Rancang Bangun Mesin Pengaduk dan Perebus Otomatis Sari Kedelai pada UMKM Sari Kedelai Mutiara

Adi Pratama[*1], Miftakhul Huda[2] , Septriandi Wirayoga[3]

[1,2,3] Prodi Teknik Elektronika, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, Indonesia
Email: [1]2241190029@student.polinema.ac.id, [2]miftakhul.huda@polinema.ac.id,
[3]yoga.septriandi@polinema.ac.id

Nomor Handphone : 083173304038

Abstrak

Sari kedelai dikenal sebagai minuman nabati yang nilai gizinya hampir setara dengan susu sapi, sehingga banyak dikonsumsi oleh masyarakat yang memiliki pantangan terhadap produk hewani. Di UMKM Sari Kedelai Mutiara, proses pembuatan masih mengandalkan cara manual, terutama pada tahap perebusan dan pengadukan. Kondisi ini membuat kualitas hasil sangat bergantung pada keterampilan dan konsistensi operator. Penelitian ini mencoba menawarkan solusi berupa mesin otomatis yang dikendalikan oleh Arduino Uno, dilengkapi sensor *thermocouple* tipe-K untuk memantau suhu dan sensor *Hall effect* A3144 untuk membaca kecepatan putar motor. Motor DC wiper dipilih sebagai penggerak pengaduk, sedangkan besaran kecepatannya diatur melalui metode PID dengan parameter hasil tuning Ziegler-Nichols orde satu. Dari proses identifikasi sistem diperoleh nilai L = 1 detik dan T = 3,64 detik, yang kemudian digunakan untuk menghitung konstanta PID, yaitu Kp = 4,368, Ki = 2,184, dan Kd = 2,184. Hasil uji coba memperlihatkan bahwa *thermocouple* memiliki tingkat akurasi 98% dengan error rata-rata 2,01%, sensor *Hall effect* mencapai akurasi 99,64% dan error hanya 0,36%. Saat diuji pada setpoint 90 RPM, sistem memberikan respon dengan *rise time* 31 detik, *peak time* 53 detik, *settling time* 33 detik, *overshoot* 0,3%, dan *error steady-state* 0,11%. Alat ini juga terbukti mampu menjalankan seluruh siklus produksi secara otomatis, mulai dari pemanasan, pengadukan, hingga tahap holding suhu, tanpa intervensi berarti dari operator.

Kata kunci: *Hall effect*, motor DC *wiper*, PID, sari kedelai, *thermocouple*

Abstract

Soy milk is a plant-based beverage with nutritional value comparable to cow's milk, making it a popular choice for those with dietary restrictions against animal products. At the Sari Kedelai Mutiara MSME, the production process still relies heavily on manual methods, particularly during boiling and stirring. This results in product quality that depends largely on the operator's skill and consistency. This study proposes an automated machine controlled by an Arduino Uno, equipped with a Type-K thermocouple for temperature monitoring and an A3144 Hall effect sensor for rotational speed measurement. A DC wiper motor is used as the stirrer, with speed regulated through a PID controller tuned using the first-order Ziegler-Nichols method. System identification yielded L = 1 s and T = 3.64 s, from which the PID constants were derived: Kp = 4.368, Ki = 2.184, and Kd = 2.184. Test results show that the thermocouple achieves 98% accuracy with an average error of 2.01%, while the Hall effect sensor reaches 99.64% accuracy with only 0.36% error. At a 90 RPM setpoint, the system responds with a rise time of 31 s, peak time of 53 s, settling time of 33 s, overshoot of 0.3%, and steady-state error of 0.11%. The machine successfully performs the entire production cycle automatically—from heating and stirring to temperature holding—without significant operator intervention.

Keywords: *Hall effect, PID, soy milk, thermocouple, wiper DC motor*

This work is an open access article and licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0)

1. PENDAHULUAN

Sari kedelai merupakan salah satu produk olahan kedelai yang diperoleh melalui proses ekstraksi biji kedelai menggunakan air. Produk ini banyak dikonsumsi sebagai alternatif minuman berbasis nabati karena memiliki kandungan gizi yang cukup baik. Dalam proses pembuatannya, tahapan pemanasan dan pengadukan menjadi bagian penting yang memerlukan perhatian agar proses dapat berlangsung sesuai kondisi yang diharapkan.

UMKM Sari Kedelai Mutiara merupakan salah satu usaha yang memproduksi sari kedelai. Berdasarkan pengamatan pada proses produksi, pengaturan pemanasan dan pengadukan masih dilakukan secara manual. Pengaturan api dilakukan dengan memutar knop kompor secara langsung, sedangkan pengadukan dilakukan oleh operator menggunakan centong. Kondisi tersebut menyebabkan operator harus terlibat secara langsung dalam pemantauan proses dan pengadukan sampai busa yang terbentuk setelah pemanasan berkurang.

Penggunaan sistem otomatis dapat menjadi salah satu pendekatan untuk mengurangi pekerjaan manual tersebut. Pemantauan suhu dapat digunakan sebagai acuan untuk menentukan tahapan proses, sedangkan kecepatan motor pengaduk dapat dikendalikan agar bekerja pada nilai yang telah ditentukan. Pada penelitian ini, *thermocouple Type*-K digunakan untuk membaca suhu sari kedelai dan menentukan perpindahan tahapan proses. Sementara itu, sensor *Hall effect* digunakan untuk membaca kecepatan putaran motor dan memberikan sinyal umpan balik kepada pengendali PID.

Penelitian terdahulu yang menjadi dasar pengembangan menunjukkan bahwa proses pengadukan dapat memengaruhi karakteristik busa pada sari kedelai. Oleh karena itu, pengadukan pada penelitian ini dirancang sebagai salah satu tahapan setelah pemanasan untuk membantu mengurangi busa yang terbentuk. Berbeda dengan pengaturan secara manual, motor pengaduk dikendalikan menggunakan PID dengan setpoint 90 RPM sehingga perubahan beban selama proses pengadukan dapat dikompensasi melalui perubahan sinyal kendali.

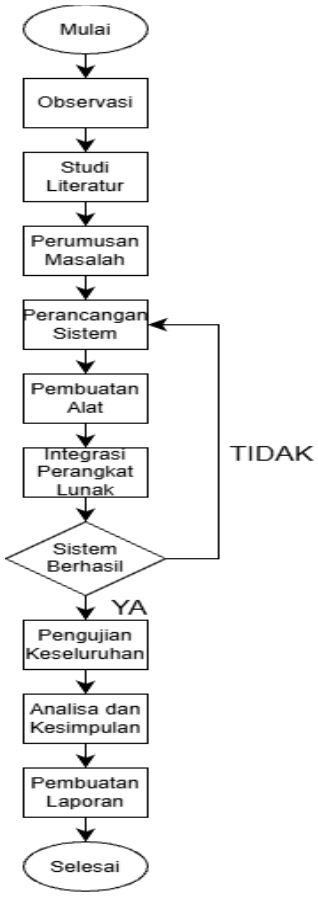
Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini berfokus pada perancangan dan pembangunan mesin pengaduk dan perebus otomatis sari kedelai yang mengintegrasikan pemantauan suhu, pengaturan proses pemanasan, serta pengendalian kecepatan motor pengaduk berbasis PID. Kinerja sistem dievaluasi melalui pengujian sensor, identifikasi sistem, pengujian respons PID pada beberapa volume sari kedelai, serta pengujian sistem secara keseluruhan. Parameter respons yang digunakan untuk mengevaluasi pengendalian meliputi rise time, peak time, settling time, maximum *overshoot*, dan error steady-state.

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah metode *Research* dan *Development* atau riset dan pengembangan. Metode penelitian dan pengembangan (R&D) diterapkan ketika bertujuan untuk menghasilkan produk tertentu sekaligus menguji efektivitasnya. Melalui metode R&D, diharapkan dapat ditemukan dan diuji produk-produk baru yang bermanfaat bagi kehidupan manusia, lembaga, dan masyarakat. Pada penelitian ini akan dilakukan sebuah rancang dan bangun sebuah alat yang mampu mengatur suhu dan pengadukan secara otomatis pada proses perebusan sari kedelai.

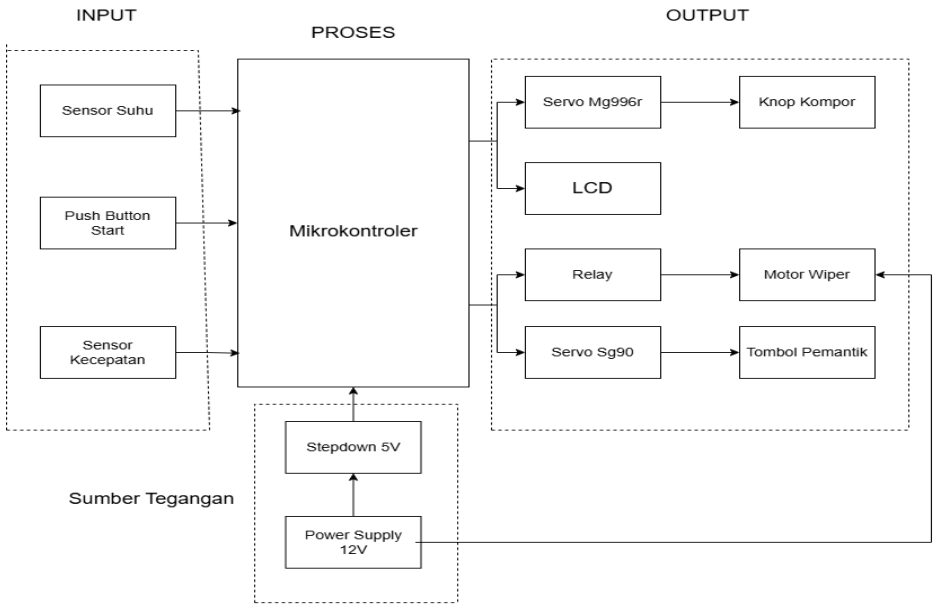
2.1 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian dilakukan secara berurutan meliputi observasi, studi literatur, perumusan masalah, perancangan sistem, pembuatan alat, integrasi perangkat lunak. Jika pada tahap integrasi perangkat lunak berhasil maka akan dilanjutkan pada tahap pengujian alat secara keseluruhan. Namun apabila pada tahap tersebut terdapat kesalahan atau error maka dilakukan pada tahap perancangan sistem. Setelah pengujian alat berhasil akan dilakukan analisa dan kesimpulan kemudian dilanjutkan dengan penulisan laporan. Urutan hal tersebut bisa dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Tahapan Penelitian

2.2 Diagram Blok Sistem



Gambar 2 Diagram Blok Sistem

Berdasarkan diagram blok di Gambar 2 , alat ini beroperasi dengan sumber energi utama dari power supply, yang kemudian didistribusikan ke semua bagian sistem lewat modul *step down* 5V untuk menyesuaikan tegangan dengan apa yang dibutuhkan mikrokontroler dan sensor. Sistem dimulai dengan menekan tombol start, kemudian proses pemanasan berjalan dan sensor *thermocouple* digunakan untuk membaca suhu sari kedelai di dalam wadah. Hasil pembacaan suhu dikirimkan ke mikrokontroler untuk

dipantau selama proses pemanasan. Ketika suhu sari kedelai telah mencapai 100°C, sistem akan memberikan perintah untuk mengaktifkan motor pengaduk.

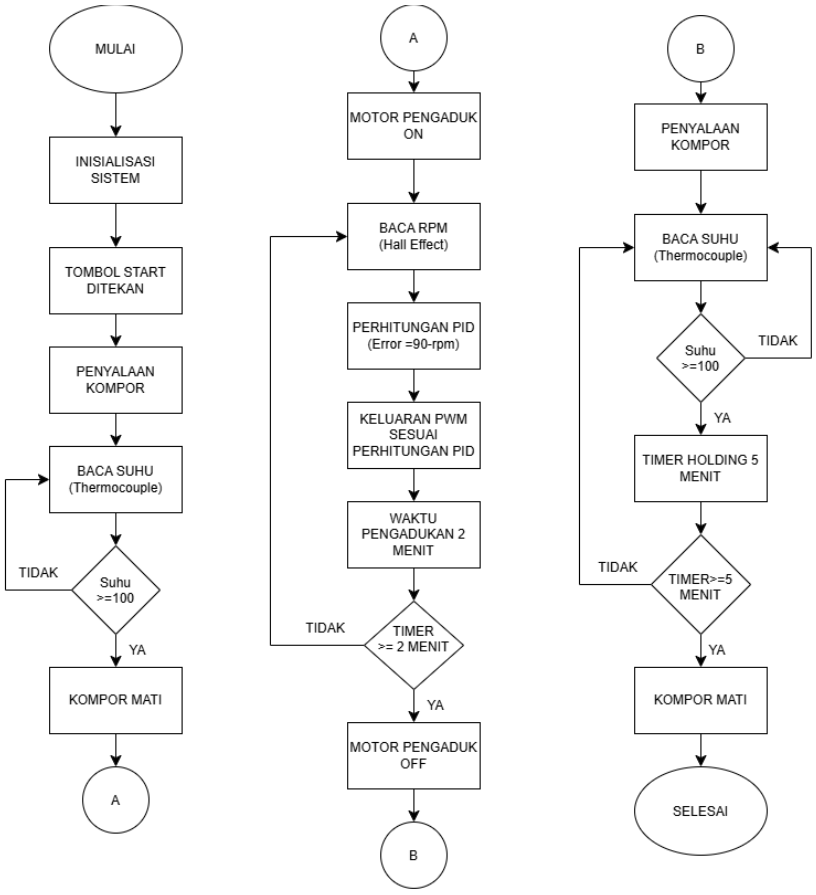
Motor DC *wiper* digunakan sebagai penggerak pengaduk dan dikendalikan menggunakan driver BTS7960. Kecepatan putaran motor dibaca menggunakan sensor *Hall effect* dengan bantuan magnet yang dipasang pada bagian yang berputar. Data RPM tersebut dikirimkan ke mikrokontroler sebagai umpan balik untuk pengendali PID. Pengendali PID kemudian mengatur keluaran PWM menuju driver BTS7960 agar kecepatan motor dapat dipertahankan mendekati setpoint 90 RPM.

Selama proses berlangsung, suhu sari kedelai tetap dipantau menggunakan *thermocouple*, sedangkan kecepatan motor dipantau melalui sensor *Hall effect*. Data suhu dan RPM ditampilkan pada LCD sehingga kondisi proses dapat dilihat secara langsung. Setelah proses pengadukan berlangsung selama 2 menit, motor pengaduk dihentikan dan sistem melanjutkan tahapan berikutnya sesuai program yang telah ditentukan.

Oleh karena itu, kontrol suhu diterapkan secara diskrit (*ON/OFF*) berdasarkan pembacaan *thermocouple*, berbeda dengan kontrol kecepatan motor yang menerapkan metode PID.. Suhu 100°C digunakan sebagai kondisi untuk menentukan kapan proses pengadukan dimulai, sedangkan PID digunakan untuk mempertahankan kecepatan motor pengaduk pada 90 RPM.

2.3 Perancangan Logika Sistem

Perancangan logika sistem menggambarkan alur kerja dan proses pengendalian Pada mesin perebus dan pengaduk otomatis sari kedelai. Untuk alur logika sistem ini dapat di tunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3 *Flowchart* Sistem

Proses diawali dengan inisialisasi sistem, yaitu alat berada dalam kondisi aman dan *standby* sebelum proses dimulai. Ketika PB Start ditekan, sistem memulai proses perebusan awal. Pada tahap ini, *thermocouple* membaca suhu sari kedelai secara terus-menerus hingga mencapai 100°C. Jika suhu belum mencapai setpoint, proses perebusan tetap berlangsung.

Setelah suhu mencapai 100°C, servo katup gas dikembalikan ke posisi 0° sehingga aliran gas terhenti dan kompor mati. Selanjutnya, motor pengaduk aktif selama 2 menit dengan kontrol kecepatan

berbasis PID menggunakan setpoint 90 RPM. Sensor *Hall effect* membaca RPM aktual sebagai umpan balik, kemudian error antara RPM aktual dan setpoint diproses oleh PID untuk menghasilkan nilai PWM yang diberikan kepada driver BTS7960. Nilai PWM disesuaikan secara terus-menerus agar kecepatan motor tetap mendekati 90 RPM. Setelah waktu pengadukan 2 menit tercapai, motor pengaduk dimatikan.

Tahap berikutnya adalah perebusan kedua, yaitu servo katup gas dibuka kembali dan pemantik menyalakan kompor. Sistem kembali memantau suhu menggunakan *thermocouple* hingga mencapai 100°C. Setelah suhu tercapai, sistem memasuki tahap holding selama 5 menit dengan kondisi perebusan dipertahankan. Setelah waktu *holding* terpenuhi, seluruh proses dinyatakan selesai dan sistem berada dalam kondisi nonaktif.

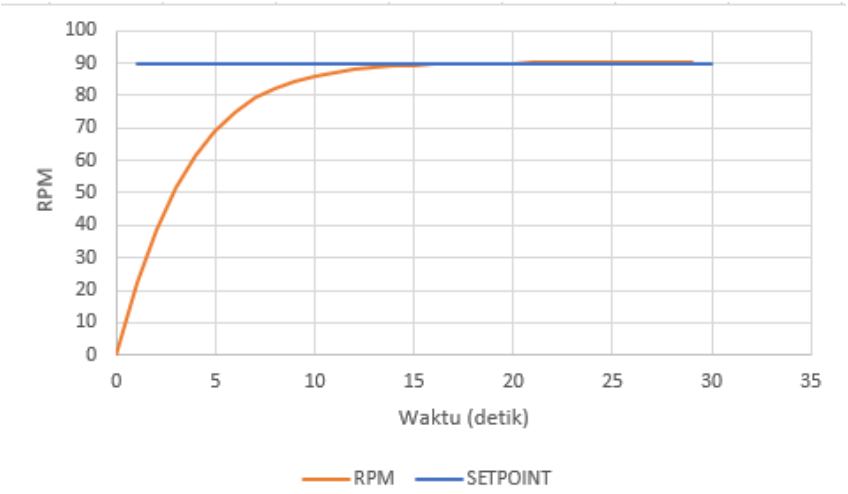
2.4 Perancangan Kontrol PID

Proses penentuan parameter PID pada penelitian ini menggunakan metode Ziegler–Nichols kurva reaksi (orde satu). Metode ini digunakan untuk mendapatkan parameter pengendali berdasarkan respons kecepatan motor terhadap perubahan masukan. Tahapan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Sistem motor dijalankan tanpa aksi kontrol PID (*open-loop*).
2. Motor diberikan masukan berupa PWM melalui driver BTS7960.
3. Kecepatan putaran motor dibaca menggunakan sensor *Hall effect* dan dicatat terhadap waktu.
4. Data hasil pengujian digunakan untuk membentuk grafik hubungan antara waktu dan kecepatan motor.
5. Dari grafik respons ditentukan nilai L (waktu tunda) dan T (konstanta waktu)

Berdasarkan grafik open loop pada Gambar 4 ,diperoleh:

- L = 1 detik
- T = 3,64 detik



Gambar 4 Respon *Open Loop*

Selanjutnya parameter PID dihitung menggunakan rumus tuning Ziegler-Nichols orde satu sebagai berikut:

Perhitungan nilai Kp

$$Kp = 1{,}2 \times \frac{T}{L} = 1{,}2 \times \frac{3{,}64}{1} = 4{,}368 \quad (1)$$

Perhitungan nilai Ti

$$Ti = 2 \times L = 2 \times 1 = 2 \quad (2)$$

Perhitungan nilai Td

$$Td = 0{,}5 \times L = 0{,}5 \times 1 = 0{,}5 \quad (3)$$

Perhitungan Nilai Ki

$$Ki = \frac{\text{Kp}}{\text{Ti}} = \frac{4{,}368}{2} = 2{,}184 \quad (4)$$

Perhitungan nilai Kd

$$Kd = Kp \times Td = 4{,}368 \times 0{,}5 = 2{,}184 \quad (5)$$

Tabel 1 Parameter PID Hasil Tuning Ziegler-Nichols

Parameter	Nilai
Kp	4,368
Ki	2,184
Kd	2,184

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Kalibrasi Sensor *Thermocouple*

Untuk memastikan sensor *thermocouple* sesuai dan dapat digunakan sebagai pengukur suhu pada penelitian kali ini maka perlu dilakukan kalibrasi terlebih dahulu seperti pada Tabel 2.

Tabel 2 Kalibrasi Sensor *Thermocouple*

No	Sensor *Thermocouple* Tipe-K (°C)	Termometer Digital (°C)	Selisih Nilai	Error	Akurasi
1	34,2	32.9	1,3	3,95%	96.05%
2	50,1	48.7	1,4	2,87%	97.13%
3	80	80.1	0,1	0,12%	99.88%
4	90	88.3	1,7	1,92%	98.08%
5	95	93.7	1,3	1,39%	98.61%
6	100	98.2	1,8	1,83%	98.17%
Rata-rata				2.01%	98%

Pengujian dilakukan dengan cara membandingkan nilai suhu cairan yang dibaca oleh sensor suhu *Thermocouple* dengan thermometer referensi dengan acuan 6 nilai parameter suhu. Berdasarkan data pengujian, selisih pembacaan terbesar terdapat pada pengujian suhu 90 °C dengan selisih sebesar 1,7 °C, sedangkan selisih terkecil terdapat pada suhu 80 °C dengan selisih sebesar 0,1 °C.

Untuk perhitungan error dan akurasi sensor dapat menggunakan rumus sebagai berikut :
Rumus Perhitungan Nilai *Error*:

$$Error(\%) = \frac{Hasil\ Sensor - Nilai\ Alat\ Ukur}{Nilau\ Alat\ Ukur} \times 100\% \quad (6)$$

Rumus Perhitungan Nilai Akurasi:

$$Akurasi(\%) = 100\% - Error(\%) \quad (7)$$

3.2. Kalibrasi Sensor *Hall Effect*

Untuk memastikan sensor *hall effect* sesuai dan dapat digunakan sebagai pengukur kecepatan pada penelitian kali ini maka perlu dilakukan kalibrasi terlebih dahulu seperti pada Tabel 3.

Tabel 3 Kalibrasi Sensor *Hall Effect*

No	Sensor *Hall Effect*	Tachometer Digital	Selisih Nilai	Error	Akurasi
1	34,5	34,9	0,4	1,15%	98,85%
2	50,8	50,7	0,1	0,19%	99,81%
3	100,4	100,1	0,3	0,29%	99,71%
4	119,2	119	0,2	0,16%	99,84%
5	120	120	0	0%	100%
Rata-rata				0.85%	99.65%

Pengujian dilakukan dengan memberikan nilai PWM yang berbeda beda lalu diukur dengan sensor dan tachometer referensi. Berdasarkan hasil pengujian didapat nilai rata-rata *error* sebesar 0,35% dengan presentase *error* tertinggi terdapat pada kecepatan 34 rpm. Selain itu juga didapat tingkat akurasi pembacaan sensor sebesar 99,65 % terhadap tachometer referensi. Hal tersebut menandakan bahwa sensor dapat dijadikan sebagai *feedback* PID pada sistem pengadukan. Untuk perhitungan nilai error dan akurasi sensor dapat dihitung mengunakan Persamaan (6) dan Persamaan (7).

3.2. Pengujian Driver Motor Dc

Pengujian driver BTS7960 dilakukan untuk mengetahui hubungan antara nilai PWM yang diberikan dengan kecepatan putaran motor. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4 Perubahan PWM Terhadap RPM

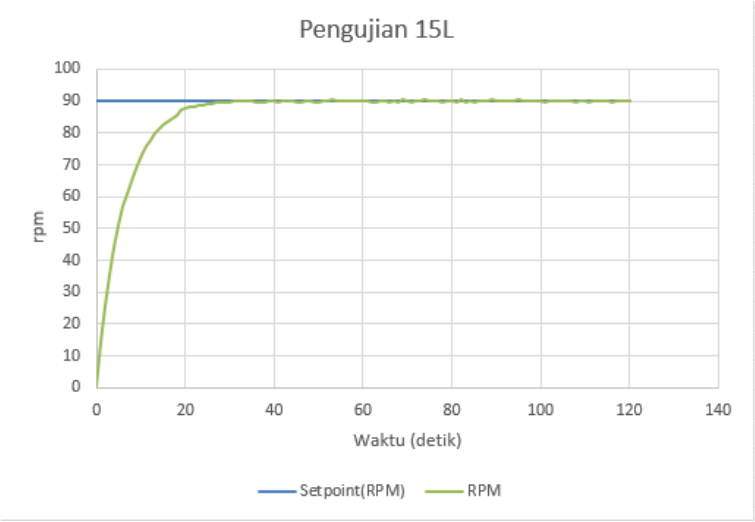
No	PWM	RPM
1	0	0.0
2	25	4.5
3	50	18.7
4	75	34.5
5	100	50.8
6	125	66.8
7	150	82.9
8	155	85.9
9	160	88.9
10	165	91.9
11	170	94.8
12	175	97.6
13	180	100.4
14	185	103.1
15	190	105.8
16	195	108.4
17	200	110.9
18	205	113.3
19	210	115.0
20	215	116.3
21	220	117.2
22	225	118.0
23	230	118.7
24	235	119.2
25	240	119.6

26	245	119.8
27	250	120.0
28	255	120.0

Berdasarkan grafik, semakin besar PWM yang diberikan ke driver, semakin besar pula nilai kecepatan motor. Namun, pada rentang PWM menengah (150-175), perubahan PWM masih menghasilkan perubahan RPM yang cukup besar. Ketika PWM mendekati nilai maksimum (200-255), kenaikan RPM mulai melandai karena motor mulai mendekati batas kecepatan maksimumnya.

3.3. Pengujian Kontrol PID pada Volume 15 Liter

Pengujian pada volume 15 liter dilakukan karena volume tersebut merupakan kapasitas produksi yang digunakan oleh UMKM Sari Kedelai Mutiara. Hasil pengujian kecepatan motor terhadap waktu ditunjukkan pada Gambar 5 .

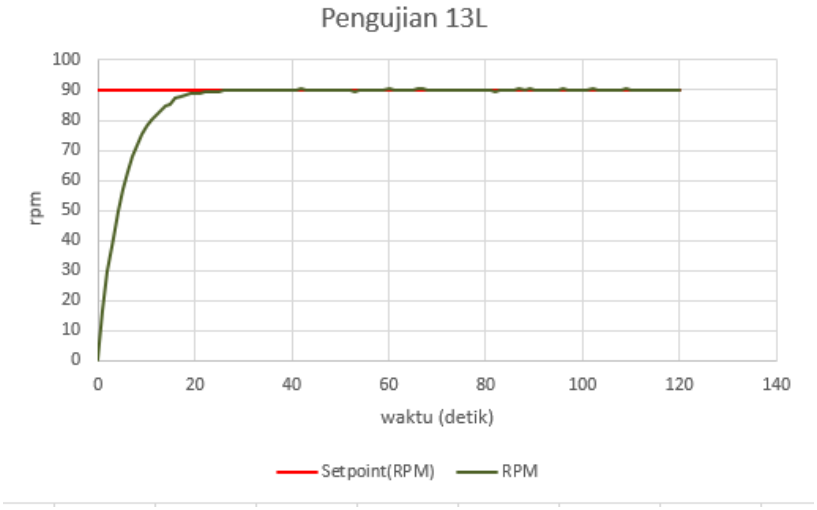


Gambar 5 Pengujian PID pada Volume 15 Liter

Berdasarkan grafik motor memiliki *rise time* 31 detik untuk mencapai setpoint 90 RPM. *Overshoot* yang terjadi sangat kecil (0,3%) menunjukkan sistem tidak mengalami lonjakan kecepatan yang berarti. *Settling time* 33 detik menunjukkan sistem mencapai kondisi tunak dalam waktu yang relatif singkat. *Error steady-state* 0,11% menunjukkan motor mampu mempertahankan kecepatan sangat dekat dengan *setpoint*.

3.4. Pengujian Kontrol PID pada Volume 13 Liter

Pengujian pada volume 13 liter dilakukan untuk mengetahui performa sistem pada beban yang lebih ringan. Hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 6.

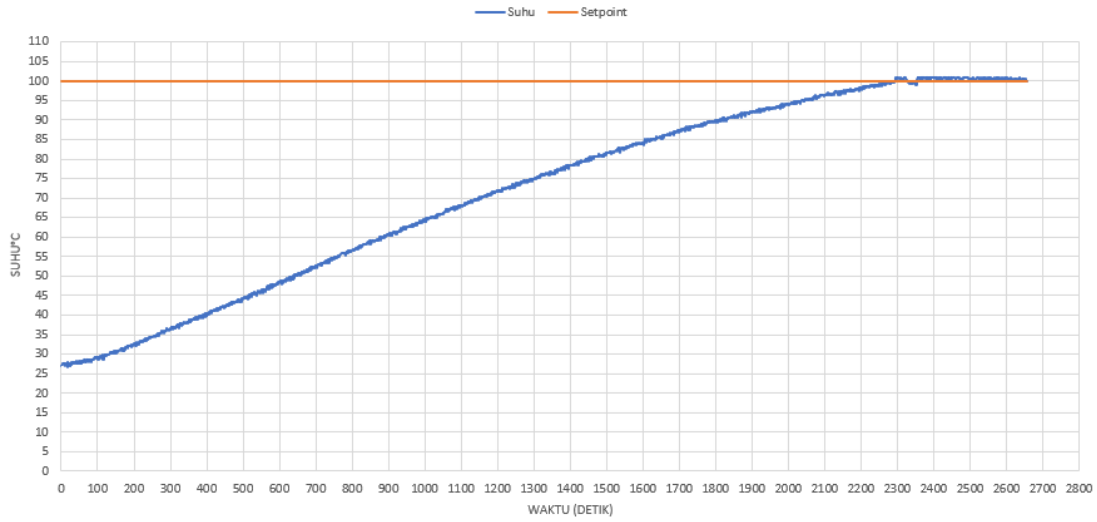


Gambar 6 Pegujian PID pada Volume 13 Liter

Berdasarkan grafik hasil pengujian motor memiliki *rise time* 28 detik untuk mencapai *setpoint* 90 RPM, sehingga membutuhkan waktu lebih singkat untuk mencapai *setpoint*. *Overshoot* yang terjadi sangat kecil (0,11%) menunjukkan sistem tidak mengalami lonjakan kecepatan yang berarti. Settling time 29 detik menunjukkan sistem mencapai kondisi tunak lebih cepat. *Error steady-state* 0,11% sama dengan pengujian dengan volume sebelumnya menunjukkan motor mampu mempertahankan kecepatan sangat dekat dengan *setpoint*.

3.5. Monitoring Suhu Selama Siklus Perebusan

Monitoring suhu dilakukan untuk melihat perubahan suhu sari kedelai selama seluruh proses berlangsung. Data suhu yang terbaca dicatat terhadap waktu dan ditampilkan pada Gambar 7.



Gambar 7 Monitoring Suhu Selama Perebusan

Berdasarkan grafik monitoring suhu selama satu siklus penuh menunjukkan bahwa sistem berhasil mengikuti alur yang diinginkan. Suhu naik dari suhu ruang sampai 100°C dalam waktu sekitar 30 menit, kemudian kompor mati dan suhu turun sedikit (sekitar 1°C) selama pengadukan berlangsung. Begitu pengadukan selesai, kompor menyala lagi dan suhu kembali ke 100°C, lalu dipertahankan selama 5 menit. Penurunan suhu 1°C ini tidak terlalu mengganggu karena masih dalam toleransi proses.

4. KESIMPULAN

Dari seluruh rangkaian perancangan dan pengujian yang sudah dilakukan, dapat ditarik beberapa kesimpulan penting. Pertama, mesin pengaduk dan perebus otomatis yang dibuat terbukti mampu menjalankan semua tahapan proses, mulai dari pemanasan sampai 100°C, pengadukan dua menit, pemanasan ulang, dan *holding* suhu, tanpa harus ada campur tangan operator di tengah jalan. Kedua, dari segi pengukuran, sensor *thermocouple* tipe-K menunjukkan akurasi 98% dengan error rata-rata 2,01%, sedangkan sensor *Hall effect* A3144 mencapai akurasi 99,65% dengan *error* hanya 0,35%, sehingga keduanya layak dipakai untuk keperluan monitoring dan kendali. Ketiga, sistem PID dengan parameter hasil tuning Ziegler-Nichols (Kp=4,368; Ki=2,184; Kd=2,184) mampu menjaga kecepatan motor tetap berada di sekitar 90 RPM dengan *overshoot* yang sangat kecil (0,3%) dan *error steady-state* 0,11%, yang berarti putaran pengaduk tetap stabil meskipun beban fluida berubah. Dengan demikian, alat ini dinilai cukup siap untuk diaplikasikan secara nyata di lingkungan UMKM Sari Kedelai Mutiara

5. DAFTAR PUSTAKA

[1] A. Pramestya, M. Rahmawaty, N. Khamdi, dan Hendriko, "Sistem Kontrol Suhu Pada Pemasak Mesin Pembuat Sari Kedelai Untuk Meningkatkan Produktivitas Sari Kedelai," *Jurnal Elkolind*, vol. 11, no. 1, hal. 65–74, Mei 2024, doi: 10.33795/elkolind.v11i1.3506

[2] C. Irawan, D. Suwandi, A. Kusmayadi, dan Y. N. Rohmat, "Rancang Bangun dan Pengujian Mesin Pengaduk Susu Kedelai dengan Variasi Bentuk Pengaduk," *Jurnal Machinery: Jurnal Teknologi Terapan*, vol. 5, no. 3, hal. 203–211, Nov. 2024, doi: 10.33795/machinery.v5i3.9572.

[3] G. T. Hadi dan A. Saputra, "Penggunaan Motor Wiper Untuk Mesin Pengangkut Sampah Selokan," *Jurnal Media Elektrik*, vol. 20, no. 3, hal. 37–44, Agt. 2023, doi: 10.59562/metrik.v20i3.5553.

[4] A. Hakim dan H. Effendi, "IoT-based motor speed monitoring using infrared sensor," *Jurnal JIAEE (Journal of Industrial Automation and Electrical Engineering)*, vol. 1, no. 2, hal. 118–124, Des. 2024, doi: 10.33795/jiaee.v1i2.18.

[5] C. Yohana Windra, "Penerapan Mikrokontroller Arduino Mega 2560 sebagai Monitoring pada Pembacaan Arus 3 Phasa di Gardu Induk 150 kV Lubuk Alung," *Jurnal Teknik Elektro Institut Teknologi Padang*, vol. 10, no. 1, hal. 37–45, Jan. 2021, doi: 10.21063/JTE.2021.31331007.

[6] P. T. Prakoso, B. Arifin, dan S. Alifah, "Analisis Kinerja dan Akurasi Sensor Thermocouple Tipe K dalam Sistem Pengendalian Suhu Reflow Soldering," *JUTITI (Jurnal Teknik Informatika dan Teknologi Informasi)*, vol. 5, no. 2, hal. 773–779, Agt. 2025, doi: 10.33795/jutiti.v5i2.5867.

[7] S. Muslimin, "Analisis Pulse Motor Servo Sebagai Penggerak Utama Lengan Robot Berjari Berbasis Mikrokontroler," *Proton: Jurnal Ilmu-Ilmu Teknik Mesin*, vol. 10, no. 1, hal. 1–5, Mar. 2018, doi: 10.31328/jp.v10i1.800.

[8] H. A. Pramoedya, B. Priyadi, dan M. Luqman, "Implementasi Kontrol PID Untuk Mengontrol Suhu dan Level Pada Alat Vending machine," *Jurnal Elektronika dan Otomasi Industri (Elkolind)*, vol. 10, no. 1, hal. 18–25, Mei 2023, doi: 10.33795/elkolind.v10i1.2745.

[9] M. Luqman, B. Anggraheny, Herwandi, dan A. Murtono, "Aplikasi dan unjuk kerja motor driver L-298 dan BTS7960 sebagai power switching pada inverter," *Jurnal Eltek*, vol. 23, no. 1, hal. 9–15, Apr. 2025, doi: 10.33795/eltek.v23i1.6656.

[10] T. Paramitha, M. Fauziyah, dan H. K. Safitri, "Implementasi Kontrol PID pada Pengaturan Kecepatan Motor DC Dalam Pengadukan Pupuk Organik Cair Berbasis Arduino," *Jurnal Elektronika dan Otomasi Industri (Elkolind)*, vol. 11, no. 2, hal. 328–339, Jul. 2024, doi: 10.33795/elkolind.v11i2.3300.

[11] S. D. Kuncoro, A. Androva, dan A. Mukhtar, "RANCANG BANGUN INSTRUMENTASI HALL EFFECT SENSOR MAGNETIC PADA DYNAMOMETER PRONY BREAKE DENGAN SISTEM MONITORING LCD 16X4 DISPLAYBERBASIS MIKROKONTROLER ARDUINO," *Cross-Border*, vol. 6, no. 1, hal. 466–475, Jun. 2023, doi: 10.33795/crossborder.v6i1.2079.

[12] T. Daszkiewicz, M. Florek, D. Murawska, dan A. Jabłońska, “A comparison of the quality of ultra-high-temperature milk and its plant-based analogs,” *Journal of Dairy Science*, vol. 107, no. 8, hal. 5312–5325, Agt. 2024, doi: 10.3168/jds.2024-25098.

[13] Y. Zhang dan S. K. C. Chang, “Trypsin inhibitor activity, phenolic content and antioxidant capacity of soymilk as affected by grinding temperatures, heating methods and soybean varieties,” *LWT - Food Science and Technology*, vol. 153, no. 1, hal. 112521–112530, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.lwt.2021.112521.

[14] Riswandi, “PERANCANGAN KOMPOR GAS DENGAN MODE MEMASAK OTOMATIS BERBASIS ARDUINO UNO,” *Jurnal Mosfet*, vol. 2, no. 1, hal. 20–24, Jul. 2022, doi: 10.31850/jmosfet.v2i1.1731

[15] T. Pujiati dan Risfendra, “Penerapan Kontroler PID pada Sistem Kendali Level Cairan dengan Metode Ziegler-Nichols Berbasis Arduino,” *JTEIN: Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, vol. 2, no. 1, hal. 55–60, Feb. 2021, doi: 10.24036/jtein.v2i1.123.