METROTECH
Journal of Mechanical and Electrical Technology
Vol. 3 No. 3, September 2024, E-ISSN 2809-9605 | P-ISSN 2827-8097

Kendali PID untuk Kecepatan Motor pada Produksi Jahe Serbuk

Mery Octavia Ningrum[1], Mila Fauziyah[2], Supriatna Adhisuwignjo[3]
[1,2,3]Politeknik Negeri Malang, Malang
[*]Penulis Korespondensi, email: meryoctavianingrum19@gmail.com

Received:23/08/2024 *Revised:28/08/2024* *Accepted:30/09/2024*

Abstract. *Ginger is an herbal plant that is widely used because it has many benefits. One of the most common processes involving ginger is making an instant drink from it in the form of powder. The process of making ginger powder passes through several stages, one of which is grinding ginger to become powdered. The ginger grinder used is still using a blender, so it requires 2-3 grinding times and enrichment using manual methods. This method makes the grinding performance more time-consuming, so it makes the ginger grinding system use PID control. The system uses an AC motor actuator controlled using the Arduino Uno microcontroller and gets input from the speed sensor that functions to detect the AC motor speed. There is a pin given by DC Dinamo Vibration to vibrate the filter. To achieve the desired setpoint, use PID controls, which determine the parameters of KP, Ki, and Kd values using the Ziegler-Nichols method and manual tuning as reference values. The test results resulted in the best response of the system, namely with a setpoint speed of 1300 RPM. With a rise time of 2s, a settling time of 0.7s, a maximum overshoot of 3.2%, a peak time of 2S, and a and a steady state error of 2.9% and -5%, The results of ginger grinding at 1300 RPM are more smooth..*

Keywords: *Ginger, PID control, Motor AC, Speed motor*

Abstrak. Jahe merupakan tanaman herbal yang banyak dimanfaatkan karena memiliki banyak khasiat. Salah satu olahan jahe yang sering dijumpai yaitu minuman instan dari jahe yang berbentuk serbuk. Dalam proses pembuatan serbuk jahe melewati beberapa tahap salah satunya penggilingan jahe hingga menjadi serbuk. Penggiling jahe yang digunakan masih menggunakan blender sehingga membutuhkan 2-3 kali penggilingan dan dilakukan pengayakan menggunakan metode manual. Metode ini menyebabkan pengerjaaan penggilingan membutuhkan waktu lebih banyak, maka dibuatlah sistem penggiling jahe menggunakan kontrol PID. Sistem ini menggunakan *actuator* motor AC yang dikendalikan menggunakan mikrokontroller Arduino Uno dan mendapatkan input dari sensor kecepatan yang berfungsi untuk mendeteksi kecepatan motor AC. Terdapat ayakan yang diberi DC *Dinamo Vibration* untuk menggetarkan saringan. Untuk mencapai *setpoint* yang diinginkan digunakan kontrol PID yang mana untuk menentukan parameter nilai KP, Ki, dan Kd menggunakan metode *Ziegler-Nichols* dan tunning manual sebagai nilai acuan. Dari hasil pengujian didapatkan respon sistem yang paling baik, yaitu dengan *setpoint* kecepatan 1300RPM. Dengan nilai *rise time* sebesar 2s, *settling time* 0.7s, *maksimum overshoot* 3,2%, *peak time* 2s, *error steady state* 2,9% dan -5%. Hasil dari penggilingan jahe pada kecepatan 1300 RPM lebih halus.

Kata Kunci: Jahe, Kontrol PID, Motor AC, Kecepatan motor

I. PENDAHULUAN

Jahe di Indonesia menduduki posisi teratas di tingkat ekspor dalam kelompok jenis rimpang atau biofarmaka karena jahe menjadi tanaman herbal terfavorit di berbagai negara[1]. Jahe juga diketahui memiliki kemampuan sebagai antioksidan yang tinggi sehinggaa baik untuk menjaga kesehatan [2]. Jahe instan merupakan produk makanan yang berbentuk serbuk terbuat dari ekstrak jahe[3]. Pada umumnya untuk mendapatkan jahe serbuk dilakukan dengan menggunakan *blender*[4]. Pada skala industri umumnya dibutuhkan alat penggiling jahe kering jenis *disc mill* karena mampu mendapatkan serbuk jahe lebih cepat dan lancar dibandingkan tipe lainnya[5].

Mesin penggiling tipe *disc mill* digunakan untuk menggiling bahan baku kasar atau biji-bijian kering menjadi tepung dengan kehalusan tertentu. Namun alat penggiling tipe *disc mill* yang menggunakan motor listrik mempunyai kelemahan, yaitu jika digiling dengan beban meningkat maka akan mempengaruhi kecepatan putaran motor sehingga berpotensi terjadi kemacetan pada *blade Disc*

mill[6]. Karena itu untuk mempertahankan agar kecepatan tetap konstan maka tegangan dan frekuensi harus diatur. Motor induksi satu fasa terkadang harus bekerja pada beban bervariasi, oleh karena itu diperlukan suatu sistem kontrol yang dapat beradaptasi jika beban pada *plant* berubah[7]. Dalam mengendalikan kecepatan motor induksi diperlukan suatu pengontrol yang dapat memberikan respon masukan yang baik, sehingga dapat mengendalikan kecepatan motor induksi. Selain itu, menghasilkan keluaran yang baik dengan nilai osilasi yang sangat kecil dan respon yang cepat. Oleh karena itu diperlukan suatu metode pengendalian untuk menjaga kestabilan kecepatan motor[8].

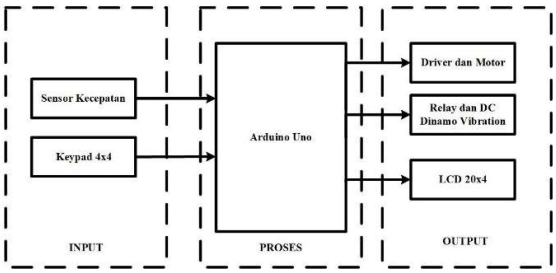
Salah satu peranan penting pengendali PID dapat dilihat pengaplikasiannya pada motor satu fasa (AC)[9]. Kontrol dengan menggunakan metode PID mampu menghasilkan repon yang stabil dan mencapai nilai referensi yang lebih singkat [10]. Pada kendali kecepatan motor listrik diperlukan adanya kontroller yang dapat memberikan tanggapan respon *input* yang baik, sehingga menghasilkan keluaran yang baik juga dengan nilai osilasi yang sedikit tetapi memiliki respon yang cepat. Penggunaan metode PID untuk mengatur kecepatan motor AC menghasilkan respon sistem yang baik dengan menghasilkan waktu respon yang singkat (<0,1s).

II. METODOLOGI

Pada bab ini akan melakukan pendekatan yang dibagi menjadi beberapa bagian anatara lain, tinjauan alat dan perancangan komponen, Spesifikasi alat, perancangan mekanik, perancangan elektronik, perancangan keseluruhan komponen, dan perancangan sistem

A. Tinjauan alat dan perancangan komponen

Pada penggiling jahe terdapat beberapa komponen yang digunakan. Pada gambar 1 terdapat blok diagram sistem dan blok digram kontrol yang terdiri dari komponen yang akan digunakan.



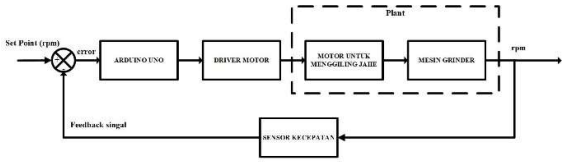
Gambar 1. Blok diagram sistem

Berdasarkan gambar 1, berikut adalah penjelasan dari setiap komponen yang digunakan :

1. *Keypad* 4x4 : Berfungsi untuk memasukkan nilai *setpoint* kecepatan motor penggilingan (1000 RPM – 1400 RPM)
2. Sensor Kecepatan : Berfungsi sebagai komponen yang melakukan pembacaan kecepatan motor penggiling serta memberikan *feedback* perubahan kecepatan motor penggiling pada sistem.
3. Arduino Uno : Pada blok proses pada sistem ini digunakan untuk mengontrol atau mengolah perintah yang telah diterima oleh mikrokontroller dan akan diteruskan ke *output*
4. LCD 20x4 : Berfungsi sebagai monitor untuk menampilkan kecepatan motor penggilingan.
5. *Driver Motor* AC : Digunakan untuk mengatur kecepatan putaran pada motor pengaduk yang mendapat perintah dari Mikrokontroller.
6. Motor AC : Digunakan untuk menggerakan penggilingan
7. *Relay* : Digunakan untuk memberikan *trigger* DC *dinamo vibration* untuk perintah hidup atau mati
8. DC *dinamo vibration*: Digunakan untuk menggetarkan saringan untuk ayakan
9. Saringan : Digunakan untuk mengayak jahe yang sudah digiling

Pada sistem ini membaca sensor kecepatan yang dideteksi oleh sensor kecepatan. Ketika *output* pembacaan sensor kecepatan tidak sesuai dengan *setpoint* yang diinginkan maka akan terdapat selisih antara *output* dengan *setpoint* yang telah ditentukan yang disebut *error.* Kemudian, *error* tersebut akan

membuat kontrol PID bekerja dan memerintahkan Arduino uno untuk bekerja dan mengatur *driver motor* untuk mengatur tegangan yang dihasilkan. Sehingga sensor kecepatan akan memberikan umpan balik secara terus-menerus hingga didapatkan *error* mendekati nol. Gambar 2 merupakan diagram kontrol dari sistem. Sistem kontrol pembacaan sensor kecepatan ini menggunakan metode kontrol PID agar dapat melihat respon sistem.



Gambar 2. Blok diagram kontrol

B. Spesifikasi Alat

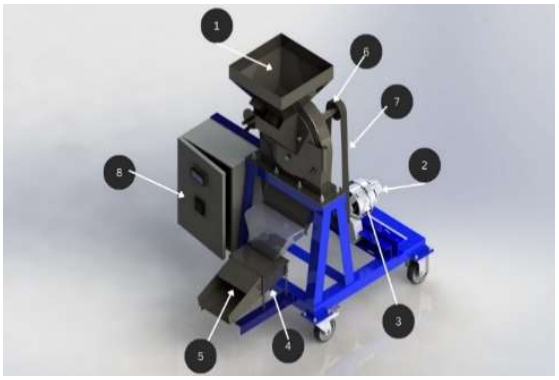
Spesifikasi alat dari sistem pada penelitian ini terdiri spesifikasi mekanik dan elektrik dari penggiling jahe dengan rincian sebagai berikut :

1. Panjang : 86 cm
2. Lebar : 50 cm
3. Tinggi : 103 cm
4. Kapasitas : Maksimal 5 Kg
5. Ukuran ayakan : 50 *Mesh*
6. Bahan Kerangka : Besi
7. Bahan Penggiling : *Stainless*

C. Perancangan Mekanik

Perancangan mekanik pada penggiling jahe menggunakan *disc mill* yang terbuat dari bahan *stainless steel.* Keterangan pada Gambar 3 sebagai berikut:

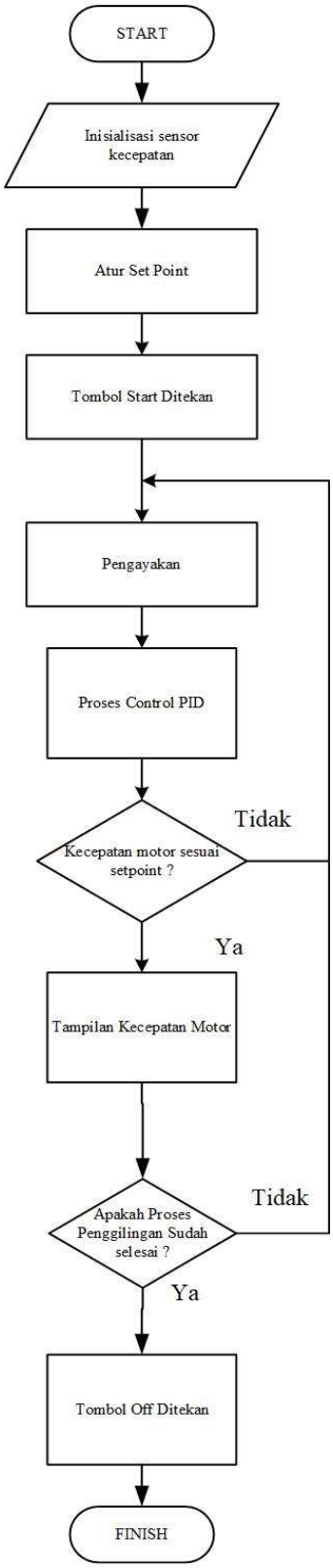
1. Corong Input
2. Sensor Kecepatan
3. Motor AC
4. DC *Dinamo Vibration*
5. Ayakan / Saringan
6. *Pulley*
7. *V-Belt*
8. *Box Panel*



Gambar 3. Gambar mekanik keseluruhan

D. Perancangan Elektronik

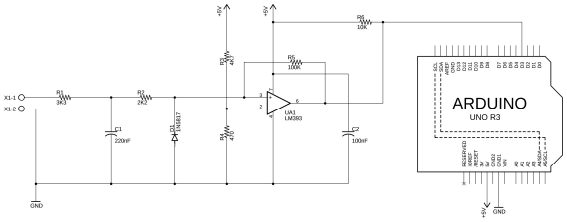
Perancangan elektronik penggiling jahe memiliki diagram alir pada gambar 4. pada saat sistem awal dihidupkan, yaitu dengan memasukkan nilai *setpoint* kecepatan motor yang digunakan untuk menggiling jahe. Kemudian sensor kecepatan akan melakukan pembacaan kecepatan motor mesin penggiling jahe. Kemudian sensor akan mengirim pembacaan kecepatan tersebut ke kontroller untuk melakukan perhitungan PID. Setelah itu, didapatkan *output*, nilai output kecepatan untuk mengatur putaran motor menjadi stabil. Apabila sudah selesai, sistem akan berhenti dengan menekan tombol pada *keypad*.



Gambar 4. Diagram alir sistem

E. Perancangan Sensor Kecepatan

Sensor kecepatan pada alat ini menggunakan sensor kecepatan *tacho generator*. Prinsip kerja *tacho generator* didasarkan pada hukum *Faraday* tentang induksi *elektromagnetik,* yang menyatakan bahwa perubahan medan magnet di sekitar kumparan kawat menghasilkan tegangan listrik. Dalam sensor kecepatan dibutuhkan rangkaian komparator untuk melakukan pembacaan kecepatan motor AC yang dihasilkan untuk diteruskan ke Arduino Uno.

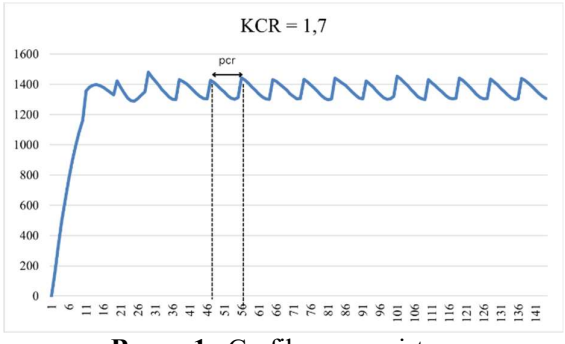


Gambar 5. Rangkaian komparator

Dari gambar 5. Rangkaian komparator menghasilkan sinyal digital yang akan diketahui nilai RPM yang dihasilkan.

F. Perancangan Kontrol PID

Proportional Integral Derifative jenis metode kontrol yang dapat melakukan kendali otomatis yang sering digunakan. Kontrol PID terdiri dari *Proportional, Integral,* dan *Derrivative.* Pada perancangan blok kontrol sistem ini menggunakan *closed-loop* untuk kontrol PID. Metode yang digunakan dalam sistem ini yaitu dengan menggunakan metode osilasi atau yang dikenal dengan *Ziegler Nichols 2.*



Bagan 1. Grafik respon sistem

Dari hasil penyetelan nilai Kp pada bagan 1, didapatkan respon berosilasi saat diberi nilai Kcr = 1.7 dan didapatkan t1= dan t2.

Kcr = 1.7
Pcr = Pcr = t2-t1
Pcr = 57-47
Pcr = 10
Kp = 0.6 x Kcr
= 0.6 x 1.7
= 1.02
Ti = 0.5 x Pcr
= 0.5 x 10
= 5
Ki = Kp / Ti
= 1.02/ 5
= 0.204
Td = 0.125 x Pcr
= 0.125 x 10
= 1.25
Kd = Kp x Td
= 1.02 x 1.25
= 1.275

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Sensor Kecepatan

Pengujian sensor kecepatan dilakukan untuk mengetahui apakah sensor kecepatan dapat bekerja dengan pembacaan yang baik dan sesuai dengan kadar kecepatan yang terukur. Pengujian dilakukan dengan perbandingan pengukuran menggunakan tachometer. Sensor kecepatan dihubungkan pada pin D3 pada Arduino Uno sebagai input. Sehingga didapatkan hasil pengujian sebagai berikut.

Pengujian sensor kecepatan dengan kalibrator *tachometer*. Nilai *Error* dan %*Error* dapat diketahui dengan rumus berikut.

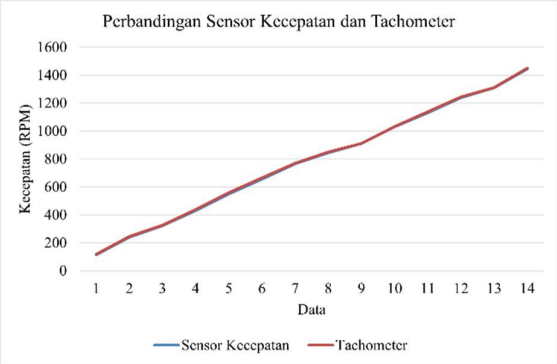
$$Error = |Nilai\ sensor - Nilai\ kalibrator| \quad (1)$$

$$\%Error = \left|\frac{Nilai\ sensor - Nilai\ kalibrator}{Nilai\ Kalibrator}\right| x\ 100\% \quad (2)$$

Pada tabel 1 menunjukkan hasil pengujian sensor kecepatan dengan nilai %*error* 1,033%.

Tabel 1. Hasil pengujian sensor kecepatan *tachogenerator*

No.	Delay Time (us)	Tacho Generator (RPM)	Tachometer (RPM)	Error%
1	7200	115	118	2,542373
2	6753	240	245	2,040816
3	6307	322	327	1,529052
4	5861	430	439	2,050114
5	5415	550	559	1,610018
6	4969	655	666	1,651652
7	4523	766	769	0,390117
8	4076	845	850	0,588235
9	3630	910	911	0,109769
10	3184	1030	1032	0,193798
11	2738	1130	1139	0,790167
12	2292	1239	1245	0,481928
13	1846	1309	1311	0,152555
14	1400	1445	1450	0,344828
	Rata-Rata			1,033959



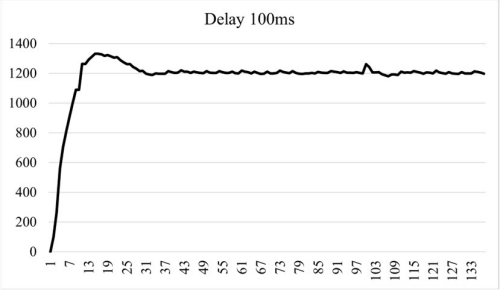
Bagan 2. Grafik perbandingan kecepatan dengan *tachometer*

Dari bagan 2 diketahui bahwa pembacaan sensor kecepatan dengan *tachometer* telah mendeteksi putaran motor, dengan grafik hasil perbandingan sensor kecepatan dengan kalibrator *tachometer.*

B. Pengujian Motor

Pengujian motor AC dilakukan bertujuan untuk mengetahui motor AC dapat bekerja dengan baik. Pengujian motor AC nantinya dibandingkan dengan alat ukur *tachometer* untuk melihat kecepatannya. Hasil pembacaan kecepatan pada *tachometer* dibandingkan dengan spesifikasi motor AC. Pada pengujian motor juga melihat respon motor yang dihasilkan. Pengujian motor AC menggunakan *delay time* 100ms.

Pada bagan 3 respon motor AC dengan *delay time* 100ms. Respon yang dihasilkan dengan *delay time* 100ms lebih stabil.



Bagan 3. Respon motor AC

C. Pengujian DC Dinamo Vibration

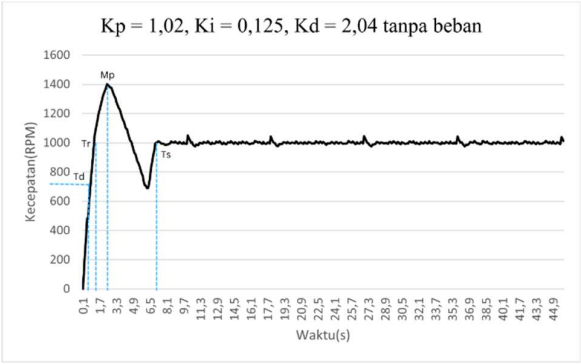
Pengujian DC *Dinamo Vibration* ini dilakukan untuk mengetahui DC *Dinamo Vibration* dapat berfungsi dengan baik. Selain itu, pengujian DC *Dinamo Vibration* dilakukan untuk melihat apakah *dinamo* dapat menghasilkan getaran. Pada sistem penggiling jahe DC *Dinamo Vibration* digunakan untuk mengayak saringan. Tabel 2. menujukkan hasil pengujian DC *Dinamo Vibration* dengan relay dan di ukur tegangan menggunakan *avometer*.

Tabel 2. Hasil pengujian DC *dinamo vibration*

No.	Kondisi Relay	Tegangan DC Dinamo Vibration	Kondisi DC Dinamo Vibration
1	HIGH	11,54 V	Getar
2	LOW	076,2mV	Tidak getar

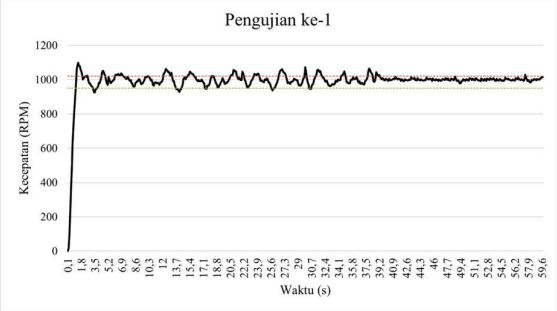
D. Pengujian Sistem Keseluruhan

Pengujian alat secara keseluruhan dilakukan dengan melakukan penggilingan jahe dengan beberapa *setpoint* kecepatan. Pada bagan 4 pengujian sistem keseluruhan menggunakan hasil perhitungan metode *Ziegler- Nichols* 2 dengan nilai Kp = 1.02, Ki = 0.125, Kd = 2.04. Pada bagan 5-8 merupakan hasil pengujian ke-1, pengujian ke-2, pengujian ke-3 dan pengujian ke-4.



Bagan 4. Grafik respon PID tanpa beban

Pada bagan 5 menunjukkan grafik respon kecepatan dengan nilai *setpoint* 1000 RPM dengan nilai Kp = 1.02, Ki = 0.204, Kd = 1.275.

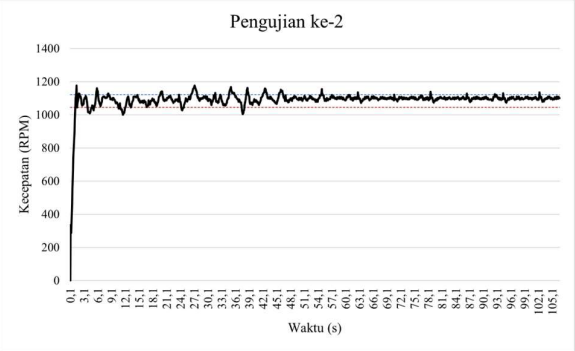


Bagan 5. Pengujian ke-1 (*Set point* 1000RPM)

Tabel 3. Hasil Respon Pengujian ke-1

Delay Time	= 0,6s
	$= \frac{1000-0}{2} = 500$ = 0+500 = 500 (pada kecepatan 500RPM menunjukkan waktu 0,6s)
Error Steady State	$= \frac{1020-1000}{1000}$ x 100% = 2% $= \frac{950-1000}{1000}$ x 100% = -5%
Rise Time	= 1,2s
Peak Time	= 1,4s
Settling Time	= 5,9s Settling Time 2% = 1000 ± (0,02x1000) = 1000 ± 20 = 1020RPM – 980RPM Settling Time 5% = 1000 ± (0,05x1000) = 1000 ± 50 = 1050RPM – 950RPM
Maksimum Overshoot	$= \frac{1098-1000}{1000}$ x 100% = 9,8%

Pada bagan 6 menunjukkan grafik respon kecepatan dengan nilai *setpoint* 1100 RPM dengan nilai Kp = 1.02, Ki = 0.204, Kd = 1.275

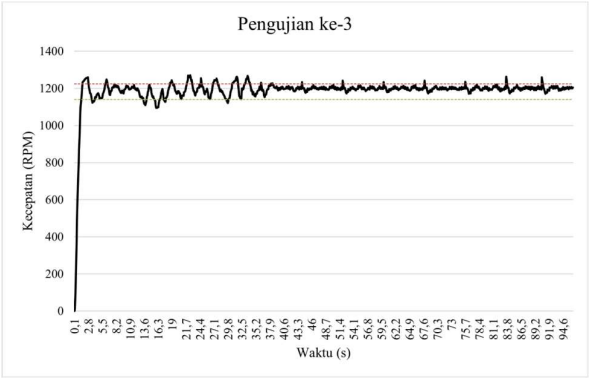


Bagan 6. Pengujian ke-2

Tabel 4. Hasil respon pengujian ke-2

Delay Time	= 0,6s
	$= \frac{1100-0}{2} = 550$ = 0+550 = 550 (pada kecepatan 550RPM menunjukkan waktu 0,6s)
Error Steady State	$= \frac{1157-1100}{1100}$ x 100% = 5% $= \frac{1055-1100}{1000}$ x 100% = -4%
Rise Time	= 1,3s
Peak Time	= 1,5s
Settling Time	= 3,3s Settling Time 2% = 1100 ± (0,02x1100) = 1100 ± 22 = 1022RPM – 1078RPM Settling Time 5% = 1100 ± (0,05x1100) = 1100 ± 55 = 1155RPM – 1045RPM
Maksimum Overshoot	$= \frac{1177-1100}{1100}$ x 100% = 7%

Pada bagan 7 menunjukkan grafik respon kecepatan dengan nilai *setpoint* 1200 RPM dengan nilai Kp = 1.02, Ki = 0.204, Kd = 1.275

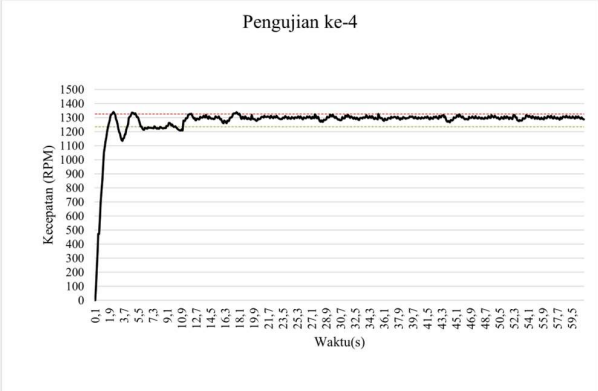


Bagan 7. Pengujian ke-3

Tabel 5. Hasil respon pengujian ke-3

Delay Time	= 0,7s
	$= \frac{1200-0}{2} = 600$ = 0+600 = 600 (pada kecepatan 600RPM menunjukkan waktu 0,7s)
Error Steady State	$= \frac{1260-1200}{1200}$ x 100% = 5% $= \frac{1140-1200}{1200}$ x 100% = -5%
Rise Time	= 1,6s
Peak Time	= 2,7s
Settling Time	= 2s Settling Time 2% = 1200 ± (0,02x1200) = 1200 ± 24 = 1224RPM – 1176RPM Settling Time 5% = 1200 ± (0,05x1200) = 1200 ± 60 = 1260RPM – 1140RPM
Maksimum Overshoot	$= \frac{1260-1200}{1200}$ x 100% = 5%

Pada bagan 8 menunjukkan grafik respon kecepatan dengan nilai *setpoint* 1200 RPM dengan nilai Kp = 1.02, Ki = 0.204, Kd = 1.275



Bagan 8. Pengujian ke-4

Tabel 6. Hasil respon pengujian ke-4

Delay Time	= 0,7s
	$= \frac{1300-0}{2} = 650$ = 0+650 = 650 (pada kecepatan 650RPM menunjukkan waktu 0,7s)
Error Steady State	$= \frac{1338-1300}{1300}$ x 100% = 2,9% $= \frac{1233-1300}{1300}$ x 100% = -5%
Rise Time	= 2s
Peak Time	= 2,4s
Settling Time	= 2s Settling Time 2% = 1300 ± (0,02x1300) = 1300 ± 26 = 1326RPM – 1274RPM Settling Time 5% = 1300 ± (0,05x1300) = 1300 ± 65 = 1365RPM – 1235RPM
Maksimum Overshoot	$= \frac{1342-1300}{1300}$ x 100% = 3,2%

Dari hasil pengujian yang sudah dilakukan menggunakan beban berupa jahe kering yang sudah diiris tipis dapat dilihat pada tabel 7 dengan penentuan perbandingan respon sistem berdasarkan parameter pada *rise time, delay time, settling time, maksimum overshoot, peak time,* dan *error steady state* pada kecepatan 1000, 1100, 1200, dan 1300.

Tabel 7. Perbandingan respon sistem setiap Pengujian

No.	Setpoint (RPM)	Rise Time	Delay Time	Settling Time	Maksimum Overshoot	Peak Time	Error Steady State
1.	1000	1,2s	0,6s	5,9s	9,8%	1,4s	2% dan -5%
2.	1100	1,3s	0,6s	3,3s	7%	1,5s	5% dan -4%
3.	1200	1,6s	0,7s	2s	5%	2,7s	5% dan -5%
4.	1300	2s	0,7s	2s	3,2%	2s	2,9% dan -5%

Pada tabel 7 merupakan hasil pengujian sistem keseluruhan hasil dari *Ziegler-Nichols* 2. Terdapat beberapa parameter yang ditampilkan yaitu *delay time, rise time, settling time, maksimum overshoot, peak time* dan *error steady state*. Parameter tersebut menjadikan acuan untuk menentukan hasil respon sistem dari kontrol PID suhu dengan nilai Kp = 1,02, Ki = 0,204, Kd = 1,275. Dari parameter tersebut pengujian terbaik dan menghasilkan serbuk jahe yang halus adalah dengan *setpoint* kecepatan 1300RPM. Dimana hasil dari parameter parameter PID kecepatan yaitu *rise time* 2s, *settling time* 0,7s, *maksimum overshoot* 3,2% *peak time* 2s, *error steady state* 2,9% dan -5%. Hasil dari penggilingan jahe pada kecepatan 1300 RPM lebih halus. Hal tersebut juga dipengaruhi dengan kecepatan yang tinggi.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Alat penggiling jahe dengan menggunakan metode PID dapat mempersingkat waktu proses penggilingan. Untuk menentukan nilai PID pada kecepatan putaran motor yaitu diawali dengan menggunakan rumus *Ziegler-Nichols* 2, diperoleh nilai Kp = 1.02, Ki = 0.204, Kd = 1.275 untuk PID pada kecepatan putaran penggiling jahe dengan pengujian menggunakan beban 1Kg jahe kering yang sudah diiris tipis.

Dengan dilakukan beberapa pengujian *setpoint*, hasil terbaik didapatkan saat *setpoint* kecepatan motor di 1300 RPM dengan parameter pengukuran *rise time 2s, settling time 0.7s, maksimum overshoot 3.2% peak time 2s, error steady state 2.9%* dan *-5%.*

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan banyak terima kasih atas dukungan, arahan, maupun bantuan yang telah diberikan oleh dosen pembimbing Bapak Supriatna

Adhisuwignjo, S.T., M.T. dan Ibu Mila Fauziyah, S.T., M.T. Selain itu, ucapan terima kasih pada Mbak Kiky beserta keluarga dari UMKM Mbah Jayus yang telah memberikan kesempatan untuk melakukan penelitian.

REFERENSI

[1] K. A. Rusnaldi, W. Roessali, and S. Nurfadillah, "Analisis Daya Saing Ekspor Jahe Indonesia Di Pasar Internasional," Mimb. Agribisnis J. Pemikir. Masy. Ilm. Berwawasan Agribisnis, vol. 9, no. 1, pp. 515–528, 2022, doi: 10.25157/ma.v9i1.8672.

[2] R. Y. Ristina and T. A. Siswoyo, "Perubahan Senyawa dan Aktivitas Antioksidan pada Tanaman Jahe (Zingiber officinale) Selama Fase Tumbuh Tunas," Berk. Ilm. Pertan., vol. 5, pp. 22–26.

[3] Aditya, A. Ali, and D. F. Ayu, "Minuman Fungsional Serbuk Instan Jahe (Zingiber officinale R .) dengan Penambahan Sari Umbi BIT (Beta vulgaris L .) Sebagai Pewarna Alami," SAGU, vol. 17, no. 2, pp. 9–17, 2018.

[4] Larasati, "Pemanfaatan Jahe dalam Proses Pembuatan Minuman Jahe Instans Bubuk dan Wedang Jahe Suhu di Usaha Mikro Kecil Mengengah (UMKM) Kilabo," Insitut Agama Islam Negeri (IAIN) Bengkulu, 2021.

[5] F. Fadli, Rahmadsyah, and I. Zahar, "Perencanaan Mesin Penggiling Jahe Pada Skala Home Industri," J. Laminar, vol. 5, pp. 2721–2726, 2023.

[6] M. A. Rizqi, "Rancang Bangun Alat Pembubuk Biji Kopi Tipe Disc Mill Dengan Kapasitas 30 kg/jam," Skripsi Fak. Vokasi Univ. Dipenogoro, no. 40040219650072, 2023.

[7] E. D. Nurdiansyah and S. I. Haryado, "Pengendalian Kecepatan Motor Induksi Satu Fasa Berbasis Backpropagation," J. Tek. Elektro, vol. 7, no. 1, pp. 69–76, 2018.

[8] M. F. Alfatih, "Kontrol Kecepatan Roket EDF Menggunakan Metode PID," Tek. STTKD J. Tek. Elektron. Engine, vol. 7, no. 2, pp. 281–292, 2021.

[9] I. Setiawan, E. Agung Nugroho, N. Roni Wibowo, and Janizal, "Sistem Kontrol Kecepatan Motor Universal Menggunakan PID Arduino," J. Ramatekno, vol. 3, no. 1, pp. 22–29, 2023, doi: 10.61713/jrt.v3i1.70.

[10] M. Irhas, I. Iftitah, and S. A. A. Ilham, "Penggunaan Kontrol PID Dengan Berbagai Metode Untuk Analisis Pengaturan Kecepatan Motor DC," JFT J. Fis. dan Ter., vol. 7, no. 1, p. 78, 2020, doi: 10.24252/jft.v7i1.13846.