

Implementasi PID pada Proses Perebusan Jamu Kunyit Asam

Mila Fauziah¹, Anindya Dwi Risdhayanti², Supriatna Adhisuwigno³, Ratna Ika Putri⁴, Wirawan⁵

e-mail: mila.fauziah@polinema.ac.id, risdhayanti@polinema.ac.id, supriatna@polinema.ac.id,
ratna.ika@polinema.ac.id, wirawan@polinema.ac.id

^{1,2,3,4} Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, Jalan Soekarno Hatta No. 9 Malang, Indonesia

⁵ Jurusan Teknik mesin Politeknik Negeri Malang, Jalan Soekarno Hatta No. 9 Malang, Indonesia

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

Diterima 5 September 2025

Direvisi 20 September 2025

Diterbitkan 30 September 2025

Kata kunci:

Jamu Kunyit Asam

Otomasi Takaran

Koreksi Warna

Kontrol Suhu

PID

ABSTRAK

Jamu kunyit asam merupakan minuman herbal tradisional yang kualitasnya dipengaruhi oleh ketepatan takaran kunyit dan kestabilan suhu perebusan. Pada produksi manual, variasi jenis kunyit dan suhu yang tidak terkontrol menyebabkan warna serta rasa jamu kurang konsisten. Penelitian ini mengembangkan sistem otomasi terintegrasi yang mencakup penakaran kunyit berbasis koreksi warna hasil rebusan dan kontrol suhu perebusan menggunakan metode PID. Sensor *load cell* digunakan untuk mengukur berat kunyit, sedangkan kamera Pixy2 mendeteksi warna berdasarkan nilai RGB. Hasil pengujian koreksi warna kuning muda dengan target 200 g menunjukkan berat terbaca 198,8–202,1 g dengan error 0,6–1,05%, sedangkan koreksi warna kuning dengan target 100 g menghasilkan berat terbaca 99,9–103,3 g dengan error 0,1–3,3%. Aktivasi LED pada Pixy2 terbukti meningkatkan akurasi klasifikasi warna dengan mengurangi variasi RGB yang tidak terstandarisasi. Pada proses perebusan, sensor DS18B20 digunakan sebagai input kontrol PID untuk mengatur *valve* gas melalui motor servo sehingga suhu stabil pada 85–90°C. Hasil *tuning* PID dengan parameter $K_p = 33.28$, $K_i = 0.27$, dan $K_d = 10$ memberikan *overshoot* 0,44%, *rise time* 39 menit, dan error *steady-state* 0.06%.

ABSTRACT

Turmeric tamarind herbal drink is a traditional herbal beverage whose quality is influenced by the accuracy of turmeric dosage and the stability of boiling temperature. In manual production, variations in turmeric types and uncontrolled temperatures cause inconsistencies in the color and taste of the jamu. This study developed an integrated automation system that includes turmeric measurement based on the color correction of the boiling results and boiling temperature control using the PID method. A load cell sensor was used to measure the weight of the turmeric, while a Pixy2 camera detected the color based on RGB values. The results of testing light yellow color correction with a target of 200 g showed a readable weight of 198.8–202.1 g with an error of 0.6–1.05%, while yellow color correction with a target of 100 g produced a readable weight of 99.9–103.3 g with an error of 0.1–3.3%. LED activation on Pixy2 was proven to improve color classification accuracy by reducing unstandardized RGB variations. During the boiling process, the DS18B20 sensor was used as PID control input to regulate the gas valve through a servo motor so that the temperature remained stable at 85–90°C. The PID tuning results with parameters $K_p = 33.28$, $K_i = 0.27$, and $K_d = 10$ gave an overshoot of 0.44%, a rise time of 39 minutes, and a steady-state error of 0.06%.

Penulis Korespondensi:

Mila Fauziah

Jurusan Teknik Elektro,



Politeknik Negeri Malang

Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang, Jawa Timur, Indonesia, Kode Pos. 65141

Email: mila.fauziyah@polinema.ac.id

Nomor HP/WA aktif: +62 812-3210-068

1. PENDAHULUAN

Jamu merupakan bagian dari kekayaan budaya Indonesia yang tetap eksis hingga saat ini. Sebagai minuman tradisional, jamu tidak hanya berfungsi sebagai bagian dari praktik kehidupan sehari-hari masyarakat, tetapi juga berkontribusi dalam pemeliharaan kesehatan dan pengobatan alami terhadap penyakit ringan. Meskipun perkembangan obat-obatan modern semakin pesat, jamu masih menjadi pilihan utama bagi banyak kalangan, terutama yang mengedepankan pengobatan tradisional dan herbal. Hal ini menunjukkan bahwa jamu memiliki nilai budaya dan ekonomi yang signifikan, serta potensi besar untuk dikembangkan lebih lanjut, khususnya pada sektor usaha mikro, kecil, dan menengah (UMKM) yang menjadi tulang punggung ekonomi lokal. Salah satu jenis jamu yang populer adalah jamu kunyit asam, yang dikenal memiliki khasiat untuk meningkatkan daya tahan tubuh, membantu mengatasi nyeri haid, serta berfungsi sebagai antioksidan alami [1][2].

Dalam proses produksi jamu kunyit asam, terdapat dua aspek penting yang sangat menentukan mutu produk, yaitu ketepatan takaran kunyit dan kestabilan suhu perebusan. Pada praktik manual, penakaran kunyit yang tidak konsisten dapat menurunkan kualitas rasa maupun khasiat, sementara suhu perebusan yang tidak stabil berpotensi merusak kandungan zat aktif, seperti kurkumin dan vitamin C, sehingga warna dan kualitas jamu menjadi tidak seragam [3][4]. Untuk mengatasi hal tersebut, diperlukan sistem otomasi yang mampu mengendalikan kedua aspek tersebut secara presisi. Pada penakaran bahan, sensor *load cell* dapat digunakan untuk mengukur berat kunyit dengan akurasi tinggi, yang kemudian diintegrasikan dengan motor servo sebagai aktuator pengeluaran bahan [5][6][7]. Kamera Pixy2 juga dimanfaatkan untuk mendeteksi warna hasil rebusan secara *real-time* berdasarkan nilai RGB, sehingga sistem dapat melakukan koreksi takaran kunyit secara otomatis sesuai perubahan warna jamu [8]-[10].

Selain itu, pada tahap perebusan, diperlukan sistem kontrol suhu otomatis yang mampu menjaga kestabilan dalam rentang ideal 85–90°C. Metode kontrol PID (*Proportional-Integral-Derivative*) dipilih karena memiliki keunggulan dalam merespons perubahan suhu dengan cepat dan akurat. Dengan dukungan sensor suhu DS18B20 dan aktuasi motor servo untuk mengatur valve gas, sistem ini mampu mengatur proses perebusan secara stabil sesuai setpoint yang ditentukan [11]-[16].

Penelitian ini menghadirkan kebaruan berupa integrasi sistem otomatisasi penakaran kunyit berbasis *load cell*, motor servo, dan kamera Pixy2 dengan sistem kontrol suhu perebusan menggunakan metode PID pada proses produksi jamu kunyit asam. Tujuannya adalah merancang dan mengimplementasikan sistem yang dapat menjaga konsistensi takaran bahan, kestabilan suhu, serta warna jamu secara *real-time*, sehingga mutu dan kandungan nutrisi tetap terjaga serta mendukung peningkatan daya saing produk jamu kunyit asam di tingkat UMKM.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Jamu Kunyit Asam

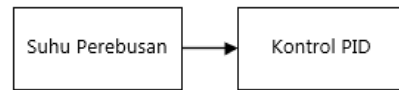
Jamu kunyit asam merupakan minuman herbal tradisional khas Indonesia yang berbahan dasar utama rimpang kunyit dan asam jawa, ditambah gula merah, gula putih, garam, dan air, serta terkadang diberi tambahan sari jeruk nipis atau ekstrak daun sirih. Minuman ini dikenal luas memiliki manfaat bagi kesehatan, seperti menyegarkan tubuh, memberikan efek menenangkan, membantu mencegah gangguan pencernaan seperti maag dan sariawan, serta berperan sebagai antioksidan alami berkat kandungan senyawa fenolik dan kurkumin dalam kunyit. Komposisi umum pada proses pembuatan jamu kunyit asam meliputi 1,5 kg kunyit, 500 gram asam jawa, 1 kg gula merah, 3 kg gula putih, dan sekitar 6 gram garam dengan kapasitas air sebanyak 40 liter. Proses produksinya diawali dengan mencuci dan memotong kunyit, menimbang bahan sesuai takaran, lalu merebus semua bahan hingga suhu tertentu tercapai dan warna kunyit mulai keluar.

Namun, salah satu tantangan utama dalam industri jamu kunyit asam adalah inkonsistensi kualitas hasil rebusan, terutama akibat variasi jenis dan tingkat kematangan kunyit, serta perbedaan keterampilan tenaga produksi. Perbedaan paling nyata terlihat pada variasi warna jamu yang tidak hanya memengaruhi penampilan visual, tetapi



juga rasa dan kandungan nutrisinya. Warna jamu yang terlalu muda atau terlalu pekat dapat menandakan perbedaan kadar kurkumin maupun kestabilan vitamin C, yang diketahui mudah rusak pada suhu di atas 95°C. Oleh karena itu, meskipun berat kunyit telah diukur secara konsisten, keseragaman mutu produk belum sepenuhnya terjamin. Untuk mengatasi masalah tersebut, diperlukan penerapan sistem otomatisasi yang mampu mengintegrasikan penakaran kunyit secara presisi dengan mekanisme klasifikasi warna jamu serta pengaturan suhu perebusan.

Dalam penelitian ini, sistem yang dikembangkan mencakup 2 tahapan utama, tahapan pertama membahas mengenai Suhu Perebusan dan Kontrol PID. Kemudian tahapan kedua membahas mengenai Penakaran Kunyit, Pemrosesan Citra Warna, Klasifikasi Warna, serta Pengujian *Real-time*. Gambaran umum dari tahapan yang diusulkan dalam sistem disajikan pada Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. Tahapan pertama produksi jamu



Gambar 2. Tahapan kedua produksi jamu

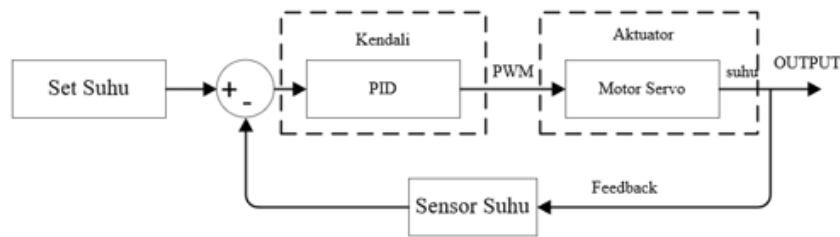
2.2 Suhu Perebusan

Sensor DS18B20 digunakan sebagai komponen utama untuk mendeteksi dan memantau suhu air selama proses perebusan jamu kunyit asam. Sensor ini berjenis digital tahan air dengan tingkat akurasi $\pm 0,5^\circ\text{C}$ pada rentang suhu -10°C hingga 85°C , sehingga cocok digunakan untuk pemantauan suhu cairan dalam sistem tertutup. Sensor DS18B20 memiliki tiga pin utama, yaitu VCC (merah) sebagai sumber tegangan 3–5 V, GND (hitam) sebagai *ground*, dan Data (kuning) sebagai jalur komunikasi. Sensor ini bekerja menggunakan protokol komunikasi 1-*Wire*, yang memungkinkan pengiriman data langsung ke mikrokontroler tanpa memerlukan konverter analog-ke-digital (ADC), sehingga rangkaian menjadi lebih sederhana dan efisien.

Dalam penelitian ini, sensor DS18B20 dihubungkan ke mikrokontroler Arduino Uno yang berfungsi untuk membaca suhu air secara *real-time*. Data suhu yang diperoleh digunakan sebagai masukan (*input*) bagi sistem kontrol PID (*Proportional Integral Derivative*) yang mengatur pembukaan katup gas melalui motor servo. Proses ini bertujuan menjaga suhu perebusan pada rentang $85\text{--}90^\circ\text{C}$, yaitu suhu ideal untuk mempertahankan kandungan aktif seperti kurkumin dan vitamin C dalam jamu. Metode ini dilakukan dengan cara mengamati perubahan suhu setiap interval waktu tertentu dan mencatat respons sistem terhadap perubahan daya pemanas untuk menganalisis stabilitas kontrol suhu yang diterapkan.

Metode penelitian dilakukan dengan cara memonitor perubahan suhu pada interval waktu tertentu dan mencatat respon sistem terhadap perubahan daya pemanas dengan blok diagram kontrol suhu pada Gambar 3. Pengamatan ini dilakukan untuk mengetahui tingkat kestabilan kontrol suhu yang diterapkan sistem PID. Selain itu, hasil pengujian dibandingkan dengan nilai *setpoint* suhu yang telah ditentukan melalui *keypad* untuk menilai akurasi dan efektivitas pengendalian suhu selama proses perebusan berlangsung. Metode penelitian dilakukan dengan cara memonitor perubahan suhu pada interval waktu tertentu dan mencatat respon sistem terhadap perubahan daya pemanas. Pengamatan ini dilakukan untuk mengetahui tingkat kestabilan kontrol suhu yang diterapkan sistem PID. Selain itu, hasil pengujian dibandingkan dengan nilai *setpoint* suhu yang telah ditentukan melalui *keypad* untuk menilai akurasi dan efektivitas pengendalian suhu selama proses perebusan berlangsung.

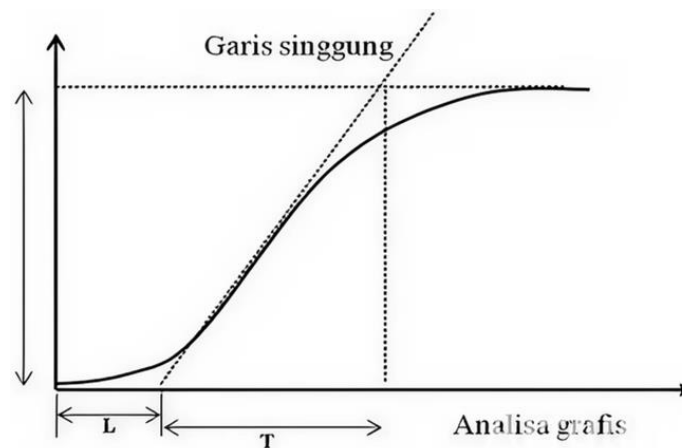




Gambar 3. Blok diagram kontrol suhu

2.3 Kontrol PID (*Proportional Integral Derivative*)

Metode kontrol PI (*Proportional-Integral*) merupakan sebuah metode kontrol yang banyak diterapkan di bidang industri sampai saat ini. Kontroler ini memiliki parameter-parameter pengontrol, yaitu konstanta proporsional (K_p) dan konstanta integral (K_i) [10]. Pada metode PI konvensional, kedua parameter tersebut diturunkan dari perhitungan matematis. Kontrol *Proportional Integral* merupakan sebuah penguat input sehingga hasil pada *output* tidak semakin menjadi kecil pada sebuah sistem. Salah satu metode *tunning* yang dapat digunakan adalah metode *Ziegler-Nichols* yang menawarkan metode kurva reaksi. Metode kurva reaksi dapat diberikan oleh dua konstanta, yakni waktu tunda L dan konstanta waktu T . Gabungan aksi kontrol proporsional dan aksi kontrol integral membentuk aksi kontrol proporsional *plus integral* (*controller PI*). Gabungan aksi ini mempunyai keunggulan dibandingkan dengan masing-masing kontrol yang menyusunnya. Keunggulan utama adalah diperolehnya keuntungan dari masing-masing aksi kontrol dan kekurangan dari aksi kontrol yang satu dapat diatasi dengan aksi kontrol yang lain.



Gambar 4. Kurva kendali bentuk S

Nilai konstanta L (waktu tunda) dan T (konstanta waktu) diperoleh dengan menggambarkan garis singgung pada titik awal perubahan kurva berbentuk S, lalu menentukan titik potong garis tersebut dengan sumbu waktu t dan sumbu respons $c(t) = K_c(t) = K_c(t) = K$. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4, kurva berbentuk S mulai menunjukkan kenaikan setelah melewati waktu tunda L . Waktu tunda ini umumnya ditandai oleh saat kurva mencapai sekitar 66% dari nilai akhirnya dalam kondisi stabil.

Proses penalaan parameter kontrol PI atau PID didasarkan pada nilai L dan T tersebut. Berdasarkan bentuk kurva S dan parameter yang diperoleh, metode *Ziegler-Nichols* merekomendasikan rumus tertentu untuk menentukan nilai konstanta K_p , K_i , dan K_d , sebagai mana tercantum dalam Tabel I.



TABEL I. PENGATURAN NILAI PARAMETER KONTROL PID DENGAN METODE KURVA REAKSI

Tipe Kontroler	Kp	Ki	Kd
P	T/L	∞	0
PI	0,9 T/L	L/0,3	0
PID	1,2 T/L	2L	0,5L

Berdasarkan Tabel I, nilai Kp, Ki, dan Kd dapat dihitung sebagai dasar dalam menentukan parameter *tuning* kontrol PID dengan menggunakan metode *Ziegler-Nichols* kurva reaksi. Perhitungan nilai Kp, Ki, dan Kd mengacu pada rumus yang ditunjukkan dalam Persamaan 1 yang digunakan untuk memperoleh parameter yang sesuai dengan karakteristik sistem.

2.4 Penakaran Kunyit

Proses penakaran kunyit bertujuan untuk mengatur jumlah kunyit yang dimasukkan ke dalam tangki perebusan secara otomatis dan bertahap, berdasarkan hasil pembacaan warna cairan jamu oleh sensor kamera. Proses ini diawali setelah sistem utama diaktifkan dan air dalam tangki perebusan mencapai kondisi setengah mendidih. Seluruh bahan tambahan seperti asam, gula putih, gula merah, dan garam telah dimasukkan terlebih dahulu oleh operator sesuai takaran resep, sedangkan kunyit akan ditambahkan secara otomatis sesuai kondisi warna yang terdeteksi.

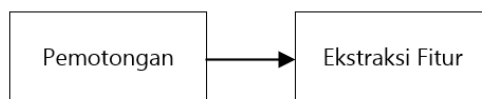
Saat sistem mulai beroperasi, motor pengaduk bekerja untuk mencampurkan bahan secara merata selama lima menit hingga warna awal jamu mulai terbentuk. Setelah itu, kamera Pixy2 mendeteksi warna cairan jamu dan mengirimkan data RGB ke Raspberry Pi untuk dianalisis. Berdasarkan hasil deteksi tersebut, terdapat tiga kondisi yang menentukan proses penambahan kunyit:

1. Kondisi ketika warna kuning muda, sistem menyalakan servo *storage* untuk menurunkan kunyit ke timbangan. Sensor *load cell* menakar berat kunyit sebanyak 200 gram. Setelah berat sesuai, servo *storage* menutup kembali, dan kunyit diturunkan ke tangki perebusan. Motor pengaduk kembali beroperasi selama lima menit sebelum pengecekan warna diulang.
2. Kondisi ketika warna kuning, sistem kembali menyalakan servo *storage* untuk menurunkan 100 gram kunyit, yang ditimbang secara otomatis oleh sensor *load cell*. Setelah berat sesuai dan kunyit ditambahkan, proses pengadukan dan pengecekan warna dilakukan kembali.
3. Kondisi ketika warna kuning tua, menunjukkan bahwa warna jamu telah mencapai standar. Pada kondisi ini, tidak ada penambahan kunyit, dan proses perebusan dilanjutkan hingga mendidih dengan motor pengaduk tetap beroperasi untuk menjaga homogenitas campuran.

Penambahan kunyit secara bertahap ini dilakukan untuk mencapai warna dan cita rasa yang konsisten sesuai standar produk. Integrasi antara sensor Pixy2, *load cell*, dan servo motor memungkinkan proses penakaran berjalan otomatis, akurat, serta adaptif terhadap perubahan warna selama perebusan berlangsung.

2.5 Pemrosesan Citra Warna

Pengolahan citra warna merupakan tahap yang digunakan untuk memproses gambar yang diperoleh dari pixy2 *camera* agar dapat dijadikan sebagai *input*. Tahap pengolahan citra warna ini terdiri dari dua proses utama, yaitu pemotongan (*cropping*) dan ekstraksi fitur (*feature extraction*), sebagaimana ditunjukkan pada Gambar V. Keberhasilan pemrosesan citra warna sangat dipengaruhi oleh kualitas jamu yang digunakan dan penerangan yang cukup. Semakin banyak citra warna yang diperoleh sesuai dengan standar yang telah ditetapkan, maka semakin mudah bagi pixy2 *camera* untuk mengenali pola *input* yang diberikan.

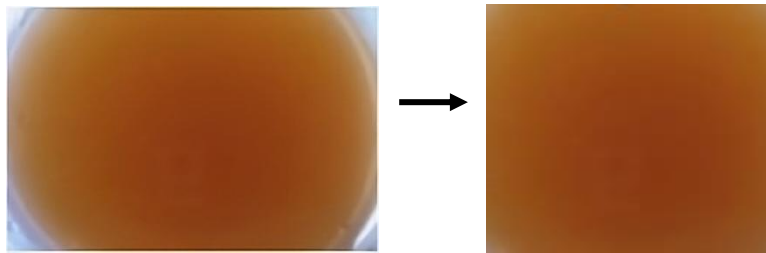


Gambar V. Pemrosesan Citra Warna



1. Pemotongan

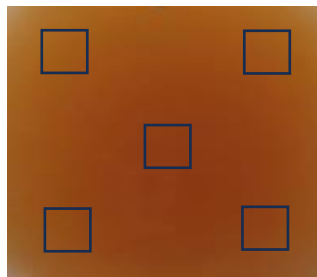
Pemotongan (*cropping*) merupakan proses yang bertujuan untuk meningkatkan keterbacaan citra warna. Proses ini digunakan untuk menghilangkan gangguan atau *noise* pada gambar. Pada tahap ini, bagian tengah citra warna akan dipotong menjadi resolusi 5x5 piksel. Contoh hasil citra yang telah dipotong ditampilkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Proses pemotongan

2. Ekstraksi Fitur

Ekstraksi fitur (*feature extraction*) merupakan proses untuk mengenali pola yang didefinisikan melalui karakteristik tertentu yang digunakan untuk membedakan satu pola dengan pola lainnya. Dalam penelitian ini, proses ekstraksi fitur dilakukan dengan mengambil nilai dari citra warna di 5 posisi, yaitu kiri-atas, kiri-bawah, tengah, kanan-atas dan kanan-bawah yang telah dirata-ratakan seperti yang diperlihatkan pada Gambar 6. Kemudian diperoleh nilai merah (*red*), hijau (*green*), dan biru (*blue*) atau yang dikenal dengan istilah RGB. Berdasarkan sistem koordinat kartesius, setiap warna dalam model RGB muncul sebagai komponen spektral primer dari RGB.



Gambar 6. Ekstraksi fitur

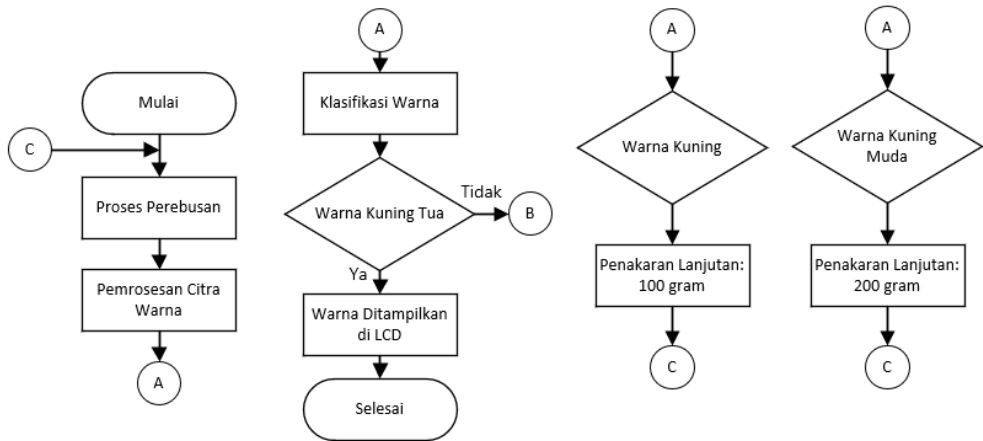
2.6 Klasifikasi Warna

Klasifikasi warna dilakukan menggunakan *pixy2 camera* untuk mengumpulkan data sampel. Berdasarkan tingkat kecerahannya, setiap sampel diklasifikasikan ke dalam tiga kategori warna yang berbeda, yaitu Kuning Tua (KT), Kuning (K), dan Kuning Muda (KM). Kategori KT terdiri dari 50 warna dengan rentang nilai RGB antara 255, 102, 28 hingga 255, 119, 43. Kategori K mencakup 50 warna dengan rentang RGB antara 255, 156, 38 hingga 255, 171, 52. Sementara itu, kategori KM berisi 50 warna dengan rentang RGB antara 255, 208, 45 hingga 255, 221, 60. Jumlah total data sampel yang digunakan sebanyak 150 warna, dengan rincian 75 warna digunakan untuk proses pelatihan dan 75 warna lainnya digunakan untuk proses pengujian.

2.7 Pengujian *Real-time*

Setelah perancangan pada sub-bagian sebelumnya, langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian *real-time* pada proses otomasi takaran kunyit dengan perebusan secara langsung, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5. Langkah pertama yang dilakukan adalah penakaran awal kunyit. Saat proses perebusan jamu berlangsung, Raspberry Pi akan menangkap citra warna jamu menggunakan *pixy2 camera*. Setelah citra warna diperoleh, sistem akan melakukan pengolahan klasifikasi warna. Hasil klasifikasi tersebut akan ditampilkan pada layar LCD dengan 3 kondisi yang akan menentukan proses selanjutnya. Tujuan dari pengujian *real-time* ini adalah untuk menguji sinkronisasi antara sensor dan aktuator yang telah dilatih. Prosedur pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 7.





Gambar 7. Proses pengujian *real-time*

3. HASIL DAN PEMBAHASAN
3.1 Suhu Perebusan

Pengujian dilakukan dengan mengukur suhu pada thermometer dan sensor suhu DS18B20 dan melakukan perbandingan untuk mengetahui nilai eror yang dihasilkan oleh sensor suhu DS18B20. Nilai sensor suhu DS18B20 yang terbaca pada serial monitor akan dibandingkan dengan Thermometer raksa dan akan dibandingkan perbedaan setiap 5°C lalu dihitung sebanyak 15 titik dan 5 kali pengambilan. Setelah dilakukan pengambilan data lalu dihitung eror tiap suhu lalu dihitung eror keseluruhan. Nilai data dapat dilihat pada Tabel II.

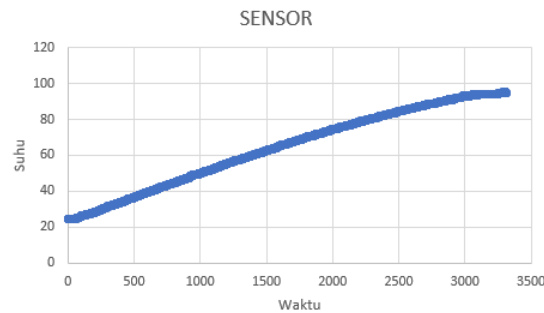
TABEL II. PENGUKURAN SUHU							
No	Suhu	Pengukuran sensor					Error
1	30C°	30,1C°	30,3 C°	30,3 C°	30,3C°	30,1C°	0.7%
2	35C°	34,6C°	34 ,6C°	34,8C°	34,6C°	34,6C°	1.7%
3	40C°	39,5C°	39,6C°	39,7C°	39,7C°	39,7C°	1%
4	45C°	44,6C°	44,6C°	44,7C°	44,6C°	44,6C°	0.8%
5	50C°	49,5C°	49,5C°	49,7C°	49,5C°	49,5C°	1%
6	55C°	54,6C°	54,6C°	54,8C°	54,6C°	54,7C°	0.7%
7	60C°	59,5C°	59,5C°	59,6C°	59,5C°	59,5C°	0.8%
8	65C°	64,5C°	64,5C°	64,6C°	64,5C°	64,5C°	0.7%
9	70C°	69,6C°	69,6C°	69,7C°	69,6C°	69,6C°	0.5%
10	75C°	74,5C°	74,5C°	74,7C°	74,5C°	74,5C°	0.6%
11	80C°	79,5C°	79,5C°	79,7C°	79,4C°	79,7C°	0.6%
12	85C°	84,9C°	84,9C°	85,1C°	85,0C°	85,2C°	0%
13	90C°	90,1C°	89,9C°	90,0C°	90,2C°	90,0C°	0%
14	95C°	94,9C°	94,8C°	95,0C°	94,9C°	95,2C°	0.1%
15	100C°	100,2C°	100,1C°	99,8C°	100,2C°	99,8 C°	0.2%
Total Error							1.11%

3.2 Kontrol PID

Kontrol PID menjaga suhu pada perebusan jamu sesuai dengan nilai *setpoint* yang diberikan. Untuk menentukan nilai *Propotional* (Kp), *Integral* (Ki) dan *Derivative* (Kd) pada alat ini menggunakan metode *Ziegler Nichols*. Pada alat ini metode yang paling tepat dengan menggunakan metode *Ziegler-Nichols* kurva S untuk mencari nilai Kp dan Ti,



dengan mencari nilai *delay time* (L) dan *time constant* (T) melalui garis singgung dan titik potong yang dibuat. Langkah pertama mengambil data karakteristik suhu sampai mencapai batas suhu maksimal dengan posisi gas terbuka penuh.



Gambar 9. Grafik kontrol tanpa PID

Setelah mendapatkan grafik pada Gambar 9, kemudian menentukan nilai L dan T. Untuk menghitung nilai L dan T yaitu dengan menentukan titik potongan (*tangent point*). Kemudian pada Gambar IX, grafik karakteristik suhu dibuat suatu garis yang bersinggungan dengan kurva. Garis singgung tersebut akan memotong sumbu absis dan garis maksimum. Perpotongan garis singgung dengan sumbu absis merupakan nilai *delay time* (L) dan perpotongan dengan garis maksimum merupakan nilai *time constant* (T) yang diukur dari titik L.

Pada Gambar 9 setelah mendapat nilai L (waktu tunda sebelum suhu naik) dan T (waktu yang dibutuhkan mencapai 63% dari total kenaikan setelah L) setelah itu menghitung dengan rumus *ziegler-nichols 2*.

$$L = 61,51 \text{ detik} \quad (1)$$

$$T = 1705.76 \text{ detik} \quad (2)$$

$$Kp = 1.2 \times \left(\frac{1705.76}{61.51} \right) = 33.28 \quad (3)$$

$$Ti = 2 \times 61.51 = 123.02 \quad (4)$$

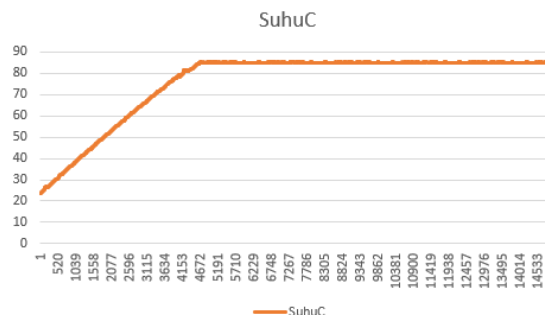
$$Ki = 33.28 \div 123.02 = 0.27 \quad (5)$$

$$Td = 0.5 \times 61.51 = 30.755 \quad (6)$$

$$Kd = 33.28 \times 30.755 = 1023 \quad (7)$$

Dapat dilihat bahwa nilai Kd terlalu besar untuk system perebusan hal ini akan menyebabkan motor servo terlalu responsif dan mudah mungkin terjadi *overshoot* yang cukup besar, dimana suhu perebusan bersifat lambat dan butuh waktu untuk naik dan turun sehingga butuh penyesuaian nilai Kd.

Pada percobaan dilakukan penyesuaian terhadap nilai Kd yang terlalu besar yaitu Kp = 33.28, Ki = 0.27 dan Kd = 10, dengan nilai *setpoint* 85 °C, nilai Kp dan Ki tetap dan hanya mengurangi nilai Kd yang terlalu besar menjadi 10. Nilai Kd adalah nilai percobaan *trial error* pada alat. Hasil dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Grafik respon dengan kontrol PID



TABEL III. DATA PENGUJIAN

Parameter	Hasil
Mp (<i>Maksimum Peak</i>)	85.44°C
Os (<i>Overshoot</i>)	0.44°C
PO (<i>Percentage of overshoot</i>)	0.52 %
Tr (<i>rise time</i>)	31 menit
Tp (<i>peak time</i>)	42 Menit
Ts (<i>settling time</i>)	34 menit
Ess (<i>error steady state</i>)	0.06 %

3.3 Penakaran Kunyit

Pengujian sistem penakaran kunyit dalam proses produksi jamu kunyit asam dilakukan dalam dua kondisi berbeda yang merepresentasikan alur kerja sistem secara keseluruhan. Pengujian dilakukan pada saat setelah proses perebusan berlangsung dan warna jamu mulai muncul. Pada tahap ini, sistem menggunakan kamera Pixy2 untuk mendeteksi warna hasil rebusan. Apabila sistem mendeteksi warna kuning muda atau kuning yang belum sesuai parameter warna produk, maka sistem akan secara otomatis melakukan penambahan kunyit melalui proses penakaran lanjutan. Takaran tambahan disesuaikan berdasarkan warna yang terdeteksi seperti pada Tabel IV dan Tabel V, dimana kunyit ditambahkan secara terukur menggunakan servo dan *load cell* agar kualitas warna jamu dapat diperbaiki secara bertahap. Setelah proses penakaran lanjutan selesai, sistem akan kembali melanjutkan proses perebusan hingga mencapai warna kuning tua.

TABEL IV. PENGUJIAN PENAKARAN KONDISI KOREKSI WARNA KUNING MUDA

Penakaran Ke	Berat Target (g)	Berat Terbaca (g)	Waktu Servo Terbuka (detik)	Keterangan
Kuning Muda	200	202,1	54,54	Berat tercapai dengan eror 1,05%
Kuning Muda	200	198,8	50,33	Berat tercapai dengan eror 1,05%
Kuning Muda	200	201,5	55,99	Berat tercapai dengan eror 1,05%

TABEL V. PENGUJIAN PENAKARAN KONDISI KOREKSI WARNA KUNING

Penakaran Ke	Berat Target (g)	Berat Terbaca (g)	Waktu Servo Terbuka (detik)	Keterangan
Kuning	100	102,3	37,54	Berat tercapai dengan eror 2,3%
Kuning	100	99,9	30,54	Berat tercapai dengan eror 0,1%
Kuning	100	103,3	39,99	Berat tercapai dengan eror 3,3%

Pengujian ini tidak hanya bertujuan untuk menstabilkan warna produk agar sesuai standar, tetapi juga untuk menjaga konsistensi rasa dan kandungan dalam jamu. Hasil dari pengujian pada dua kondisi tersebut memperlihatkan



respons sistem terhadap variasi warna serta akurasi penambahan kunyit dalam setiap skenario. Dengan demikian, sistem ini memungkinkan proses produksi jamu menjadi lebih terstandarisasi dan minim kesalahan, meskipun dilakukan oleh operator yang berbeda.

3.4 Pengujian *Real-time*

1. Pengujian dengan kondisi LED pixy2 tidak aktif

Pengujian dilakukan dengan kondisi di mana LED pada kamera Pixy2 dinonaktifkan. Parameter yang diamati mencakup volume air, berat kunyit hasil penakaran, nilai RGB, hasil identifikasi warna, serta keterangan tambahan, yang seluruhnya disajikan dalam Tabel VI. Komposisi bahan selain kunyit dijaga tetap sama pada setiap pengujian, yaitu terdiri dari 6 ons asam jawa, 3 kilogram gula putih, 1 kilogram gula merah, dan 5 gram garam.

TABEL VI. PENGUJIAN KONDISI LED PIXY2 TIDAK AKTIF

Volume air	Berat Kunyit	Hasil Warna	RGB	Keterangan
40 liter	500 gram	-	255, 210, 61	Tidak sesuai
40 liter	1000 gram	-	255, 187, 59	Tidak sesuai
40 liter	1500 gram	-	255, 133, 44	Tidak sesuai

2. Pengujian dengan kondisi LED pixy2 aktif

Hasil pengujian berdasarkan parameter volume air, berat kunyit yang ditakar, nilai RGB, hasil identifikasi warna, serta keterangan pendukung, disajikan secara lengkap pada Tabel VII. Seluruh pengujian dilakukan dengan komposisi bahan pendukung yang seragam, yaitu 600 gram asam jawa, 3 kilogram gula putih, 1 kilogram gula merah, dan 1 sendok makan garam.

TABEL VII. PENGUJIAN KONDISI LED PIXY2 AKTIF

Volume air	Berat Kunyit	Hasil Warna	RGB	Keterangan
40 liter	500 gram	Kuning Muda	255, 218, 55	Sesuai
40 liter	1000 gram	Kuning	255, 169, 47	Sesuai
40 liter	1500 gram	Kuning Tua	255, 114, 36	Sesuai

Dari hasil pengujian 1 didapatkan bahwa klasifikasi warna belum bisa mengenali ketiga warna pada kondisi LED pixy2 tidak aktif meskipun penerangan ruangan cukup. Hal ini dibuktikan dengan nilai RGB yang seharusnya mengenali warna, namun pada pengujian ini 2 warna tersebut tidak dikenali. Kemudian pada hasil pengujian 2 didapatkan bahwa klasifikasi warna mampu mengenali semua warna dengan kondisi LED pixy2 aktif dengan penerangan ruangan yang cukup.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian sistem otomatisasi penakaran kunyit dan kontrol suhu pada proses produksi jamu kunyit asam, dapat disimpulkan bahwa sistem berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem otomasi produksi jamu kunyit asam yang mengintegrasikan kontrol suhu berbasis PID dan sistem penakaran kunyit otomatis menggunakan sensor *load cell*, motor servo, dan kamera Pixy2. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kontrol suhu perebusan menggunakan sensor DS18B20 dan metode PID *Ziegler-Nichols* mampu menjaga suhu stabil pada rentang ideal 85–90°C dengan eror rata-rata hanya 1,11% serta *overshoot* kecil sebesar 0,52%. Sistem penakaran kunyit otomatis bekerja akurat dengan tingkat eror rata-rata 1–3% sesuai kondisi warna jamu yang terdeteksi, sehingga mampu memastikan konsistensi warna dan mutu produk. Kamera Pixy2 juga efektif dalam mendeteksi warna jamu secara *real-time* (kuning muda, kuning, kuning tua), memungkinkan sistem menyesuaikan takaran kunyit secara adaptif hingga mencapai standar warna akhir.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] Andriati and R. M. T. Wahjudi, "Tingkat Penerimaan Penggunaan Jamu Sebagai Alternatif Penggunaan Obat Modern Pada Masyarakat Ekonomi Rendah-Menengah Dan Atas," vol. 29 No. 3, pp. 133–145, 2016.
- [2] R. Kurnia Sugiharti and D. Febriana, "KEBIASAAN MINUM JAMU KUNYIT ASAM DALAM MENGATASI KELUHAN DISMENOR PADA REMAJA PUTRI," *Jurnal Kebidanan Indonesia*, vol. 12, no. 2, Jul. 2021, doi: 10.36419/jki.v12i2.497.
- [3] Ramadhan, T. Dan Aminah S. (2014). Pengaruh Pemasakan Terhadap Kandungan Antioksidan Sayuran. *buletin Pertanian Perkotaan*. Vol. 4, No.2.
- [4] Mulyani, Dewi. (2016). "Pengaruh Umur Panen dan Tingkat Maserasi Terhadap Kandungan Kurkumin dan Aktivitas Antioksidan dan Ekstrak Kunyit (Curcuma Domestica Val.). *J Rekayasa dan Manajemen Agroindustri*. Vol 4.
- [5] A. Mahfud, M. Ali Kahfi Nasution, T. Pengolahan Hasil Perkebunan Politeknik Kelapa Sawit Citra Widya Edukasi, J. Gapura No, R. Banteng, and J. Barat, "PROTOTYPE SISTEM PENIMBANGAN OTOMATIS PADA MODEL KERNEL BULK BERBASIS ARDUINO UNO," 2023, doi: 10.24853/jurtek.15.1.43-50.
- [6] R. Alfian, R. Wirawan, L. S. Hudha, N. Qomariyah, S. Rahayu, and M. Marzuki, "Pemanfaatan Sensor *Load cell* Dalam Pembuatan Prototipe Alat Uji Tekan Portabel," *Wahana Fisika*, vol. 7, no. 1, pp. 82–92, Jun. 2022, doi: 10.17509/wafi.v7i1.46990.
- [7] S. M. Effendi, A. M. A. Jiwatami, and N. B. Wicaksono, "Reka Cipta Mesin Sortir Warna Benda Menggunakan Kamera PIXY2 CMUCAM5," *SILAMPARI JURNAL PENDIDIKAN ILMU FISIKA*, vol. 5, no. 1, pp. 34–47, Jun. 2023, doi: 10.31540/sjpif.v5i1.1946.
- [8] A. Suryowinoto and A. Z. Wirandi, "Pengembangan Sistem Pemilah dan Pengelompokan Penghitung Objek Produksi pada Konveyor Berbasis Kamera dengan Metode RGB Threshold," 2021.
- [9] M. Fauziyah, S. Adhisuwarnjo, B. F. Afandi, L. Nazhiroh, "Color Based Feature Extraction and Backpropagation Neural Network in Tamarind Turmeric Herb Recognition," *KINETIK*, vol. 7, no. 2, May. 2022, <https://doi.org/10.22219/kinetik.v7i2.1432>
- [10] M. R. Kurniawan, "Implementasi Object Tracking Berbasis Filtering Warna Pada Sensor Kamera Pixy CMUcam 5," *Jurnal Fokus Elektroda*, vol. 3, no. 3, 2018, DOI: <http://dx.doi.org/10.33772/jfe.v3i3.6586>
- [11] Mila Fauziyah, Supriatna Adhisuwarnjo, Anita Dwi Febriyana. "Kontrol Suhu Menggunakan Metode PI (Proportional Integral) Untuk Proses Perebusan Pada Alat Pembuatan Jamu Kunyit Asam." *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro Volume 9, No 1 (Mei 2022)*.
- [12] Ratih, Rahayu, Brahma. "Kontrol Suhu Menggunakan Metode PID untuk Proses Pemasakan Nira Pada Pembuatan Gula Merah Tebu." *Jurnal Elkolind. Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang (2016)*.
- [13] Ratih, Rahayu, Brahma. (2016). "Kontrol Suhu Menggunakan Metode PID untuk Proses Pemasakan Nira pada Alat Pembuat Gula Merah Tebu". *Jurnal Elkolind. Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, Malang*.
- [14] Annisa, Fitria. (2018). "Kendali P, PI dan PID Analog Pada Pengaturan Kecepatan Motor DC Dengan Penalaan Ziegler Nichols". *Journal of Electrical and Electronics*. Vol.6 No.1.
- [15] HanggitaAdiPramoedya, BambangPriyadi, MohammadLuqman. "Implementasi Kontrol PID Untuk Mengontrol Suhu dan Level Pada Alat Vending machine" *Jurnal Elkolind Volume10, Nomor1, Mei 2023*.
- [16] Anang Dasa Novfowan, Mochammad Mieftah, Wijaya Kusuma. "Scada Pada Proses Destilasi DenganPengendalian Suhu Menggunakan PID". *Jurnal Sistem Kelistrikan*, Vol. 11 No.1 2023.

