

Rancang Bangun Pengisian Kemasan Bubuk Kopi Berbasis *Microcontroller* dan Mengontrol Kecepatan Penurunan Bubuk Kopi Menggunakan Metode PID

Mochammad Farhan Abdul Razzaq^{1*}, Sungkono², Herwandi³

^{1,2,3}Politeknik Negeri Malang, Malang

*Penulis Korespondensi, email: farhanabdulrazzaq88@gmail.com

Received:09/10/2024

Revised:05/11/2024

Accepted:11/11/2024

Abstract. Ground coffee can be produced from various types of coffee beans such as arabica and robusta. To maintain the quality of ground coffee and facilitate marketing, good packaging is needed. Manual packaging is still commonly done, so the purpose of this research is to make a Microcontroller-based coffee powder packaging filling tool. This tool controls the speed of the coffee powder drop using the PID method and ensures the appropriate weight. The Microcontroller used is an Arduino Uno ATmega 328P, serving as the control center. An ultrasonic sensor detects the coffee powder in the hopper tank, while a Load cell sensor measures weight. An LCD displays information, and a DC motor connected to a screw mechanism pushes the coffee powder into the packaging. A keypad allows data entry into the control system. The test results show that at a weight of 75 grams the average error is 6.03%, 150 grams the average error is 0.81%, 250 grams the average error is 0.46%, 350 grams the average error is 0.39%, and 500 grams the average error is 0.40%. The time required to lower the coffee powder is 2 minutes 26 seconds for 75 grams, 4 minutes 11 seconds for 150 grams, 6 minutes 3 seconds for 250 grams, 8 minutes 30 seconds for 350 grams, and 10 minutes 15 seconds for 500 grams.

Keywords: PID control, DC motor, Weight sensor, Distance sensor, Packaging

Abstrak. Kopi bubuk dapat diproduksi dari berbagai jenis biji kopi seperti arabika dan robusta. Untuk menjaga kualitas kopi bubuk dan mempermudah pemasaran, pengemasan yang baik sangat diperlukan. Pengemasan manual masih umum dilakukan, sehingga tujuan penelitian ini adalah membuat alat pengisian kemasan bubuk kopi berbasis *Microcontroller*. Alat ini mengontrol kecepatan penurunan bubuk kopi menggunakan metode PID dan memastikan berat yang sesuai. *Microcontroller* yang digunakan adalah Arduino Uno ATmega 328P sebagai pusat pengontrol, sensor ultrasonik untuk mendeteksi bubuk kopi di *hopper tank*, sensor *Load cell* untuk mengukur berat, LCD sebagai tampilan, motor DC yang terhubung dengan *screw* untuk mendorong bubuk kopi ke dalam kemasan, dan *Keypad* untuk memasukkan data ke sistem kontrol. Hasil pengujian menunjukkan pada berat 75 gram *error* rata-rata 6,03%, 150 gram *error* rata-rata 0,81%, 250 gram *error* rata-rata 0,46%, 350 gram *error* rata-rata 0,39%, dan 500 gram *error* rata-rata 0,40%. Waktu yang dibutuhkan untuk menurunkan bubuk kopi adalah 2 menit 26 detik untuk 75 gram, 4 menit 11 detik untuk 150 gram, 6 menit 3 detik untuk 250 gram, 8 menit 30 detik untuk 350 gram, dan 10 menit 15 detik untuk 500 gram.

Kata Kunci: Kontrol PID, Motor DC, Sensor berat, Sensor jarak, Pengemasan

I. PENDAHULUAN

Kopi adalah salah satu komoditas dagangan utama Indonesia. Pada masa kolonial Belanda, kopi dibawa ke Indonesia, menjadikannya salah satu negara penghasil kopi terbesar di dunia. Kopi bukan merupakan tanaman asli kepulauan Indonesia hingga pada akhir abad 16 saat Indonesia masih dibawah jajahan Belanda [1]. Di antara komoditas perkebunan lainnya, kopi adalah salah satu yang

paling menguntungkan. Kopi banyak diolah menjadi produk kopi bubuk [2]. Seiring dengan meningkatnya produksi kopi di Indonesia, kebutuhan akan proses pengolahan yang efisien dan berkualitas juga semakin penting, terutama dalam tahap pengemasan.

Salah satu langkah penting dalam industri pengolahan kopi adalah pengemasan bubuk kopi. Saat ini pengemasan bubuk kopi masih secara

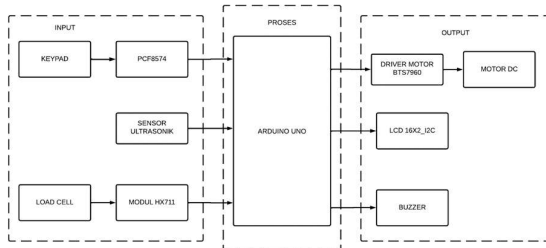
manual, terutama di industri UMKM. Sering kali mereka menghadapi tantangan dalam mencapai konsistensi berat yang diinginkan dalam setiap kemasan. Pada pengemasan manual, berat bubuk kopi yang diisikan ke dalam kemasan dapat bervariasi dan tidak sesuai. Ada sejumlah alasan untuk hal ini, seperti kesalahan manusia dan variasi berat bubuk kopi.

Seiring dengan kemajuan teknologi, banyak industri makanan dan minuman telah beralih ke otomatisasi untuk meningkatkan efisiensi dan presisi proses produksi. Penggunaan teknologi otomatis dalam pengolahan bubuk kopi dapat memberikan keuntungan signifikan, tidak hanya dalam hal konsistensi berat, tetapi juga dalam efisiensi waktu dan biaya produksi. Keberhasilan dalam mengatasi tantangan pengemasan bubuk kopi tidak hanya akan dalam hal konsistensi berat saja melainkan dapat meningkatkan daya saing di pasar regional, terutama pada bidang industri UMKM.

II. METODOLOGI

A. Diagram blok sistem

Dalam perancangan pembuatan alat penurunan bubuk kopi ini dibutuhkan diagram blok sistem untuk membantu dalam memahami sistem alat dan cara kerja rangkaian. Pada penelitian ini, diagram blok sistem dibagi menjadi 3 bagian besar supaya memudahkan dalam perancangannya.



Gambar 1. Blok diagram sistem

Tabel 1 berikut ini merupakan keterangan dari blok diagram sistem.

Tabel 1. Keterangan blok diagram sistem

No	Nama	Fungsi
<i>Input</i>		
1	Keypad 4x4	Salah satu jenis piranti <i>input</i> yang tersedia dalam proyek elektronik berbasis <i>mikroprosesor</i> atau <i>Microcontroller</i> adalah tombol <i>input</i> [3]. <i>Keypad</i> pada alat ini berfungsi sebagai <i>inputan</i> awal agar <i>user</i> bisa memberikan perintah pemilihan menu berat yang tertampil pada <i>display</i> . Selain itu <i>Keypad</i> juga digunakan untuk memberikan perintah menjalankan dan memberhentikan alat.
2	Sensor Ultrasonik	Salah satu sensor ultrasonik yang digunakan adalah HC-SR04. Ini terdiri dari dua bagian utama: <i>transmitter</i> (pengirim) dan <i>receiver</i> (penerima) [4]. Sensor ini berfungsi sebagai pengidentifikasi adanya bubuk kopi pada <i>hopper tank</i> .
3	HX711	Modul HX711 pada alat ini berfungsi sebagai modul penguat dan konverter <i>analog</i> ke <i>digital</i> (ADC) yang digunakan untuk membaca sinyal dari sensor atau berat <i>Load cell</i> . HX711 ini memiliki antarmuka <i>digital</i> yang sederhana yang dapat dihubungkan ke <i>Microcontroller</i> seperti Arduino UNO dan

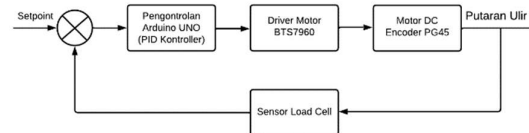
		modul ini hanya menggunakan dua pin utama untuk berkomunikasi yaitu pin data (DOUT) dan pin <i>clock</i> (SCK). Strukturnya yang sederhana dan mudah digunakan memungkinkan hasil yang stabil, sensitivitas tinggi, dan kemampuan untuk mengukur perubahan dengan cepat [5].			quartz 16 MHz, koneksi USB, jack daya, <i>header</i> ICSP, dan tombol reset [7]. Selain itu Arduino UNO digunakan untuk menjalankan program untuk mengendalikan motor dan sensor yang digunakan pada alat ini. Pada pin <i>digital</i> D0-D13 dapat digunakan sebagai <i>input</i> atau <i>output</i> . Beberapa pin pada Arduino UNO ini memiliki fungsi PWM. Sedangkan pada pin A0-A5 merupakan pin <i>analog</i> yang dapat membaca sinyal <i>analog</i> dari sensor.
Output					
4	Load cell	Sensor berat, juga dikenal sebagai satu titik beban sel, adalah <i>transducer</i> yang menghasilkan daya yang sebanding dengan gaya atau beban [6]. <i>Load cell</i> pada alat ini menggunakan kapasitas 1kg yang digunakan untuk mengukur penimbangan berat pada bubuk kopi. <i>Load cell</i> ini bekerja berdasarkan perubahan resistansi. Perubahan resistansi diubah menjadi sinyal listrik kecil kemudian diperkuat dan di ubah menjadi data <i>digital</i> oleh modul HX711 yang dapat dibaca oleh <i>Microcontroller</i> seperti Arduino UNO.	6	Driver Motor	Driver motor BTS7960 merupakan modul motor <i>H-Bridge</i> yang digunakan untuk mengendalikan motor DC dengan arus tinggi dan tegangan tinggi. BTS7960 berfungsi untuk mengendalikan kecepatan yang dapat dikendalikan dengan memberikan sinyal PWM (<i>Pulse With Modulation</i>) dan dapat mengontrol arah putaran motor (searah jarum jam atau berlawanan arah jarum jam) menggunakan sinyal kontrol dari <i>Microcontroller</i> .
Proses					
5	Microcontroller Arduino UNO	Arduino UNO adalah <i>board Microcontroller</i> berbasis ATmega328P dengan 14 pin <i>input/output</i> digital, 6 <i>analog input</i> , kristal	7	Motor DC	Motor PG45 merupakan jenis motor yang dilengkapi dengan <i>Encoder</i> dan <i>gearbox</i> .

		<i>Encoder</i> berfungsi sebagai umpan balik yang memungkinkan pengendali kecepatan motor dengan akurasi tinggi. Kecepatan putar dapat disesuaikan untuk tujuan penggunaan motor DC [8]. Sedangkan <i>Gearbox</i> berfungsi untuk menggerakkan beban yang lebih berat atau mengatasi hambatan yang lebih besar dibandingkan dengan motor yang tidak dilengkapi dengan <i>gearbox</i> .
8	LCD 16x2	<i>Liquid Crystal Display</i> , juga dikenal sebagai LCD, adalah alat yang digunakan untuk menampilkan keluaran dari rangkaian elektronik [9]. LCD digunakan untuk menampilkan menu pemilihan berat, pemberitahuan bubuk kopi pada <i>hopper</i> yang ditampilkan di awal proses. Selain itu LCD juga digunakan untuk pemberitahuan berat bubuk kopi yang terisi pada kemasan sekaligus menampilkan kecepatan putaran motor secara <i>real time</i> .
9	<i>Buzzer</i>	<i>Buzzer</i> adalah bagian elektronika yang dapat mengubah getaran listrik menjadi suara [10]. <i>Buzzer</i> berfungsi sebagai penanda atau alarm ketika bubuk kopi pada

		<i>hopper tank</i> dalam keadaan habis atau tidak terisi sehingga proses pada penurun bubuk kopi dapat berjalan.
--	--	--

B. Diagram blok kontrol

Diagram blok tersebut merupakan sistem kontrol tertutup (*closed loop control system*) yang menggunakan Arduino UNO sebagai pengendali PID (*Proportional-Integral-Derivative*) untuk mengatur putaran ulir. *Setpoint* yang diinginkan dibandingkan dengan umpan balik dari sensor *Load cell*. Arduino UNO kemudian menghitung *error* (selisih antara *Setpoint* dan nilai aktual) dan menyesuaikan sinyal keluaran yang dikirim ke driver motor BTS7960 untuk mengontrol Motor DC *Encoder* PG45.

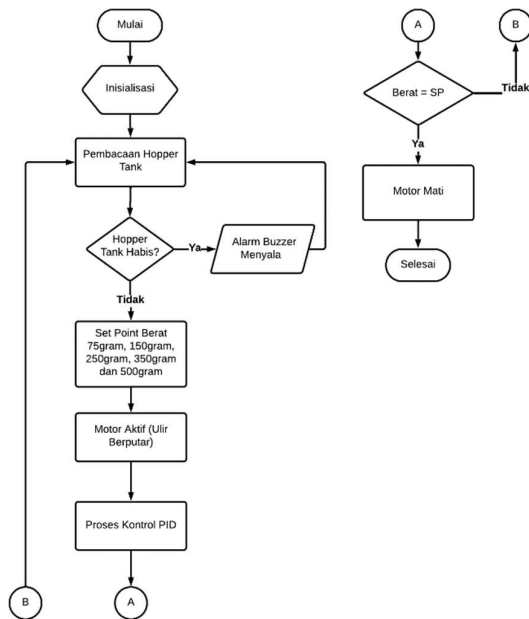


Gambar 2. Diagram blok kontrol

Motor DC dengan *Encoder* memberikan umpan balik posisi atau kecepatan yang membantu memastikan putaran ulir sesuai dengan *Setpoint* yang diinginkan. Sensor *Load cell* mengukur beban atau gaya yang dihasilkan oleh putaran ulir dan mengirimkan informasi ini kembali ke pengendali PID di Arduino UNO, sehingga sistem dapat menyesuaikan kinerja motor dengan presisi untuk mempertahankan stabilitas meskipun terjadi perubahan beban.

C. Perancangan software

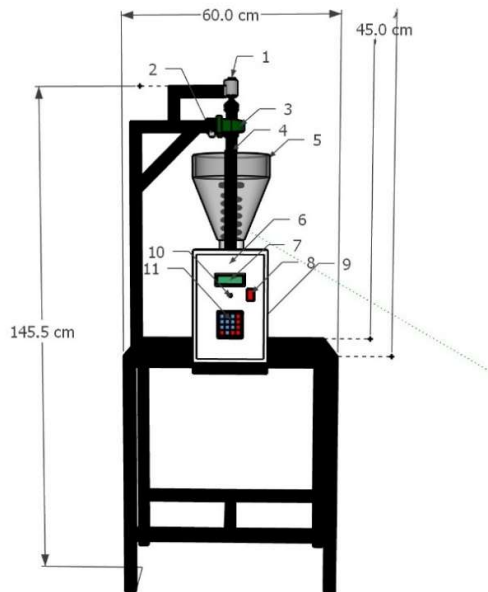
Perancangan *software* adalah proses merancang dan membangun sistem, produk atau komponen mekanik sesuai dengan spesifikasi serta fitur dan fungsi yang dibutuhkan dalam alat yang telah direncanakan sebelumnya. Perancangan *software* bertujuan untuk menciptakan desain mekanik yang memudahkan proses produksi, perawatan, serta perbaikan.



Gambar 2. Flowchart perancangan software

D. Perancangan mekanik

Pada penelitian ini membutuhkan beberapa spesifikasi alat agar perancang dapat sesuai dengan hasil yang ingin dicapai. Ini adalah spesifikasi alat yang akan digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 3. Desain mekanik

Keterangan desain mekanik:

1. Motor DC
2. Sensor Ultrasonik

3. Pillow Blok
4. Ulir (screw)
5. Hopper tank
6. Panel Box
7. LCD 16x2
8. Switch
9. Load cell
10. Buzzer
11. Keypad

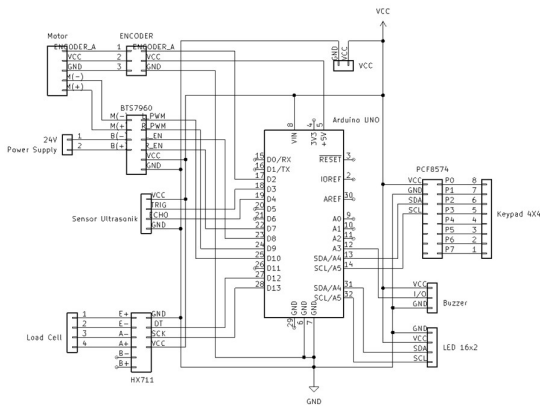
Tabel 2 berikut ini merupakan spesifikasi mekanik.

Tabel 2. Spesifikasi mekanik

Nama	Spesifikasi
Dimensi Mekanik Keseluruhan	Tinggi : 145cm Lebar : 45cm Panjang : 60cm Bahan : Aluminium
Dimensi Ukuran Hopper tank	Tinggi : 30cm Diameter Atas : 20cm Diameter Corong : 6cm Bahan : Stainless Steel Kapasitas : 1.5kg
Dimensi Ukuran Ulir (Screw)	Tinggi : 40cm Diameter : 6cm Bahan : PLA (+)
Dimensi Ukuran Panel Box	Tinggi : 30cm Lebar : 12cm Panjang : 20cm Bahan : Aluminium
Motor DC	Tipe : PG45 Kecepatan : 500rpm Kapasitas : 16-25kg
Catu Daya	220 V
Jenis Sensor	Sensor Ultrasonik, Sensor Load cell, Buzzer
Jenis Prosesor	Arduino UNO

E. Perancangan Elektronik

Sumber tegangan yang dibutuhkan adalah sumber DC 24V. Untuk motor DC yang digunakan adalah motor DC PG45 yang sudah terhubung dengan Encoder. Sedangkan pada sensor hanya membutuhkan tegangan 5V.

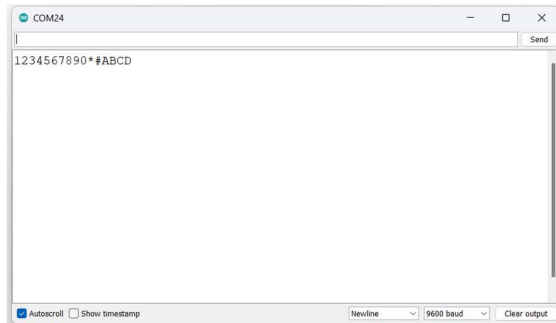


Gambar 4. Rangkaian skematik keseluruhan

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

F. Pengujian keypad 4x4

Hasil dalam pengujian *Keypad* dapat terlihat pada *serial monitor* Arduino IDE, pada saat tombol angka ditekan (1,2,3,4,5,6,7,8,9,0) dapat berfungsi dengan baik, kemudian ketika tombol simbol di tekan (*,#) dapat bekerja dengan baik, selanjutnya ketika tombol abjad (A, B, C, D) dapat dilihat pada *serial monitor* berfungsi dengan baik.

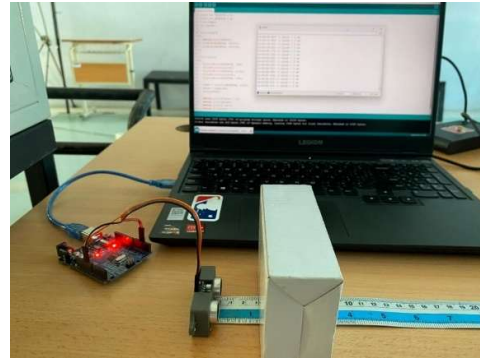


Gambar 6. Hasil pengujian keypad 4x4

Tombol pada *Keypad* yang dipakai pada alat ini adalah berupa angka (1, 2, 3, 4, 5) yang berfungsi untuk pemilihan berat. Kemudian simbol (*) berfungsi untuk kembali ketika *user* salah memilih pemilihan berat, tombol (#) berfungsi untuk memberhentikan mesin. Kemudian tombol abjad (D) berfungsi sebagai untuk menjalankan mesin. Dapat disimpulkan bahwasanya, ketika *user* nantinya menekan tombol pada *Keypad* dapat berjalan dan berfungsi dengan baik.

G. Pengujian Sensor Ultrasonik

Dari data yang dikumpulkan, terlihat bahwa sensor ultrasonik dapat mengukur jarak dengan ketelitian yang sangat tinggi, tetapi masih ada kesalahan dan error ketika mengukur objek yang cukup jauh dari sensor. Berikut merupakan pengujian sensor ultrasonik menggunakan penggaris dengan jarak 3cm



Gambar 7. Pengujian sensor ultrasonik

Hasil dari pengujian dan pengukuran yang dilakukan dapat dilihat pada tabel 3.1 yaitu nilai yang terukur oleh penggaris tidak selalu sama dengan nilai yang diukur oleh sensor ultrasonik. Hasil dari nilai rata-rata *error* yang didapatkan dalam pengujian tersebut yaitu sebesar 0.23%.

Tabel 3. Data hasil pengujian sensor ultrasonik

Jarak Sebenarnya (cm)	Percobaan 1 (cm)	Percobaan 2 (cm)	Percobaan 3 (cm)	Rata-Rata Hasil Percobaan (cm)	Error %
3	3,01	3,01	3,02	3,01	0,3
6	6,02	6,01	6,01	6,01	0,2
9	9,03	9,02	9,02	9,02	0,2
12	12,01	12,04	12,02	12,02	0,2
15	15	15,2	15,3	15,16	1,1
18	18,02	18,03	18,03	18,02	0,14
21	21	21,02	21,03	21,01	0,07
24	24,01	24,03	23,99	24,01	0,04
27	27,04	27,01	27,03	27,02	0,09
30	29,95	30,03	30,01	29,99	0,01
Rata – Rata Error					0,23

Perhitungan dibawah ini merupakan contoh pengambilan data dengan jarak 3cm:

Hasil rata-rata ukur sensor = 3,01

Hasil menggunakan penggaris = 3

$$\text{Error\%} = \frac{\text{Hasil Ukur Sensor} - \text{Jarak Sebenarnya}}{\text{Hasil Ukur Penggaris}} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{Error\%} = \frac{3,01 - 3}{3}$$

$$\text{Error\%} = 0,03\%$$

H. Pengujian Sensor Load cell

Dari data yang telah diambil bahwa *Load cell* mampu menimbang dengan ketelitian yang cukup baik, walaupun masih terdapat *error* dan kesalahan ketika dibandingkan dengan timbangan digital. Berikut merupakan pengujian sensor *Load cell* menggunakan anak timbangan.



Gambar 8. Pengujian sensor *load cell* menggunakan anak timbangan

Hasil dari pengujian dan pengukuran berat yang dilakukan dapat dilihat pada tabel 3.2 yaitu nilai yang ditimbang menggunakan timbangan digital tidak selalu sama dengan timbangan pada *Load cell*.

Tabel 4. Data hasil pengujian sensor *load cell*

No	Beban Pada Timbangan Digital (Gram)	Beban Pada Load cell (Gram)	Selisih (Gram)	Error (%)
1	25	24,723	0,277	1,11%
2	50	50,03	0,03	0,06%
3	75	74,663	0,337	0,45%
4	100	99,84	0,16	0,16%
5	125	124,57	0,43	0,34%
6	150	149,84	0,16	0,11%
7	175	174,51	0,49	0,28%
8	200	199,82	0,18	0,09%
9	250	249,81	0,19	0,08%
10	275	275,45	0,45	0,16%
11	300	300,47	0,47	0,16%
12	350	349,59	0,41	0,12%
13	375	374,26	0,74	0,20%
14	400	400,36	0,36	0,09%
15	500	500,65	0,65	0,13%
Rata - Rata Error				0,16%

Berikut merupakan perhitungan untuk mencari nilai *error*:

$$\text{Error}(\%) = \frac{\text{selisih nilai pembacaan}}{\text{nilai beban digital}} \times 100\% \quad (2)$$

Berikut merupakan rumus untuk mencari nilai rata-rata *error* keseluruhan.

$$\text{Rata - Rata Error}(\%) = \frac{\text{nilai rata-rata keseluruhan}}{\text{jumlah data}} \times 100\% \quad (3)$$

I. Pengujian motor DC encoder PG45

Tujuan dari pengujian ini, Motor DC Encoder untuk membaca sensor kecepatan untuk mengetahui bahwa pembacaan dari sensor kecepatan dengan alat ukur *tachometer* telah sesuai dengan tampilan kecepatan pada *serial monitor*. Pada pengujian ini dilakukan berdasarkan *sampling* perubahan sebesar 20 sampai 255 PWM. Data RPM akan dikirimkan ke *serial monitor* Arduino IDE yang akan dibandingkan dengan *tachometer*.



Gambar 9. Hasil pengujian motor DC encoder PG45 dengan *tachometer*

Berikut ini adalah tabel hasil pengujian dan perbandingan dari pengukuran antara RPM motor DC Encoder PG45 dengan RPM *Tachometer*:

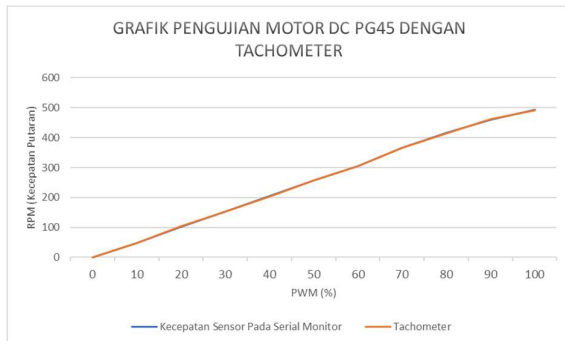
Tabel 5. Hasil perbandingan motor DC encoder PG45 dengan *tachometer*

No	Nilai PWM (%)	Kecepatan Sensor Pada Serial monitor	Tacho meter	Error (%)
1	0	0	0	0
2	10%	47	47,8	1,67%
3	20%	102	103,8	1,64%

4	30%	153	152,2	0,53%
5	40%	204	203	0,49%
6	50%	257	256,2	0,31%
7	60%	306	305,7	0,10%
8	70%	366	365,5	0,14%
9	80%	415	413	0,48%
10	90%	460	461,5	0,33%
11	100%	493	492,5	0,16%
Rata – Rata <i>Error</i>				0,53%

Dari hasil pengujian, dibuktikan bahwa motor PG45 dengan *tachometer* telah mendeteksi putaran dengan baik. Hasil perbandingan dari kecepatan Motor PG45 menghasilkan rata-rata *error* 0,53%.

Berikut merupakan grafik pengujian motor DC Encoder PG45 dengan *Tachometer*.



Gambar 10. Grafik pengujian motor DC encoder PG45 dengan *tachometer*

J. Pengujian Berat Penimbangan Bubuk Kopi

Pada pengujian berat, dilakukan percobaan sebanyak 3 kali dengan berat yang berbeda-beda yaitu, 75 gram, 150 gram, 250 gram, 350 gram dan 500 gram. Hasil pengujian ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 6. Hasil pengujian berat 75 Gram

Pemilihan Berat	Berat Pada Load Cell (gram)	Berat Pada Timbangan Digital (gram)	Selisih	Error (%)
75gram	77,05	88	10,95	12,44%
75gram	75,25	76	0,75	0,99%
75gram	76,28	80	3,72	4,65%
Rata Rata <i>Error</i>				6,03%

Tabel 7. Hasil pengujian berat 150 Gram

Pemilihan Berat	Berat Pada Load Cell (gram)	Berat Pada Timbangan Digital (gram)	Selisih	Error (%)
150gram	151,03	150	1,03	0,69%
150gram	150,25	154	3,75	2,44%
150gram	150,95	152	1,05	0,69%
Rata Rata <i>Error</i>				0,81%

Tabel 8. Hasil pengujian berat 250 Gram

Pemilihan Berat	Berat Pada Load Cell (gram)	Berat Pada Timbangan Digital (gram)	Selisih	Error
250gram	251,45	253	1,55	0,61%
250gram	250,01	250	0,01	0,00%
250gram	254,04	256	1,96	0,77%
Rata Rata <i>Error</i>				0,46%

Tabel 9. Hasil pengujian berat 350 gram

Pemilihan Berat	Berat Pada Load Cell (gram)	Berat Pada Timbangan Digital (gram)	Selisih	Error
350gram	350,27	351	0,73	0,21%
350gram	352,52	352	0,52	0,15%
350gram	354,03	358	3,97	1,11%
Rata Rata <i>Error</i>				0,39%

Tabel 10. Hasil pengujian berat 500 gram

Pemilihan Berat	Berat Pada Load Cell (gram)	Berat Pada Timbangan Digital (gram)	Selisih	Error
500gram	510,77	501	9,77	1,95%
500gram	507,65	510	2,35	0,46%
500gram	505,55	507	1,45	0,29%
Rata Rata Error				0,4

Hasil dari pengujian berat tersebut ketika penimbangan 75 gram mendapatkan nilai *error* rata-rata sebesar 6,03%, pada berat 150 gram mendapatkan nilai rata-rata *error* 0,81%, pada berat 250 gram mendapatkan nilai rata-rata *error* 0,46%, pada berat 350 gram mendapatkan nilai rata-rata *error* 0,39% dan pada berat 500 gram mendapatkan nilai rata-rata *error* 0,40%.

$$Error(\%) = \frac{\text{selisih nilai pembacaan}}{\text{nilai beban digital}} \times 100\% \quad (4)$$

$$\text{Rata - Rata Error}(\%) = \frac{\text{nilai rata-rata keseluruhan}}{\text{jumlah data}} \times 100\% \quad (5)$$

K. Pengujian Kecepatan Penurunan Bubuk Kopi

Pada pengujian kecepatan penurunan bubuk kopi, dilakukan percobaan sebanyak 3 kali dengan berat yang berbeda-beda yaitu, 75 gram, 150 gram, 250 gram, 350 gram dan 500 gram. Dari hasil pengujian tersebut menggunakan *stopwatch* sebagai perhitungan waktu ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 11. Waktu kecepatan penurunan bubuk kopi

Pemilihan Berat	Percobaan 1	Percobaan 2	Percobaan 3
75gram	2 Menit 49 Detik	1 Menit 59 Detik	2 Menit 30 Detik
150gram	4 Menit 7 Detik	1 Menit 59 Detik	2 Menit 30 Detik
250gram	6 Menit 31 Detik	5 Menit 32 Detik	6 Menit 5 Detik
350gram	8 Menit 44 Detik	8 Menit 11 Detik	8 Menit 36 Detik
500gram	10 Menit 23 Detik	9 Menit 50 Detik	10 Menit 31 Detik

Dari hasil pengujian keseluruhan tersebut waktu dari menit dirubah menjadi ke detik untuk mencari nilai rata-rata dari penurunan bubuk kopi sesuai

dengan timbangan yang dipilih. Berikut merupakan tabel 3.10 nilai rata-rata dari hasil penimbangan setiap beratnya.

Tabel 12. Nilai Rata-Rata Waktu Kecepatan Penurunan Bubuk Kopi

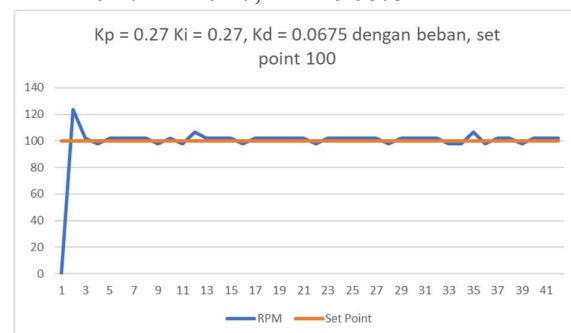
Pemilihan Berat (Gram)	Percobaan 1 (Detik)	Percobaan 2 (Detik)	Percobaan 3 (Detik)	Jumlah Total Waktu Percobaan (Detik)	Rata-rata Waktu (Detik)	Total Waktu Yang Dibutuhkan
75gram	169	119	150	438	146	2 Menit 26 Detik
150gram	247	282	224	753	251	4 Menit 11 Detik
250gram	391	332	365	1088	363	6 Menit 3 Detik
350gram	524	491	515	1530	510	8 Menit 30 Detik
500gram	623	590	631	1844	615	10 Menit 15 Detik

Hasil dari pengujian ketika berat 75 gram mendapatkan nilai rata-rata waktu penurunan kecepatan bubuk kopi dengan waktu 2 menit 26 detik, kemudian ketika 150 gram menghasilkan waktu 4 menit 11 detik, 250 gram menghasilkan waktu 6 menit 3 detik, 350 gram 8 menit 30 detik dan 500 gram menghasilkan waktu 10 menit 15 detik.

L. Pengujian Kontrol PID

Hasil dari pengujian keseluruhan menggunakan beban pada *hopper tank* 1.5 kg dilakukan dengan *Setpoint* yang sama yaitu 100 RPM. Pada pengujian kontrol PID menggunakan hasil perhitungan metode *Ziegler-Nichlos* 2 dengan nilai $K_p = 0.27$ $K_i = 0.27$, $K_d = 0.0675$.

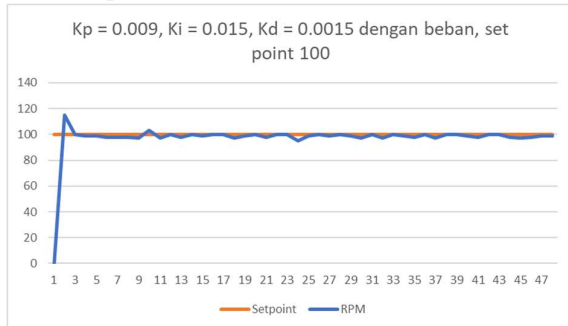
1. Pengujian hasil perhitungan menggunakan metode *Ziegler-Nichlos* 2 dengan nilai $K_p = 0.27$ $K_i = 0.27$, $K_d = 0.0675$.



Mengacu pada percobaan dengan perhitungan parameter PID pada percobaan pertama terdapat

osilasi sehingga dilakukan pendekatan dengan menggunakan *manual tuning* dan menghasilkan nilai $K_p = 0.009$, $K_i = 0.015$, $K_d = 0.0015$ dapat dilihat grafik percobaan kedua.

2. Pengujian hasil *manual tuning* dengan nilai $K_p = 0.009$, $K_i = 0.015$, $K_d = 0.0015$.



Dengan memperhatikan tabel yang ditampilkan di bawah ini, dapat dilihat perbandingan parameter kinerja antara dua sistem. Analisis ini mencakup beberapa aspek penting, seperti *delay time*, *error steady-state*, *rise time*, *peak time*, *settling time*, dan *maksimum overshoot*. Data ini kemudian akan digunakan untuk menentukan sistem mana yang lebih optimal dalam hal kecepatan, akurasi, dan stabilitas kinerja.

Tabel 13. Metode Ziegler-Nichols 2 nilai $K_p = 0.27$, $K_i = 0.27$, $K_d = 0.0675$

Delay Time (Td)	Nilai Set Point 50%	Error Steady-State	Rise time (Tr)	Peak time (Tp)	Settling time (Ts)	Maksimum Overshoot
1s	50 RPM pada 1s	6% (Tinggi), -3% (Rendah)	2s	3s	12s	23%

Tabel 14. *Manual tuning* nilai $K_p = 0.009$, $K_i = 0.015$, $K_d = 0.0015$

Delay Time (Td)	Nilai Set Point 50%	Error Steady-State	Rise time (Tr)	Peak time (Tp)	Settling time (Ts)	Maksimum Overshoot
1s	50 RPM pada 1s	3% (Tinggi), -3 (Rendah)	2s	3s	11s	15%

Dari hasil pengujian keseluruhan parameter kinerja dari kedua sistem, terlihat bahwa sistem kedua memiliki performa yang lebih baik secara keseluruhan. Meskipun kedua sistem memiliki

delay time yang sama, yaitu 1 detik, sistem kedua unggul dalam beberapa aspek penting. Pertama, *error steady-state* pada sistem kedua lebih kecil, dengan *error* tertinggi hanya 3%, dibandingkan dengan 6% pada sistem pertama. Ini menunjukkan bahwa sistem kedua lebih akurat dalam mencapai nilai *Setpoint* yang diinginkan. Kedua sistem memiliki *rise time* dan *peak time* yang sama, masing-masing 2 detik dan 3 detik, yang berarti keduanya merespons perubahan dengan kecepatan yang sama pada awalnya.

Namun, perbedaan utama terlihat pada *settling time* dan maksimum *overshoot*. Sistem kedua memiliki *settling time* yang lebih cepat, yaitu 11 detik dibandingkan dengan 12 detik pada sistem pertama. *Settling time* yang lebih cepat menunjukkan bahwa sistem kedua lebih cepat mencapai kestabilan setelah mengalami *overshoot*. Selain itu, maksimum *overshoot* pada sistem kedua hanya 15%, yang lebih rendah daripada 23% pada sistem pertama. *Overshoot* yang lebih rendah menandakan bahwa sistem kedua lebih stabil dan tidak melampaui *Setpoint* secara berlebihan sebelum mencapai kestabilan.

Secara keseluruhan, menggunakan *manual tuning* menunjukkan kinerja yang lebih baik dalam hal akurasi, stabilitas, dan kecepatan mencapai keadaan stabil, menjadikannya pilihan yang lebih baik dibandingkan sistem percobaan yang pertama.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan alat penurunan bubuk kopi otomatis dengan sistem penimbangan berbasis *Load cell*, yang mampu menimbang bubuk kopi sesuai target (75, 150, 250, 350, dan 500 gram). Dibandingkan dengan timbangan digital, sistem menunjukkan error rata-rata 1,46%, menandakan perlunya kalibrasi lebih lanjut untuk meningkatkan akurasi.

Untuk kontrol kecepatan laju alir bubuk kopi, hasil dari pengujian ketika berat 75 gram mendapatkan nilai rata-rata waktu penurunan kecepatan bubuk kopi dengan waktu 2 menit 26 detik, kemudian ketika 150 gram menghasilkan waktu 4 menit 11 detik, 250 gram menghasilkan

waktu 6 menit 3 detik, 350 gram 8 menit 30 detik dan 500 gram menghasilkan waktu 10 menit 15 detik. Sistem menggunakan kontrol PID *Ziegler-Nichloss 2* yaitu dengan nilai $K_p = 0.27$, $K_i = 0.027$, $K_d = 0.00675$ dengan *Setpoint* 100 RPM menggunakan metode *Ziegler-Nichloss 2*. Dimana hasil dari parameter PID kecepatan yaitu *rise time* 2s, *settling time* 12s, maksimum *overshoot* 23%, *peak time* 3s, *error steady state* tertinggi pertama 6% dan *error* terendah pertama -3%. Sedangkan dengan hasil perbandingan *manual tuning* mendapatkan nilai $K_p = 0.009$, $K_i = 0.015$, $K_d = 0.0015$ menghasilkan parameter PID dengan kecepatan *rise time* 2s, *settling time* 11s, maksimum *overshoot* 15%, *peak time* 3s, *error steady state* tertinggi pertama 3% dan *error* terendah pertama yaitu -3%. Dari hasil perbandingan tersebut, maka pada alat penurunan bubuk kopi ini menggunakan sistem kontrol hasil dari *manual tuning* dalam mengatur laju penurunan bubuk kopi. Meskipun demikian, terdapat pengaruh terhadap performa waktu penurunan bubuk kopi yang mungkin perlu dioptimalkan lebih lanjut.

Secara keseluruhan, sistem ini berfungsi dengan baik, meskipun masih ada ruang untuk peningkatan akurasi penimbangan dan efisiensi waktu penurunan bubuk kopi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Saya bersyukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan rahmat-Nya yang memungkinkan penelitian ini terselesaikan dengan baik. Terima kasih sebesar-besarnya saya sampaikan kepada semua pihak yang telah mendukung, terutama dosen pembimbing atas bimbingannya, serta keluarga atas dukungan dan motivasinya selama penulisan jurnal ini.

REFERENSI

- [1] D. Gumulya and I. S. Helmi, "Kajian Budaya Minum Kopi Indonesia," *J. Dimens. Seni Rupa dan Desain*, vol. 13, no. 2, pp. 153–172, 2017, doi: 10.25105/dim.v13i2.1785.
- [2] M. Azizah, R. Sutamihardja, and N. Wijaya, "KARAKTERISTIK KOPI BUBUK ARABIKA (*Coffea arabica* L)

TERFERMENTASI *Saccharomyces cerevisiae*," *J. Sains Nat.*, vol. 9, no. 1, p. 37, 2019.

- [3] M. Suari, "Analisis Nilai Resistansi pada Konfigurasi Keypad Satu Kabel serta pemanfaatannya dalam media pembelajaran," *Nat. Sci. J.*, vol. 5, no. 1, pp. 754–765, 2019.
- [4] T. N. Arifin, G. Febriyani Pratiwi, and A. Janrafsasih, "Sensor Ultrasonik Sebagai Sensor Jarak," *J. Tera*, vol. 2, no. 2, pp. 55–62, 2022, [Online]. Available: <http://jurnal.undira.ac.id/index.php/jurnaltera/>
- [5] A. Mahfud *et al.*, "Prototype Sistem Penimbangan Otomatis Pada Model," vol. 15, no. 1, pp. 43–50, 2023.
- [6] A. N. Nasution, A. Asri, R. Rosdiana, and F. Nisa, "Perancangan Alat Penimbang Kacang Tanah Otomatis Menggunakan Sensor Berat (*Load cell* Single Point)," *J. Energi Elektr.*, vol. 11, no. 2, p. 25, 2022, doi: 10.29103/jee.v11i2.10704.
- [7] R. Y. Endra, A. Cucus, F. N. Afandi, and M. B. Syahputra, "Model Smart Room Dengan Menggunakan Mikrokontroler Arduino Untuk Efisiensi Sumber Daya," *Explor. J. Sist. Inf. dan Telemat.*, vol. 10, no. 1, 2019, doi: 10.36448/jsit.v10i1.1212.
- [8] M. Sunarti, "Analisa Pengaturan Kecepatan Motor DC penguat dengan menggunakan Thyristor," *J. Tek. Elektro*, vol. 8, no. 1, pp. 24–34, 2018.
- [9] D. A. Saputra, S. Kom, M. Eng, and N. Utami, "Rancang bangun alat pemberi pakan ikan otomatis berbasis mikrokontroler," *J. Tek. Elektro dan Komput.*, vol. 1, no. 1, pp. 15–19, 2020.
- [10] Dadi, Supriyati, A. A. Putri, and N. H. B. Pratama, "Alat Pengaman Kendaraan Bermotor Berbasis Internet of Things," *Orbith*, vol. 19, no. 3, pp. 231–243, 2023.