yang menurunkan rasa kantuk dan meningkatkan aktivitas neuron, tetapi konsumsi berlebihan dapat menyebabkan efek samping seperti gelisah, insomnia, dan peningkatan detak jantung. Secara umum, batas aman konsumsi kafein bagi orang dewasa adalah sekitar 400 mg per hari, sementara dalam bidang industri dan penelitian, kafein dimanfaatkan dalam produk pangan, farmasi, kosmetik, dan sebagai indikator dalam studi farmakokinetik.

2. Pelarut

Pelarut merupakan medium cair yang digunakan untuk melarutkan, mengekstraksi, atau memisahkan suatu senyawa dari campurannya, di mana efektivitasnya ditentukan oleh sifat kimia dan fisika seperti polaritas, titik didih, viskositas, dan kemampuan difusi. Dalam proses ekstraksi, pemilihan pelarut sangat penting karena pelarut harus mampu melarutkan komponen target tanpa merusak strukturnya serta tidak bereaksi dengan bahan yang diekstraksi. Pelarut polar seperti air dan etanol banyak digunakan dalam ekstraksi senyawa polar atau semi-polar, sedangkan pelarut non-polar seperti heksana digunakan untuk senyawa non-polar seperti minyak.

Air panas merupakan pelarut yang umum digunakan dalam ekstraksi kafein dan senyawa bioaktif lainnya karena aman, mudah diperoleh, dan kelarutannya meningkat dengan kenaikan suhu. Selain itu, rasio bahan terhadap pelarut memengaruhi proses difusi dan efisiensi ekstraksi; semakin besar volume pelarut, maka gradien konsentrasi semakin tinggi sehingga senyawa target lebih mudah berpindah ke fase cair.

Karakteristik pelarut seperti titik didih juga memengaruhi stabilitas senyawa yang diekstraksi, karena pelarut dengan titik didih rendah dapat mempercepat proses pemisahan namun berisiko menguapkan komponen volatil. Secara keseluruhan, pemilihan pelarut yang tepat sangat menentukan kualitas, kuantitas, dan selektivitas hasil ekstraksi dalam penelitian pangan, kimia, maupun farmasi.

3. PID

Pengendali PID (*Proportional-Integral-Derivative*) merupakan salah satu metode kontrol klasik yang paling banyak digunakan dalam sistem industri karena sederhana, mudah diimplementasikan, dan mampu memberikan respons pengendalian yang stabil pada berbagai jenis proses. PID bekerja dengan menggabungkan tiga aksi kontrol: aksi *proportional* (P) yang merespons besar *error* secara langsung, *integral* (I) yang menghilangkan *error steady-state* dengan mengakumulasi *error* dari waktu ke waktu, serta *derivative* (D) yang memprediksi perubahan *error* sehingga dapat meredam osilasi dan meningkatkan kestabilan sistem. Kombinasi ketiga aksi tersebut memungkinkan PID menjaga variabel proses seperti suhu, tekanan, dan laju aliran tetap berada pada *setpoint* meskipun terdapat gangguan atau perubahan beban.

Dalam aplikasi pengendalian suhu, PID sangat efektif karena mampu mempertahankan kestabilan termal dengan meminimalkan *overshoot* dan mempercepat waktu pencapaian *setpoint*. Keberhasilan PID sangat bergantung pada proses tuning parameter Kp, Ki, dan Kd yang dapat dilakukan menggunakan metode seperti Ziegler-Nichols, *trial-and-error*, atau autotuning menggunakan autonics. Karena keandalannya, PID menjadi standar dalam industri kimia, otomasi, dan penelitian yang membutuhkan kendali presisi.

Selain itu, fitur autotuning pada kontroler autonics sangat membantu karena perangkat dapat secara otomatis menentukan parameter Kp, Ki, dan Kd yang optimal berdasarkan respons sistem. Proses ini mengurangi kebutuhan penalaan manual dan menghasilkan pengendalian suhu yang lebih stabil dengan sedikit osilasi. Autotuning juga membuat sistem lebih adaptif terhadap perubahan beban pemanas. Dengan demikian, kombinasi PID dan autotuning memberikan pengendalian yang lebih cepat, akurat, dan efisien dalam berbagai aplikasi industri maupun penelitian.

4. Sensor Suhu RTD PT100

RTD PT100 adalah sensor suhu berbasis *resistance temperature detector* (RTD) yang menggunakan elemen platina dengan resistansi nominal 100 ohm pada 0°C, di mana nilai resistansinya meningkat secara linear seiring naiknya suhu. Sensor ini banyak digunakan dalam industri karena memiliki akurasi tinggi, stabilitas jangka panjang, dan linearitas yang baik dibandingkan sensor suhu lainnya seperti termistor atau termokopel. Prinsip kerja PT100 mengikuti karakteristik material platina yang memiliki koefisien suhu positif, sehingga perubahan resistansi dapat dikonversi menjadi nilai suhu melalui rangkaian pengukuran seperti *bridge circuit* atau transmitter 4–20 mA.

PT100 tersedia dalam berbagai konfigurasi, yaitu *2 wire*, *3 wire*, dan *4 wire*, di mana tipe

3 wire dan 4 wire memberikan kompensasi yang lebih baik terhadap resistansi kabel. Sensor ini cocok untuk aplikasi laboratorium maupun proses industri, termasuk sistem pemanas, pengendalian suhu berbasis PID, pemantauan proses kimia, dan ekstraksi senyawa bioaktif, karena mampu bekerja pada rentang suhu luas (-200 hingga 600°C) serta menghasilkan pembacaan yang stabil dan presisi.

5. Solid State Relay

Solid state relay (SSR) adalah sakelar elektronik yang berfungsi mengendalikan arus listrik tanpa menggunakan bagian mekanik, melainkan melalui komponen semikonduktor seperti triac, thyristor, atau transistor. SSR bekerja sangat cepat, tidak menimbulkan percikan listrik, dan memiliki umur operasi yang lebih panjang dibandingkan relay mekanik. Komponen ini juga mampu beroperasi dengan lebih senyap karena tidak ada kontak yang bergerak.

Selain itu, SSR mampu menangani switching frekuensi tinggi sehingga cocok untuk sistem kontrol suhu yang membutuhkan respon presisi. SSR juga memiliki kestabilan yang baik terhadap getaran dan lingkungan keras. Oleh karena itu, SSR banyak digunakan dalam sistem industri, otomatisasi, dan pengendalian beban pemanas berbasis PID.

6. Elemen Pemanas dan *Stirrer*

Elemen pemanas dan *stirrer* merupakan komponen penting dalam berbagai proses laboratorium maupun industri yang memerlukan pengaturan suhu dan homogenisasi larutan secara simultan. Elemen pemanas bekerja dengan mengubah energi listrik menjadi panas melalui resistansi, sehingga mampu mempertahankan suhu secara stabil pada rentang tertentu sesuai kebutuhan proses; elemen ini biasanya terbuat dari bahan tahan panas seperti nichrome atau keramik sehingga memiliki durabilitas tinggi.

Sementara itu, *stirrer* berfungsi menghasilkan pencampuran yang merata dengan meminimalkan gradien suhu dan konsentrasi dalam larutan, sehingga mempercepat proses reaksi, ekstraksi, atau pelarutan. Pada *stirrer* magnetik, putaran dihasilkan oleh medan magnet dari motor atau induksi elektromagnetik yang memutar batang pengaduk (*stir bar*) di dalam bejana dengan operasi yang halus dan minim getaran.

Kombinasi antara pemanas dan *stirrer* dalam perangkat seperti hot plate *stirrer* memberikan kontrol yang lebih baik terhadap proses termal dan mekanik, meningkatkan efisiensi, konsistensi hasil, serta cocok untuk aplikasi seperti ekstraksi kafein, reaksi kimia, fermentasi skala kecil, dan preparasi sampel laboratorium.

7. Rancangan Faktorial 2^n

Rancangan faktorial 2^n adalah metode dalam desain eksperimen yang digunakan untuk meneliti pengaruh beberapa faktor secara simultan, di mana setiap faktor memiliki dua level seperti tinggi-rendah atau panas-dingin. Seluruh kombinasi level dari setiap faktor diuji sehingga tidak hanya menggambarkan pengaruh utama (*main effect*), tetapi juga interaksi antar faktor yang menunjukkan bagaimana perubahan pada satu faktor dipengaruhi oleh faktor lainnya.

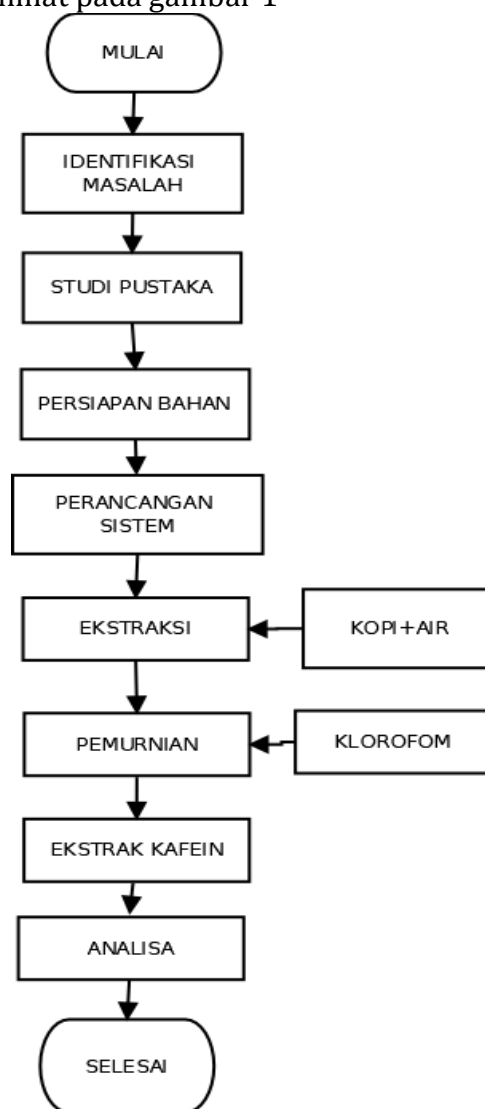
Jumlah percobaan dalam rancangan ini adalah 2 pangkat jumlah faktor (n), sehingga semakin banyak faktor maka kombinasi percobaan semakin besar, namun tetap lebih efisien dibandingkan metode satu faktor dalam satu waktu (OFAT). Analisis faktorial 2^n umumnya meliputi perhitungan efek, ANOVA, serta grafik seperti main effect plot dan interaction plot untuk memahami pola pengaruh antar variabel.

Dalam praktiknya, perangkat lunak statistik seperti minitab sering digunakan untuk analisa karena mampu menghasilkan rancangan percobaan, menghitung signifikansi setiap faktor percobaan, menampilkan visualisasi interaksi dari setiap faktor, serta menyediakan *response optimizer* untuk menentukan kondisi terbaik secara otomatis. Dengan dukungan minitab, analisis faktorial 2^n menjadi lebih cepat, akurat, dan mudah diinterpretasikan sehingga banyak digunakan dalam penelitian teknik, kimia, pangan, dan proses industri untuk memperoleh pemahaman menyeluruh tentang sistem dengan hemat waktu dan biaya.

METODE PENELITIAN

1. Diagram Alur Penelitian

Alur penelitian dapat dilihat pada gambar 1



Gambar 1. Diagram alur penelitian

2. Desain Penelitian

Penelitian menggunakan rancangan faktor 2 faktorial dengan 2 level. Rancangan penelitian dapat dilihat pada tabel 1

Tabel 1. Rancangan faktorial 2^n

Sampel	Kopi:pelarut	Suhu ($^{\circ}\text{C}$)	Waktu (menit)
1	1:10	60	15
2	1:10	70	15
3	1:15	60	15

3. Analisa Data

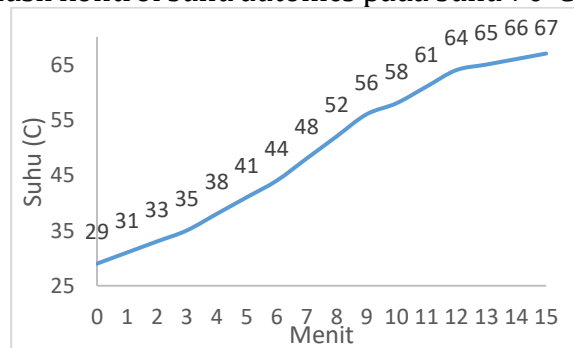
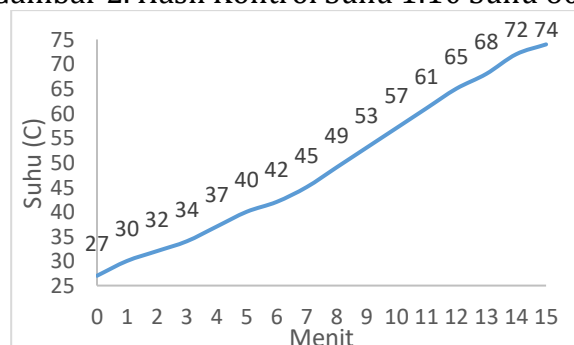
Data utama yang dikumpulkan pada penelitian ini berupa kadar kafein hasil ekstraksi pada setiap kombinasi perlakuan rasio kopi: pelarut dan suhu ekstraksi. Analisis dilakukan secara kuantitatif dengan menghitung nilai rata-rata setiap perlakuan dan ulangan, kemudian dibandingkan untuk melihat kecenderungan peningkatan atau penurunan kadar kafein.

Untuk menentukan pengaruh masing-masing faktor dan interaksi antarvariabel, digunakan metode rancangan faktorial 2^n . Melalui perhitungan efek utama dan efek interaksi dapat diidentifikasi faktor mana yang memberikan kontribusi paling signifikan terhadap hasil ekstraksi kafein.

Selain kadar kafein, penelitian ini menghasilkan data respons sistem kontrol suhu selama proses pemanasan dan ekstraksi. Data diperoleh dalam bentuk grafik suhu terhadap waktu. Analisis dilakukan dengan mengevaluasi performa kontrol PID autotuning dalam mencapai dan mempertahankan suhu set point pada 60°C dan 70°C .

HASIL DAN PEMBAHASAN

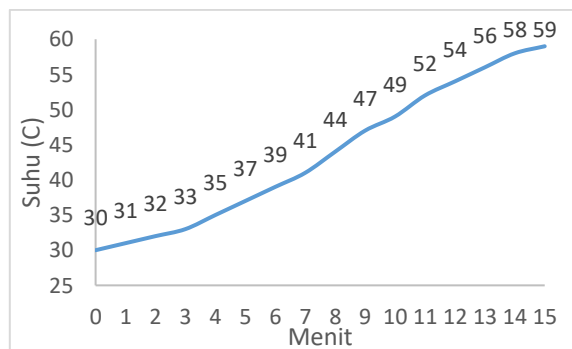
Hasil kontrol suhu ekstraksi kafein 1:10 dengan PID autonics dapat pada suhu 60°C dapat dilihat pada gambar 2. Hasil kontrol suhu autonics pada suhu 70°C dapat dilihat pada gambar 3.

Gambar 2. Hasil Kontrol Suhu 1:10 Suhu 60°C Gambar 3. Hasil Kontrol Suhu 1:10 Suhu 70°C

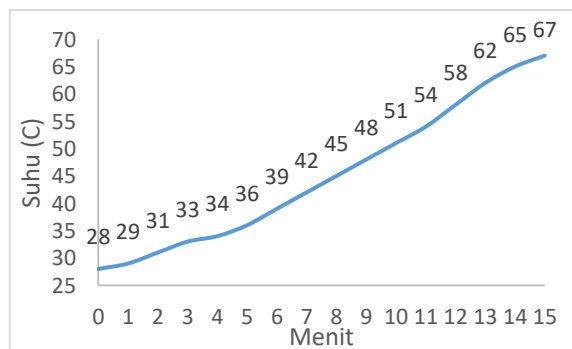
Pada target suhu 60°C sistem kontrol suhu mengalami *overshot* sebesar 7°C dan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu yang ditentukan adalah 11 menit. Parameter autotuning yaitu $P = 4,5$, $I = 180$ detik, dan $D = 40$ detik. Pada target suhu 70°C sistem kontrol suhu mengalami *overshot* sebesar 4°C dan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu yang ditentukan adalah 14 menit. Parameter autotuning yaitu $P = 3,7$, $I = 147$ detik, dan $D = 32$ detik.

Sistem kontrol suhu pada sistem masih mengalami *overshot* yang cukup besar terutama pada *setpoint* 60°C, hal ini disebabkan karena volume pelarut yang relatif sedikit, sehingga laju peningkatan suhu menjadi lebih cepat. Akibatnya, aksi pemanasan melebihi nilai yang diperlukan sebelum PID sempat menstabilkan suhu pada titik *setpoint*. Sedangkan pada *setpoint* 70°C *overshot* pada sistem lebih kecil karena *overshoot* volume pelarut membutuhkan daya panas yang lebih besar untuk menaikkan suhu, sehingga laju pemanasan lebih lambat dan sistem PID lebih mudah menstabilkan suhu tanpa kenaikan berlebih.

Hasil kontrol suhu ekstraksi kafein 1:15 dengan PID autonics dapat pada suhu 60°C dapat dilihat pada gambar 4. Hasil kontrol suhu autonics pada suhu 70°C dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 4. Hasil Kontrol Suhu 1:15 Suhu 60°C



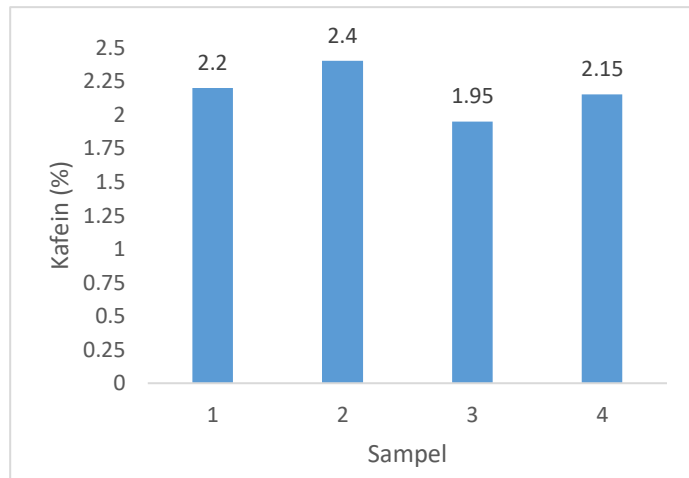
Gambar 5. Hasil Kontrol Suhu 1:15 Suhu 70°C

Pada target suhu 60°C sistem kontrol suhu tidak mampu mencapai suhu 60°C, sistem mengalami kondisi *underdamped*. Parameter autotuning yaitu $P = 4$, $I = 160$ detik, dan $D = 37$ detik. Pada target suhu 70°C sistem kontrol suhu tidak mampu mencapai suhu 70°C, sistem mengalami kondisi *underdamped*. Parameter autotuning yaitu $P = 4,9$, $I = 155$ detik, dan $D = 47$ detik.

Sistem kontrol suhu pada perbandingan kopi: pelarut 1:15 dapat dikatakan kurang berhasil karena sistem tidak mampu mencapai target suhu yang ditetapkan. Kondisi ini

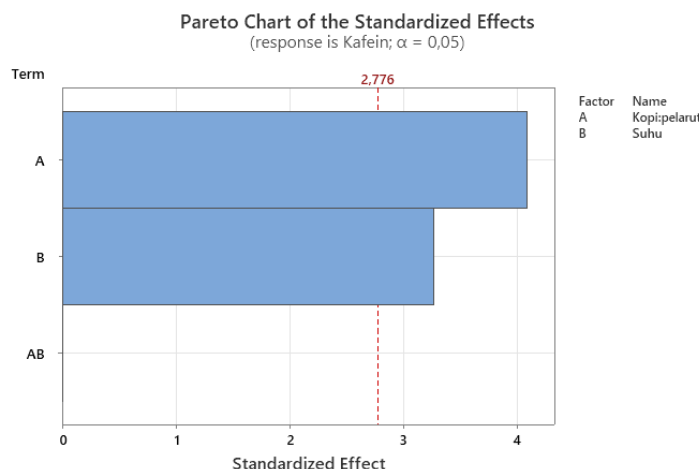
menunjukkan bahwa kapasitas pemanas tidak mencukupi untuk volume pelarut yang lebih besar, sehingga diperlukan penambahan *heater*, baik dengan menambah jumlah maupun meningkatkan daya pemanas yang digunakan.

Hasil ekstraksi kafein dari biji kopi dapat dilihat pada gambar 6.

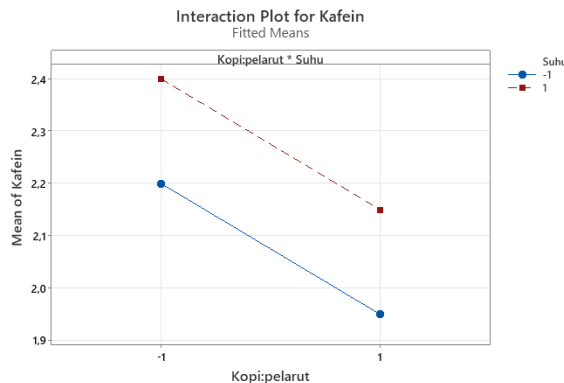


Gambar 6. Hasil Ekstraksi Kafein

Hasil kafein terbanyak terdapat pada sampel 2 dengan kadar 2,4%. Hasil kafein terendah terdapat pada sampel 3 dengan kadar 1,95%. Kadar kafein pada perbandingan kopi:pelarut 1:10 diperoleh lebih tinggi dibandingkan dengan sampel pada rasio 1:15. Perbedaan ini terutama disebabkan oleh kemampuan sistem mencapai suhu *setpoint* pada rasio 1:10, di mana volume pelarut yang lebih sedikit memungkinkan peningkatan suhu berlangsung lebih cepat dan stabil. Dengan tercapainya suhu ekstraksi sesuai yang ditetapkan, proses ekstraksi kafein dari kopi berlangsung lebih optimal. Sebaliknya, pada rasio 1:15, volume pelarut yang lebih besar membuat sistem membutuhkan daya pemanas lebih tinggi sehingga suhu sulit mencapai *setpoint*. Akibatnya, efisiensi ekstraksi menurun dan jumlah kafein yang terekstrak menjadi lebih sedikit. Hasil analisa menggunakan perangkat lunak minitab dapat dilihat pada gambar 7 dan gambar 8.



Gambar 7. Pareto Chart Ekstraksi Kafein



Gambar 8. Plot Interaksi Sampel

Hasil *pareto chart* dari minitab menunjukkan bahwa faktor yang berpengaruh terhadap kadar kafein adalah perbandingan kopi: pelarut dan suhu ekstraksi. Dari minitab didapatkan bahwa perbandingan kopi: pelarut sangat berpengaruh karena hal ini menentukan apakah sistem dapat mencapai *setpoint* suhu yang ditentukan. Dari *pareto chart* suhu juga berpengaruh terhadap jumlah kafein yang diekstrak.

Dari gambar plot interaksi dapat dilihat bahwa tidak terdapat titik temu antara sampel 1 hingga sampel 4, sehingga dapat dikatakan tidak terjadi interaksi yang signifikan antara faktor rasio kopi: pelarut dan suhu ekstraksi. Setiap perlakuan menunjukkan pola respons yang berbeda dan tidak saling berpotongan, menandakan bahwa setiap faktor bekerja secara independen dalam mempengaruhi kadar kafein yang terekstraksi.

KESIMPULAN

Sistem kontrol suhu dengan menggunakan PID autotuning masih memerlukan *finetuning* untuk mencapai kondisi yang optimal. Sistem kontrol suhu dengan PID autotuning yang memberikan hasil ekstraksi kafein yang paling besar terdapat pada sampel dengan perbandingan kopi: pelarut yaitu 1:10. Kadar kafein paling banyak yang didapat yaitu 2,4% pada sampel 2, hal ini dikarenakan sistem kontrol suhu cepat untuk mencapai target suhu yaitu 70°C dengan parameter $P = 3,7$, $I = 147$ detik, dan $D = 32$ detik. Sistem kontrol suhu memerlukan penyesuaian parameter PID untuk mendapatkan hasil yang lebih optimal, atau bisa mengganti sistem kontrol suhu dengan metode seperti fuzzy.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abriyani, E., Rahmad, R., & Widayanti, A. (2023). Pengaruh suhu dan waktu terhadap kadar kafein hasil dekafeinasi biji kopi Robusta menggunakan etil asetat. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 24(2), 101–110. <https://doi.org/10.21776/ub.jtp.2023.024.02.3>
- [2] Abriyani, E., Yanti, D., Yuliani, S. S. A., & Firdaus, M. A. (2022). Analisis kafein dalam kopi menggunakan metode spektrofotometri UV-VIS. *Journal of Comprehensive Science*, 1(5), 1398–1409.
- [3] Anggraeni, D., Saputra, A. I., & Sakti, S. P. (2025). Optimasi parameter PID pada sistem kontrol suhu alat roasting biji kopi. *Jurnal Fisika Unand*, 14(2), 145–151. <https://doi.org/10.25077/jfu.14.2.145-151.2025>
- [4] Firdaus, S. M., Rosyidah, M., Permadi, A., Sulistiawati, E., & Wardhana, B. S. (2024, November). Optimasi proses ekstraksi maserasi: Analisis terhadap variabel yang

- berpengaruh. *Semnas Inovasi dan Teknologi (SEMNASINTEK)*, Universitas Ahmad Dahlan, 138–143.
- [5] Pham Phuoc, N., & Nguyen Tran, P. (2012). Effect of time and water temperature on caffeine extraction from coffee. *Pakistan Journal of Nutrition*, 11(2), 100–103. <https://doi.org/10.3923/pjn.2012.100.103>
- [6] Putri, S. K., Darmawati, D., & Sari, F. M. (2024). Analisa kadar kafein pada kopi Robusta (*Coffee canephora*) yang diolah secara tradisional dan modern. *JoMLaT*, 1(1), 6–10.
- [7] Rahmawati, I., & Asrori, S. H. (2024). Comparative analysis of caffeine content in cold and hot brewed Robusta coffee using high-performance liquid chromatography (HPLC). *Jurnal Kimia dan Pendidikan Kimia*, 9(1), 15–25. <https://doi.org/10.20961/jkpk.v9i1.84991>
- [8] Santoso, B., Siregar, M. R. T., Multi, A., & Ridwan, M. (2023). Analisis otomatisasi kalibrator tekanan udara portabel dengan pengontrol PID dengan metode Ziegler–Nichols dan Åström–Hägglund. *Jurnal Penelitian dan Pengkajian Sains dan Teknologi (Sainstech)*, 33(1), 45–51. <https://doi.org/10.37277/stch.v33i1.1536>
- [9] Suhaimi, M. N., Murtono, A., & Fathoni. (2022). Sistem mesin roasting kopi guna peningkatan kualitas produk petani berbasis mikrokontroler dengan metode PID. *Jurnal Elkolind*, 9(3), 191–198. <https://doi.org/10.33795/elkolind.v9i3/403>
- [10] Syamsul, E. S., Amanda, N. A., & Lestari, D. (2020). Perbandingan ekstrak lamur *Aquilaria malaccensis* dengan metode maserasi dan refluks. *Jurnal Riset Kefarmasian Indonesia*, 2(2), 97–104.
- [11] Yuliyana, H., Marliza, H., Badar, M., & Yusri, Y. F. (2021). Analisis kadar kafein pada minuman kopi import yang beredar di Kota Batam menggunakan metode spektrofotometri UV. *Ahmar Metastasis Health Journal*, 1(3), 106–111.