

Optimalisasi Sistem Penakar Bahan Baku Roti Otomatis Menggunakan Kontrol PID

Nadia Humaira¹, Denda Dewatama², Gillang Al Azhar³,
e-mail: 1941170104@student.polinema.ac.id, denda.dewatama@polinema.ac.id,
gillang_al_azhar@polinema.ac.id

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

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

Diterima 13 Juli 2023
Direvisi 20 September 2023
Diterbitkan 31 Mei 2024

Kata kunci:

Roti
Kontrol PID
Motor DC

Keywords:

Bread
PID Control
DC Motor

ABSTRAK

Roti merupakan salah satu jenis makanan yang banyak dijual oleh pebisnis UMKM kuliner. Bahan untuk membuat roti diantaranya yaitu tepung, gula pasir, dan susu bubuk. Masih banyak para pemilik usaha UMKM roti yang menggunakan metode penakaran manual dengan timbangan. Hal ini menyebabkan takaran yang berbeda di setiap pembuatannya sehingga dapat menghasilkan cita rasa yang berbeda. Untuk membantu penakaran bahan baku roti menjadi lebih mudah dan akurat, dibuatlah sistem yang dapat menakar bahan baku roti secara otomatis menggunakan metode kontrol PID dengan memanfaatkan mikrokontroler Arduino Uno sebagai pengontrol gerak motor DC dan sensor *load cell* sebagai *feedback* dari kontrol PID. Dengan menggunakan metode kontrol PID diperoleh parameter kontrol dengan nilai $K_p = 31$, $K_i = 5.5$, $K_d = 50$ untuk susu, $K_p = 33$, $K_i = 5$, $K_d = 50$ untuk tepung, dan $K_p = 25.5$, $K_i = 6.7$, $K_d = 24.2$ untuk gula. Hasil penakaran baik berdasarkan resep yang tersedia maupun input manual/*custom* didapatkan nilai *error* rata-rata takaran pada tiap bahan baku sebesar 0-1%.

ABSTRACT

Bread is one type of food that is widely sold by culinary MSME businessmen. The ingredients for making bread include flour, sugar, and powdered milk. There are still many MSME bread business owners who use the manual measurement method with scales. This causes a different measure in each manufacturer so that it can produce a different taste. To help make measuring raw bread materials easier and more accurate, a system was created that can measure bread raw materials automatically using the PID control method by utilizing the Arduino Uno microcontroller as a DC motor motion controller and load cell sensors as feedback from the PID. control. By using the PID control method obtained control parameters with $K_p = 31$, $K_i = 5.5$, $K_d = 50$ for milk, $K_p = 33$, $K_i = 5$, $K_d = 50$ for flour, and $K_p = 25.5$, $K_i = 6.7$, $K_d = 24.2$ for sugar. The measurement results based on the available recipes and manual/custom input obtained an average error value for each raw material is 0-1%.

Penulis Korespondensi:

Nadia Humaira,
Jurusan Teknik Elektro,
Politeknik Negeri Malang,
Jl. Soekarno-Hatta No. 9, Malang, Jawa Timur, Indonesia, 65141.
Email: 1941170104@student.polinema.ac.id



1. PENDAHULUAN

Dalam proses pembuatan roti terdapat beberapa langkah yang harus dilakukan, salah satunya yaitu penakaran. Penakaran roti dapat dikatakan sebagai tahapan penting dalam awalan proses pembuatan roti untuk dapat menciptakan roti yang berkualitas [1]. Roti merupakan jenis makanan alternatif pengganti makanan pokok yang diproses menggunakan bahan dasar utama tepung terigu, serta bahan pendukung lainnya yaitu gula, telur, susu, air, dan ragi [2]. Bahan baku utama yang digunakan UMKM Cherin Churros dalam membuat beberapa resep roti yang diproduksi, yaitu susu bubuk, tepung terigu protein tinggi, dan gula. Saat ini, proses penakaran bahan baku roti yang dilakukan oleh UMKM Cherin Churros masih menggunakan proses penakaran secara manual. Apabila bahan baku kurang dari takaran resep, maka akan ditambahkan. Sedangkan jika berat bahan baku melebihi dari takaran resep, maka produk akan dikurangi. Hal ini dapat menimbulkan inefisiensi kinerja dalam proses pembuatan roti karena akan menambah waktu penakarannya. Selain itu, apabila hasil takaran yang digunakan kurang dari takaran resep seharusnya maka akan berpengaruh pada cita rasa dan kualitas roti yang diproduksi UMKM Cherin Churros.

Metode kontrol diperlukan untuk memastikan takaran dapat tercapai dengan tepat dan dalam waktu yang singkat, beberapa metode kontrol adalah metode ON/OFF, metode proporsional (P), *derivative* (D), integral (I), dan kombinasi antara P dengan D, kombinasi antara P dengan I, serta metode kombinasi antara P, I dan D. Pada sistem ini *feedback* dari metode kontrol PID adalah sensor *load cell*. Dengan mikrokontroler yang digunakan yaitu Arduino Uno. Aktuator untuk mengeluarkan bubuk dari *chamber* pada sistem ini menggunakan motor DC.

Oleh karena itu, fokus dalam penelitian ini yaitu membuat sistem penakar bahan baku roti otomatis yang terdiri dari tiga *chamber* berisi gula, susu bubuk, dan tepung terigu, dimana masing-masing *chamber* terdapat ulir untuk mengeluarkan bubuk yang digerakkan oleh motor DC. Sensor berat pada penelitian ini digunakan sebagai umpan balik untuk proses kontrol PID [3]. Mikrokontroler yang digunakan yaitu Arduino Uno yang digunakan sebagai pusat kontrol dalam sistem penakaran bubuk [4]. Selain itu, terdapat sensor *infrared proximity* yang digunakan untuk mendeteksi ketersediaan bubuk dalam tiap *chamber* [5]. Dengan dilakukannya penelitian ini, diharapkan dapat membuat proses penakaran pada *home industry* menjadi lebih mudah dan menghasilkan takaran bahan baku roti yang sesuai dengan resep yang dibuktikan melalui pengujian yang datanya disajikan pada penelitian ini.

2. METODE PENELITIAN

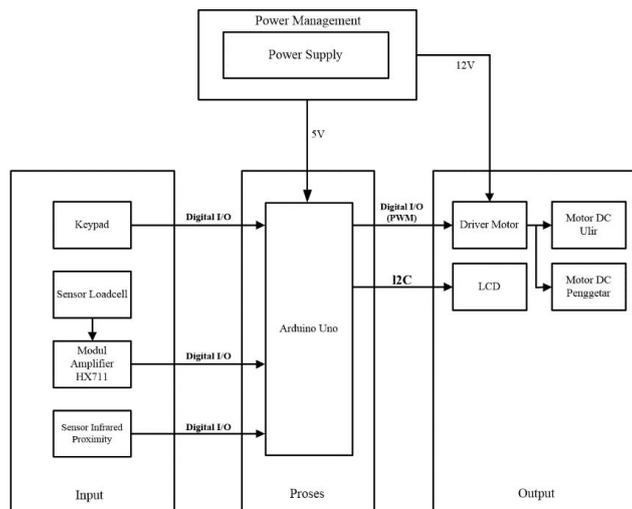
Bab berikut memaparkan tentang metodologi perancangan alat, dalam perancangan suatu alat hal yang harus dilakukan yaitu merancang *hardware dan software* alat tersebut. Ketepatan perancangan suatu alat menentukan keberhasilan alat tersebut.

2.1 Diagram Blok Sistem

Dalam diagram blok pada Gambar 1 terdapat blok *input*, proses, dan *output*. Dalam blok *input keypad* untuk memasukkan input berupa pemilihan resep secara otomatis maupun manual, sensor *load cell* sebagai pendeteksi berat pada wadah, serta sensor *infrared proximity* yang berfungsi untuk mendeteksi ketersediaan bahan baku pada tiap *chamber*. Blok proses pada sistem ini yaitu Arduino UNO untuk mengendalikan motor DC menggunakan PID. Kontroler PID terdiri dari kontrol proporsional, kontrol integral, dan kontrol *derivative*. Kelebihan dari ketiga kontrol ini dimulai dari aksi kontrol proporsional yang mempunyai keunggulan *risetime* yang cepat. Aksi kontrol integral untuk memperkecil *error* dan kontrol *derivative* untuk meredam *overshoot* pada sistem serta memperkecil/mengurangi *error* [6]. Agar dapat menghasilkan sistem yang memiliki *output risetime* yang cepat dan *error* yang kecil, maka perlu menggabungkan ketiga aksi kontrol menjadi kontrol PID. Tuning PID pada penelitian ini dilakukan menggunakan metode *Ziegler-Nichols* [7]. Kecepatan motor dapat dikontrol dengan metode ini [8]. Pada blok *output* terdiri dari LCD yang dihubungkan pada Arduino menggunakan I2C [9], driver motor MOSFET tipe IRF540, dan motor DC. Diagram blok kontrol penelitian ini menjelaskan proses kerja sistem kendali PID pada sistem penakar bahan baku roti otomatis. Sistem akan mempertahankan berat keluaran bubuk sesuai dengan *set point* yang diinginkan, *output* bubuk akan dideteksi oleh sensor *load cell*. Ketika keluaran bubuk tidak sesuai dengan *set point* yang diinginkan maka akan terdapat selisih antara *output* dengan *set point* yang disebut *error*. *Error* ini yang akan membuat PID pada sistem bekerja sehingga memberikan aksi langsung pada motor DC untuk bekerja dan

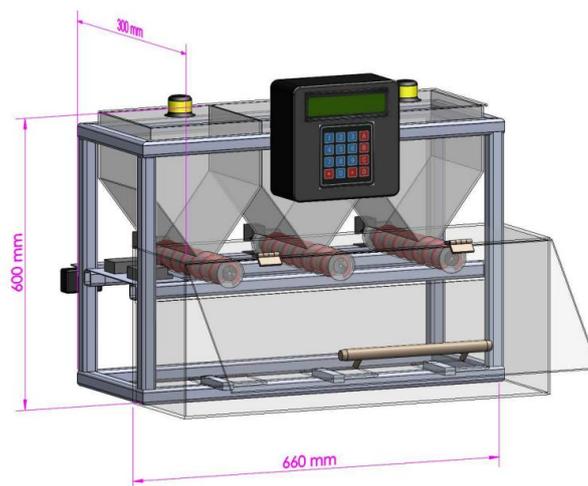


akan mengatur putaran motor DC. Sensor *load cell* akan memberikan umpan balik terus menerus hingga antara *output* dengan *set point* selisihnya sama dengan nol.



Gambar 1: Blok Diagram Sistem

2.2 Perancangan Mekanik

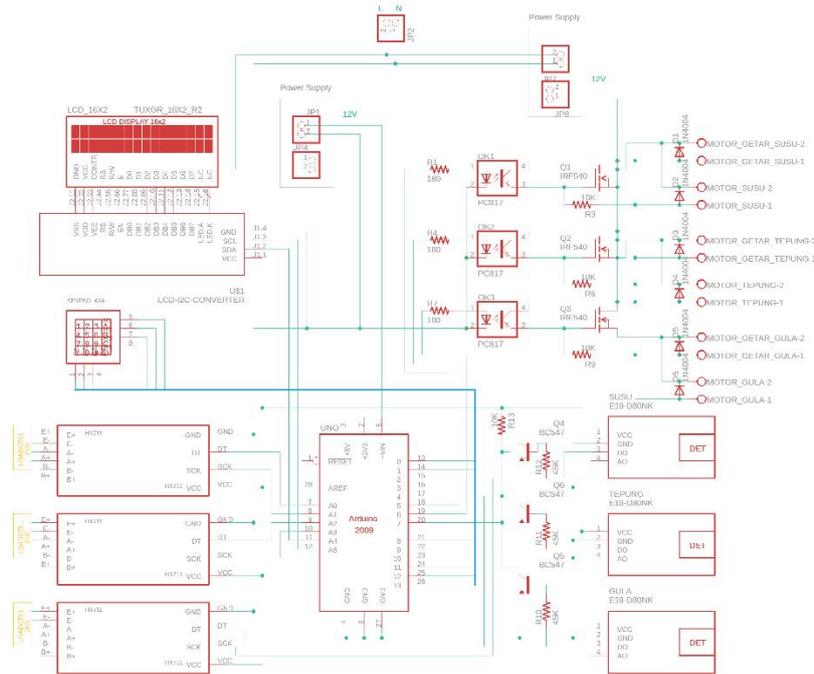


Gambar 3: Perancangan Mekanik

Dalam perancangan sistem penakar otomatis terdapat tiga buah *chamber* yang terbuat dari akrilik 5 cm, dimana masing-masing *chamber* berisi tepung, gula, dan susu bubuk. Spiral yang terdapat pada sistem ini terbuat dari PVC dan poros/as spiral menggunakan *stainless steel*. Pada alat ini digunakan motor DC sebagai aktuator dari spiral. Sensor *infrared proximity* yang dipasang pada tutup *chamber* berfungsi untuk mendeteksi ketersediaan bubuk, sedangkan sensor *load cell* 2 kg yang berfungsi untuk mendeteksi jumlah berat yang jatuh/turun ke wadah terletak di bawah masing-masing ketiga penampung. Terdapat LCD dan *keypad* yang terpasang pada *panel box* untuk memberikan input resep yang diinginkan oleh *user*. Pada area keluaran spiral dan penampung dipasang penutup dari akrilik untuk menjaga kesterilan bubuk selama proses penakaran berlangsung.



2.3 Perancangan Elektronik



Gambar 4: Perancangan Elektronik Sistem

Spesifikasi Elektronik Sistem:

1. Jumlah *chamber* : 3 buah
2. Kapasitas tiap *chamber* : 3 kg
3. Sensor : Sensor *Infrared Proximity* dan Sensor *Load Cell 2 kg*
4. Processor : Mikrokontroler Arduino Uno
5. Aktuator : Motor DC 12 Volt
6. Display : LCD 16x2
7. Tegangan Kerja : 220 Volt
8. *Power Supply* : DC Output 12 V
9. Driver motor : Mosfet IRF540
10. *Interface* : *Keypad 4x4*

2.5 Perancangan Kontrol PID

Perancangan parameter kontrol PID bertujuan untuk menentukan nilai K_p , K_i , dan K_d yang cocok dengan sistem dengan melihat grafik respon sistem. Kontrol PID digunakan agar alat dapat mencapai *set point* berat yang diinginkan. Pada metode *Ziegler-Nichols* untuk mencari nilai K_p , K_i , dan K_d menggunakan perhitungan dari teori metode *Ziegler-Nichols 1*, karena pada saat percobaan secara eksperimen menimbulkan kurva berbentuk S. Karakteristik kurva S memiliki 2 parameter, yaitu waktu tunda (L) dan konstanta waktu (T) [10]. Nilai L dan T didapatkan dari garis singgung pada titik perubahan kurva berbentuk S kemudian menentukan perpotongan garis singgung dengan sumbu waktu t dan sumbu $c(t) = K$ [11]. Setelah mendapatkan nilai L dan T dari sistem, maka ditentukan nilai-nilai parameter kontrol PID menggunakan rumus seperti pada Tabel 1 dibawah ini.

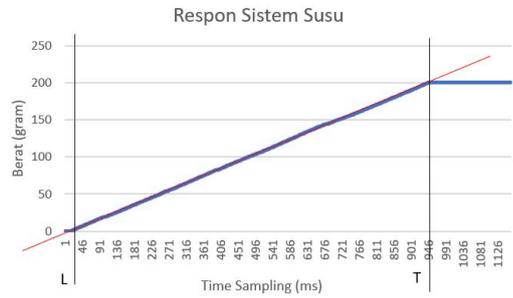
TABEL 1: PERSAMAAN METODE ZIGLER-NICHOLS 1

Tipe kontroler	K_p	T_i	T_d
P	T/L	-	0
PI	$0.9 T/L$	$L/0.3$	0
PID	$1.2 T/L$	$2L$	$0.5L$



Dalam menentukan PID, langkah awal yaitu melihat grafik sistem pada ketiga bahan dengan *set point* yang sama yaitu 200 g. Setelah mendapatkan nilai L dan T maka dapat menentukan nilai Kp, Ki dan Kd dengan rumus metode *Ziegler-Nichols* 1. Berikut grafik respon awal dari plant tanpa menggunakan kontroler dari ketiga bahan beserta tuning PID menggunakan rumus sesuai Tabel 1.

1) Grafik Respon Sistem Tanpa Kontroler pada Susu



Gambar 5: Grafik Respon Sistem pada Susu

Dari respon sistem susu diatas maka dihasilkan nilai L sebesar 3.6 s dan nilai T sebesar 91.4 s. Dari nilai L dan T maka dapat diperoleh nilai Kp, Ki dan Kd sebagai berikut.

- Perhitungan nilai Kp

$$\begin{aligned}
 Kp &= 1.2 \times \frac{T}{L} & (1) \\
 &= 1.2 \times \frac{91.4}{3.6} \\
 &= 30.47
 \end{aligned}$$

- Perhitungan nilai Ki

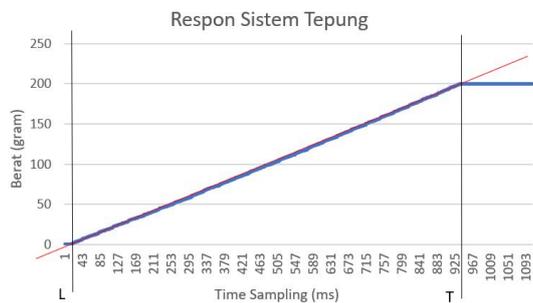
$$\begin{aligned}
 Ti &= 2 \times L & Ki &= \frac{Kp}{Ti} & (2) \\
 &= 2 \times 3.6 & &= \frac{30.47}{7.2} \\
 &= 7.2 & &= 4.2
 \end{aligned}$$

- Perhitungan nilai Kd

$$\begin{aligned}
 Td &= \frac{L}{2} & Kd &= Kp \times Td & (3) \\
 &= \frac{3.6}{2} & &= 30.47 \times 1.8 \\
 &= 1.8 & &= 54.8
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas maka didapatkan nilai PID untuk bahan susu yaitu: Kp = 30.47, Ki = 4.2, Kd = 54.8.

2) Grafik Respon Sistem Tanpa Kontroler pada Tepung



Gambar 6: Grafik Respon Sistem pada Tepung



Dari respon sistem tepung diatas maka dihasilkan nilai L sebesar 3.35 s dan nilai T sebesar 91.45 s. Dari nilai L dan T maka dapat diperoleh nilai Kp, Ki dan Kd sesuai dengan rumus (1), (2), (3) sebagai berikut.

- Perhitungan nilai Kp

$$Kp = 1.2 \times \frac{91.45}{3.35} = 32.75$$

- Perhitungan nilai Ki

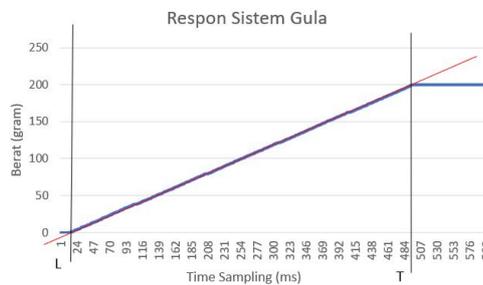
$$Ti = 2 \times 3.35 = 6.7 \qquad Ki = \frac{32.75}{6.7} = 4.88$$

- Perhitungan nilai Kd

$$Td = \frac{3.35}{2} = 1.67 \qquad Kd = 32.75 \times 1.67 = 54.6$$

Dari perhitungan diatas maka didapatkan nilai PID untuk bahan susu yaitu: Kp = 32.75, Ki = 4.88, Kd = 54.6.

3) Grafik Respon Sistem Tanpa Kontroler pada Gula



Gambar 7: Grafik Respon Sistem pada Gula

Dari respon sistem gula diatas maka dihasilkan nilai L sebesar 2.3 s dan nilai T sebesar 48.1 s. Dari nilai L dan T maka dapat diperoleh nilai Kp, Ki dan Kd sesuai dengan rumus (1), (2), (3) sebagai berikut.

- Perhitungan nilai Kp

$$Kp = 1.2 \times \frac{48.1}{2.3} = 25.1$$

- Perhitungan nilai Ki

$$Ti = 2 \times 2.3 = 4.6 \qquad Ki = \frac{25.1}{4.6} = 5.45$$

- Perhitungan nilai Kd

$$Td = \frac{2.23}{2} = 1.15 \qquad Kd = 25.1 \times 1.15 = 28.8$$

Dari perhitungan diatas maka didapatkan nilai PID untuk bahan susu yaitu: Kp = 25.1, Ki = 5.45, Kd = 28.8.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian Sensor Load Cell

Pada pengujian sensor *load cell*, dilakukan dengan membandingkan pembacaan pada sensor *load cell* ketika diberi timbel dan pembacaan pada timbangan digital. Selanjutnya, berat yang keluar pada *Serial Monitor* diamati dan dicatat. Selisih nilai pembacaan berat pada timbangan digital dan pembacaan berat pada sensor berat untuk masing-masing bahan terdapat pada Tabel 2, 3, dan 4.



TABEL 2: PENGUJIAN SENSOR *LOAD CELL* SUSU

No.	Timbangan Digital	Berat pada <i>Load Cell</i>	Selisih Nilai	ERROR (%)
1	500 gr	500.0	0	0
2	500 gr	500.12	0.12	0.024
3	500 gr	500.16	0.16	0.032
4	500 gr	500.18	0.18	0.036
5	500 gr	500.19	0.19	0.038
<i>Error rata-rata %</i>				0.026

TABEL 3: PENGUJIAN SENSOR *LOAD CELL* TEPUNG

No.	Berat Sebenarnya (Timbangan)	Berat pada <i>Load Cell</i> (gr)	Selisih Nilai	ERROR (%)
1	500 gr	500.0	0	0
2	500 gr	500.06	0.06	0.012
3	500 gr	500.13	0.13	0.026
4	500 gr	500.20	0.2	0.04
5	500 gr	500.36	0.36	0.072
<i>Error rata-rata %</i>				0.03

TABEL 4: PENGUJIAN SENSOR *LOAD CELL* GULA

No.	Berat Sebenarnya (Timbangan)	Berat pada <i>Load Cell</i>	Selisih Nilai	ERROR (%)
1	500 gr	500.0	0	0
2	500 gr	500.12	0.12	0.024
3	500 gr	500.22	0.22	0.044
4	500 gr	500.32	0.32	0.064
5	500 gr	500.39	0.39	0.078
<i>Error rata-rata %</i>				0.042

Dari data tabel pengujian di atas tertera *error* rata-rata pembacaan tiap *load cell*, sehingga dari ketiga sensor *load cell* memiliki rata-rata *error* sebesar 0.03%. Hal ini membuktikan bahwa nilai *error* pengukuran *load cell* dengan nilai berat sebenarnya berada pada batas dibawah 1%. Dapat disimpulkan bahwa hasil dari sistem alat menggunakan sensor *load cell* rata-rata pengukuran berat menghasilkan nilai yang sangat dekat dengan nilai berat sebenarnya.

3.2 Pengujian Kontrol PID

Pengujian kontrol PID dilakukan untuk mengetahui bagaimana respon sistem ketika diberi kontrol Kp, Ki, dan Kd. Pengujian ini dilakukan dengan pengambilan data pada serial monitor di *software* Arduino IDE kemudian memasukkan data tersebut pada *software* Microsoft Excel dan mengubahnya dalam bentuk grafik. Berdasarkan pengujian dengan nilai Kp, Ki, dan Kd menggunakan metode *Ziegler-Nichols* 1, didapatkan *error* penakaran sebesar 2-3% seperti pada Tabel 5. Sehingga digunakan tuning manual untuk memperoleh *error steady state* yang lebih kecil [12]. Nilai yang digunakan pada tuning didasarkan pada nilai Kp, Ki, dan Kd dari metode *Ziegler-Nichols* 1.

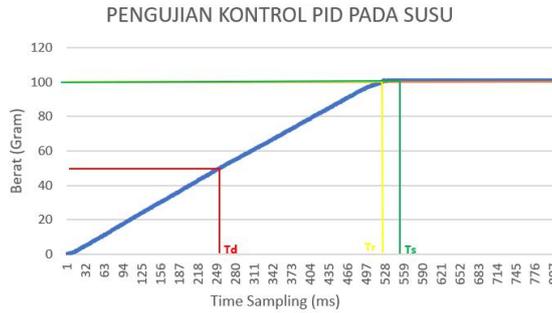
TABEL 5: KARAKTERISTIK RESPON SISTEM METODE ZIEGLER-NICHOLS 1

Jenis	Kp	Ki	Kd	Hasil	Error (%)	Td (s)	Tr (s)	Ts (s)
Susu	30.47	4.2	54.8	102.5	2.5	29.6	55	56.4
Tepung	32.75	4.88	54.6	102.87	2.87	27.3	51.3	56.2
Gula	25.1	5.45	28.8	102.19	2.19	14.1	26.5	27.7



Setelah dilakukan tuning manual didapatkan nilai K_p , K_i , dan K_d yang dapat menghasilkan respon sistem yang baik. Dengan nilai $K_p = 31$, $K_i = 5.5$, $K_d = 50$ untuk susu, $K_p = 33$, $K_i = 5$, $K_d = 50$ untuk tepung, dan $K_p = 25.5$, $K_i = 6.7$, $K_d = 24.2$ untuk gula. Berikut merupakan respon sistem dari masing-masing bubuk:

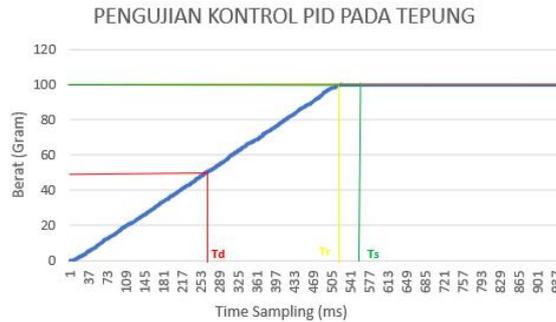
1) Pengujian Kontrol PID pada Susu



Gambar 8: Grafik Respon Kontrol PID Set Point 100 g pada Susu

Dari hasil respon yang ditunjukkan pada Gambar 8 dapat diperoleh analisa perhitungan respon tersebut yaitu: *error* sebesar 0.02%, *delay time* (T_d) sebesar 25.6 s, *rise time* (T_r) sebesar 52.4 s, dan *settling time* (T_s) sebesar 55 s.

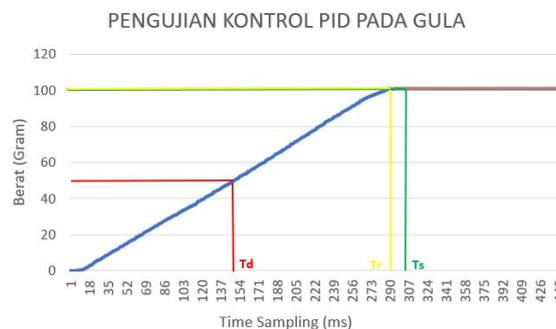
2) Pengujian Kontrol PID pada Tepung



Gambar 9: Grafik Respon Kontrol PID Set Point 100 g pada Tepung

Dari hasil respon yang ditunjukkan pada Gambar 9 dapat diperoleh analisa perhitungan respon tersebut yaitu: *error* sebesar 0.16%, *delay time* (T_d) sebesar 26.7 s, *rise time* (T_r) sebesar 52.5 s, dan *settling time* (T_s) sebesar 55.1 s.

3) Pengujian Kontrol PID pada Gula



Gambar 10: Grafik Respon Kontrol PID Set Point 100 g pada Gula



Dari hasil respon yang ditunjukkan pada Gambar 10 dapat diperoleh analisa perhitungan respon tersebut yaitu: *error* sebesar 0.72%, *delay time* (Td) sebesar 14.5 s, *rise time* (Tr) sebesar 29 s, dan *settling time* (Ts) sebesar 30.4 s.

3.3 Pengujian Keseluruhan

Setelah mendapatkan respon sistem yang baik berdasarkan tuning PID, maka dilakukan pengujian terhadap pilihan menu yang ada pada sistem. Berikut merupakan hasil percobaan tiap bahan baku yang keluar dari ulir untuk tiap menu.

TABEL 6: HASIL PENGUJIAN RESEP

Resep	Takaran tiap resep			Pengujian Susu		Pengujian Tepung		Pengujian Gula		Error Takaran (%)		
	Susu	Tepung	Gula	Berat	Waktu (s)	Berat	Waktu (s)	Berat	Waktu (s)	Susu	Tepung	Gula
Churros	30g	175g	25g	31g	21	175g	140	25g	7.31	3%	0%	0%
Donat	30g	300g	60g	30g	20.33	301g	170	60g	12.40	0%	0.33%	0%
Roti Sobek	30g	350g	35g	30g	20	350g	197	36g	8.15	0%	0%	2.85%
Custom	20g	20g	20g	20g	14	20g	13.50	20g	5.80	0%	0%	0%
<i>Error Rata-rata (%)</i>										0.75%	0.08%	0.71%

Sistem dapat mengeluarkan takaran sesuai resep dan input manual dengan nilai *error* rata-rata tiap bahan baku yaitu antara 0-1%. Secara keseluruhan, kontrol PID yang digunakan dapat membuat sistem menakar dengan baik dan waktu yang tertera merupakan waktu maksimal yang dapat dicapai oleh sistem dalam proses penakaran.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan yaitu:

1. Hasil pengujian sensor *load cell* sebagai sensor berat dapat dikatakan cukup baik karena memiliki *error* rata-rata sebesar 0.03%. Pengujian ini dilakukan dengan membandingkan nilai pembacaan sensor *load cell* dengan timbangan digital.
2. Pada percobaan tuning menggunakan metode *Ziegler-Nichols* 1 didapatkan *error* pada sistem berkisar antara 2-3% sehingga dilakukan percobaan berikutnya menggunakan tuning manual dengan nilai Kp, Ki, dan Kd dari *Ziegler-Nichols* 1 sebagai nilai acuan.
3. Tuning kontrol PID menggunakan metode tuning manual berdasar metode *Ziegler-Nichols* 1 sebagai acuan didapatkan nilai Kp = 31, Ki = 5.5, Kd = 50 untuk susu, Kp = 33, Ki = 5, Kd = 50 untuk tepung, dan Kp = 25.5, Ki = 6.7, Kd = 24.2 untuk gula. Dengan pengujian pada masing-masing bubuk 100 g menghasilkan performa sistem pada susu yaitu *error* sebesar 0.02%, pada tepung yaitu *error* sebesar 0.16%, dan pada gula yaitu *error* sebesar 0.72%.
4. Kesesuaian sistem dalam menakar baik berdasarkan resep yang tersedia maupun berdasarkan input manual/*custom*, didapatkan nilai *error* rata-rata pada tiap bahan baku yaitu antara 0-1%. Sehingga, kontrol PID yang diimplementasikan pada sistem berjalan dengan baik.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam penyusunan penelitian ini, penulis mendapat dukungan serta bimbingan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Denda Dewatama, S.T., M.T. dan Bapak Gillang Al Azhar, S.S.T., M.Tr.T. selaku dosen pembimbing yang senantiasa memberikan arahan dan bimbingan selama penelitian.
2. Kedua orang tua serta keluarga penulis yang senantiasa memberikan semangat dan doa.
3. Teman-teman kelas 4D D4 Teknik Elektronika angkatan 2019.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. M. Farihin, J. Priambodo, and B. Al Khindi, "Sistem Penakar Bahan Baku Premix Roti Manis Menggunakan Metode PID," *J. Tek. ITS*, vol. 10, no. 2, pp. 121–126, 2021, doi: 10.12962/j23373539.v10i2.68131.
- [2] M. Sony Erstiawan, J. Wibowo, and F. Ekonomi Universitas Dinamika Surabaya, "Efektivitas Strategi Pemasaran Dan Manajemen Keuangan Pada UMKM Roti," *DIKEMAS (Jurnal Pengabd. Kpd. Masyarakat)*, vol. 5, no. 1, pp. 2581–1932, 2021, [Online]. Available: <http://journal.pnm.ac.id/index.php/dikemas/article/view/182>
- [3] A. Ridhamuttaqin, A. Trisanto, and E. Nasrullah, "Rancang Bangun Model Sistem Pemberi Pakan Ayam Otomatis Berbasis Fuzzy Logic Control," *ELE*, vol. 7, no. 3, pp. 125–137, 2013.
- [4] S. Samsugi, Z. Mardiyansyah, and A. Nurkholis, "SISTEM PENGONTROL IRIGASI OTOMATIS MENGGUNAKAN MIKROKONTROLER ARDUINO UNO," *J. Teknol. dan Sist. Tertanam*, vol. 01, no. 01, pp. 17–22, 2020.
- [5] M. Zulkarnain and S. Mustafa, "Rancang Bangun Media Pembelajaran Penyortiran Benda Berbasis Mikrokontroler," *JouLE*, vol. 1, no. 1, pp. 32–40, 2020.
- [6] R. Hardiansyah, M. S. Gozali, and H. Toar, "Kendali Posisi Linear Actuator Berbasis PID Menggunakan PLC," *JAEE*, vol. 2, no. 1, pp. 12–17, 2018.
- [7] M. Putri, A. Ma'arif, and R. Puriyanto, "Pengendali Kecepatan Sudut Motor Dc Menggunakan ," *J. TECHNO*, vol. 23, no. 1, pp. 09–18, 2022.
- [8] S. N. Alima, M. Fauziyah, and D. Dewatama, "PI Controller Untuk Mengatur Kecepatan Motor Induksi 1 Fasa," *Aviat. Electron. Inf. Technol. Telecommun. Electr. Control*, vol. 2, no. 2, pp. 161–169, 2020.
- [9] G. A. Azhar, T. Winarno, and S. Izza, "Sistem Distribusi Data Kontrol Pada Differential Drive Mobile Robot Menggunakan Robot Operating System," *Metrotech (Journal Mech. Electr. Technol.)*, vol. 1, no. 3, pp. 19–27, 2022, doi: 10.33379/metrotech.v1i3.1803.
- [10] B. R. R. Fakhrunnia, M. Fauziyah, and D. Dewatama, "Kontrol Suhu Menggunakan Metode PID untuk Proses Pemasakan Nira Pada Alat Pembuat Gula Merah Tebu," *J. Elektron. dan Otomasi Ind.*, vol. 3, no. 2, pp. 27–32, 2020.
- [11] R. A. Rakhman, M. Fauziyah, and D. Dewatama, "Kontrol Suhu Proses Pemasakan Bubur Kedelai Menggunakan Metode PID Pada Alat Pembuat Tahu," *J. Elektron. dan Otomasi Ind.*, vol. 6, no. 2, p. 50, 2021, doi: 10.33795/elkolind.v6i2.160.
- [12] G. A. Azhar, T. Winarno, and A. Komarudin, "Kontrol Sudut Elevasi Robot Pelontar Softsaucer dengan Metode PID," *J. Elektron. Otomasi Ind.*, vol. 04, pp. 9–14, 2020.

