

Sistem Kendali Suhu Prototipe Mesin Pengering Biji Kopi Dengan Metode PID dan IOT Monitoring

Raka Thareq Azis Pohan^{1*}, Indra Agustian¹, Adhadi Kurniawan¹

¹Teknik Elektro Universitas Bengkulu

*E-mail : rakathareq@gmail.com

ABSTRAK

Proses pengeringan biji kopi yang dilakukan petani kopi masih banyak dilakukan secara tradisional di lapangan terbuka atau di jalanan. Dan juga proses pengeringan biji kopi secara tradisional masih dipengaruhi faktor cuaca yang tidak menentu sehingga menyebabkan lamanya proses pengeringan. Dengan prototipe mesin pengering biji kopi menggunakan sensor suhu DHT22 dan pemanas DC serta sistem kendali suhu metode PID Ziegler Nichols dapat melakukan proses pengeringan dengan suhu optimal antara 50 – 60 C secara konstan. Hasil pengujian dengan metode Ziegler Nichols didapatkan nilai konstanta PID yang optimal dengan nilai Kp sebesar 33,6, nilai Ki sebesar 0,336 , dan nilai Kd sebesar 1,34. Dimana suhu optimal didapat selama 900 detik setelah proses pengeringan dimulai. Sedangkan pengeringan tanpa kendali PID yang membutuhkan waktu 1400 detik. Hasil pengujian dengan menggunakan PID Ziegler Nichols menunjukkan bahwa pengeringan membutuhkan waktu jauh lebih cepat untuk mencapai suhu optimal dibandingkan pengeringan tanpa kendali PID. Data dari hasil pengukuran suhu yang dikendalikan dengan metode PID Ziegler Nichols dapat dimonitoring dengan website Thingspeak.

Kata Kunci: Mesin Pengering Biji kopi, PID, Ziegler Nichols

ABSTRACT

The process of drying coffee beans by coffee farmers is still mostly done traditionally in open fields or on the streets. And also the traditional process of drying coffee beans is still influenced by erratic weather factors, which causes the drying process to take a long time. With a prototype coffee bean drying machine using a DHT22 temperature sensor and DC heating and a temperature control system PID Ziegler Nichols method can carry out the drying process with an optimal temperature between 50 – 60 C constantly. The test results with the Ziegler Nichols method obtained the optimal PID constant value with a Kp value of 33.6, a Ki value of 0.336 , and a Kd value of 1.34. Where the

optimal temperature is obtained for 900 seconds after the drying process begins. Meanwhile, drying without PID control takes 1400 seconds. Test results using PID Ziegler Nichols show that drying takes much faster time to reach the optimal temperature than drying without PID control. Data from the results of temperature measurements controlled by the Ziegler Nichols PID method can be monitored on the Thingspeak website.

Key Words : Coffee Bean Dryer, PID, Ziegler Nichols

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kopi merupakan tumbuhan yang tersebar luas di Indonesia. Kopi juga jenis minuman yang digemari bagi sebagian orang Indonesia. Biji kopi masih melalui tahapan yang cukup lama untuk menghasilkan kopi bubuk layak konsumsi. Prosesnya dimulai dengan mengupas, mengeringkan dan memanggang di pabrik, di mana sebagian besar metode tradisional masih digunakan. Masalah dan inovasi tidak hanya terbatas pada peningkatan jumlah produksi, tetapi mengubah tahapan produksi menjadi lebih efisien [1].

Pengeringan kopi adalah salah satu fase pemrosesan yang paling penting kopi. Di Indonesia, kopi dikeringkan di lantai yang luas menggunakan sinar matahari. Namun pengeringan ini memiliki kelemahan yaitu cuaca yang tidak bisa diprediksi dan saat hujan membutuhkan waktu yang cukup banyak orang untuk mengumpulkan biji kopi yang dijemur. Pada awal musim hujan membutuhkan proses pengeringan biji kopi juga lebih lama tergantung intensitas hujan pada saat penjemuran kopi [2].

Proses pengeringan juga digunakan untuk mengawetkan biji kopi dan memudahkan pengangkutan biji kopi untuk diproses [3]. Oleh karena itu, salah satu cara efektif untuk meningkatkan mutu biji kopi dalam proses pengeringan adalah dengan mengembangkan alat pengering biji kopi buatan yang dikenal dengan mesin pengering (solar dryer).

Pemanfaatan teknologi pengering biji kopi dengan metode solar dryer dapat mengurangi masalah kesulitan lahan bagi para petani kopi, pada saat melakukan proses pengeringan biji kopi secara tradisional yang seringkali menyebabkan para petani harus menggunakan jalan

sebagai media penjemuran biji kopi. Pengereng kopi dapat mempermudah tahapan pengeringan dibandingkan dengan tahapan pengeringan alami, hal ini disebabkan karena alat ini mempunyai 2 sistem pengeringan di pagi hari memanfaatkan panas sinar matahari dan di malam hari memanfaatkan elemen pemanas dengan panel surya sebagai sumber daya listrik.

Menurut Roelofsen, proses pengeringan dengan mesin melibatkan pengeringan pada suhu rendah 50°C hingga 60°C untuk waktu yang tidak terbatas untuk mencapai kadar air 12%. Mesin tersebut memiliki kekurangan, jika pengaturan suhu tidak tepat, warna kopi akan berubah dan rasa kopi akan berubah. Sementara itu, P.C.S. Pengeringan cramer sebaiknya dilakukan dengan mesin pada suhu 55-60°C dan dalam waktu kurang dari 15 jam, agar kadar air biji kopi 12%, lama waktu pengeringan tergantung jumlah biji kopi [4].

Pengereng biji kopi dengan metode solar dryer dapat dimonitoring dengan menggunakan teknologi Internet of Things (IoT). IoT adalah segala aktivitas yang dilakukan dengan menggunakan internet atau jaringan sebagai sarana komunikasi. Data yang dimonitoring berupa nilai suhu terkendali dan persentase kelembaban.

Penelitian ini membuat prototipe sistem mesin pengereng biji kopi menggunakan metode PID *Ziegler Nichols*. Sistem ini dengan mengatur suhu pada prototipe dengan sensor DHT22. Pengaturan suhu ini diharapkan dapat membuat proses pengeringan lebih efisien dan efektif. Data hasil pengukuran sensor DHT22 dimonitori dengan menggunakan *thingSpeak*.

2. KERANGKA TEORITIS DAN PENGEMBANGAN HIPOTESIS

2.1 Kopi

Buah kopi secara umum mempunyai dua cara dalam pengolahannya yaitu pertama pengolahan kering, buah kopi dijemur di bawah sinar matahari selama 14- 21 hari lamanya dan buah kopi disimpan dengan bentuk gelondongan. Pengolahan kedua dengan cara basah yaitu menghilangkan lendir buah kopi yang mempunyai senyawa gula yang bertindak menyerap air atau memiliki sifat higrokopis [5]. Secara linguistik, pengeringan adalah proses sederhana untuk mengurangi kadar air produk sampai tingkat tertentu sehingga tahan pembusukan dan dapat disimpan dengan aman dalam waktu yang lama. Kadar air produk harus dikurangi menjadi sekitar 5-10 persen untuk menonaktifkan mikroorganisme yang terkandung dalam produk [6].

2.2 Sensor DHT22

Sensor DHT22 adalah sensor kelembaban dan suhu relatif digital. Sensor DHT22 memiliki kapasitor dan termistor untuk mengukur udara sekitar dan

mengirimkan sinyal ke pin data. DHT22 dikatakan memiliki kualitas pembacaan yang baik, dilihat dari respon proses pendataan yang cepat dan ukurannya yang minimalis, serta harganya yang relatif murah dibandingkan dengan harga termohigrometer. Sensor DHT22 ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar1. Sensor DHT22 [7]

Gambar 1 memperlihatkan empat kaki sensor DHT22 yaitu kaki Vs (Pin 1), Data (Pin 2), NC (Pin 3) dan Ground (Pin 4). Tegangan sumber dihubungkan ke cabang Vs, tegangan sumber yang digunakan biasanya 5 V karena mengikuti tegangan operasi mikrokontroler yang juga 5 V [7].

2.3 NodeMCU ESP8266

NodeMCU adalah papan elektronik berbasis chip ESP8266, yang dapat menjalankan fungsi mikrokontroler serta koneksi internet (WiFi). Ada beberapa pin I/O, sehingga dapat dikembangkan menjadi aplikasi pemantauan dan kontrol untuk proyek IoT. NodeMCU ESP8266 adalah modul turunan evolusioner dari keluarga ESP-12 dari modul platform Internet of Things (IoT) ESP8266. Secara fungsional, modul ini hampir mirip dengan platform modul Arduino, tetapi perbedaannya adalah secara khusus "terhubung ke internet". NodeMCU ESP8266 dapat diamati pada Gambar 2 [8].



Gambar 2. NodeMCU ESP32 [8]

2.4 Internet of Things

IoT (*Internet of Things*) dapat didefinisikan sebagai kemampuan perangkat yang berbeda untuk berkomunikasi satu sama lain dan bertukar informasi melalui Internet. IoT adalah teknologi yang memungkinkan kontrol, komunikasi, kolaborasi dengan berbagai perangkat dan data melalui Internet. Jadi bisa dikatakan Internet of Things (IoT) adalah ketika kita menghubungkan sesuatu (*things*) yang tidak terpelihara oleh manusia ke Internet [2].

2.5 Elemen Pemanas (Heater)

Elemen pemanas listrik (*electric heating element*) banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari, baik di rumah maupun di peralatan dan mesin industri. Bentuk dan jenis batang pemanas listrik bervariasi sesuai dengan fungsi, lokasi pemasangan, dan lingkungan pemanas. Panas yang dihasilkan oleh elemen pemanas listrik ini berasal dari kawat atau pita dengan resistansi tinggi. Pada umumnya bahan yang digunakan adalah nikel, dialiri listrik pada kedua ujungnya dan dilapisi dengan isolasi listrik, mampu menghantarkan panas, sehingga aman penggunaannya. Elemen pemanas (*heater*) dapat dilihat pada Gambar 3 [9].



Gambar 3. Elemen Pemanas (Heater) 12 V [9]

2.6 Modul PWM D4184

Modul PWM D4184 ini adalah *breakout board* untuk D4184 MOSFET transistor. Modul ini didesain untuk mengendalikan beban DC yang besar hanya dengan satu pin digital Arduino. Dengan 2 MOSFET D4184 yang dipasang parallel, modul ini mampu menggerakkan 2 beban secara bermasaan. Karena menggunakan MOSFET, *driver* ini memiliki *switching time* yang tinggi sehingga cocok untuk kontrol dengan PWM dari Arduino. Modul D4184 dapat diamati pada Gambar 4 [10].



Gambar 4. Modul D4184 [10]

2.7 Kontroler PID

Pengontrol PID adalah sistem kontrol umpan balik yang biasa digunakan dalam sistem kontrol industri. Pengontrol PID secara konstan menghitung dan meminimalkan perbedaan antara nilai yang ditetapkan dan nilai yang diukur, perbedaan ini disebut kesalahan. Blok diagram sistem kendali PID ditunjukkan pada Gambar 2.5. Persamaan kontroler PID dapat diamati pada Persamaan 2.1.

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2.1)$$

Dimana [11]:

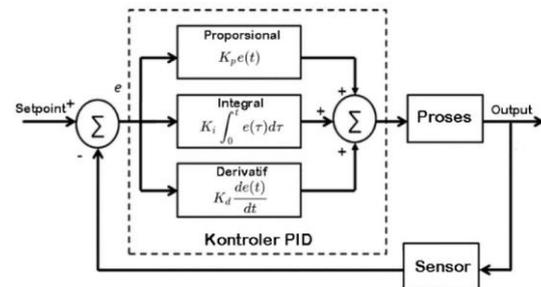
$u(t) = \text{output kendali}$

$e(t) = \text{galat output sistem terhadap setpoint}$

$t = \text{waktu (detik)}$

$\tau = \text{waktu akumulatif galat}$

$K_p, K_i, K_d = \text{konstanta proporsional, integral, dan derivatif}$



Gambar 5. Blok Diagram Sistem dengan Kontroler PID [11]

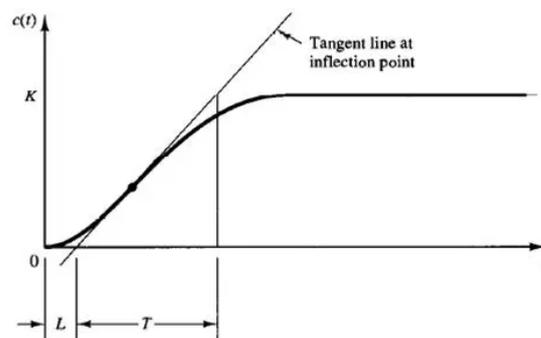
2.8 Metode Tuning Ziegler Nichols

Tuning Ziegler-Nichols dapat digunakan untuk menentukan parameter kontrol PID untuk *plant* yang model matematisnya tidak diketahui. Metode penalaan loop terbuka konstanta $K_p, K_i,$ dan K_d dengan respon step Ziegler-Nichols disebut juga dengan metode respon proses karena metode ini mempelajari respon proses loop terbuka terhadap perubahan nilai keluaran. Variabel setelah nilai spesifik dari respons proses ditemukan, nilai tersebut dimasukkan ke dalam persamaan Ziegler-Nichols pada Tabel 1 yang memiliki konstanta koefisien spesifik untuk penguatan kontroler dengan fungsi P, PI, atau PID.

Tabel 1. Aturan Ziegler Nichols

Tipe Kendali	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	0,5 L

Dari uji loop terbuka *input* langkah, diperoleh waktu tunda (L) atau waktu mati dan konstanta waktu (T) seperti yang ditunjukkan pada diagram langkah-respon pada Gambar 6.



Gambar 6. Tanggapan Kurva S [11]

Pada kendali PID yang dibuat dalam parallel atau tiga aksi terpisah maka T_i dan T_d harus dikonversi untuk

mendapatkan K_i dan K_d dengan Persamaan 2.2 dan Persamaan 2.3 [11].

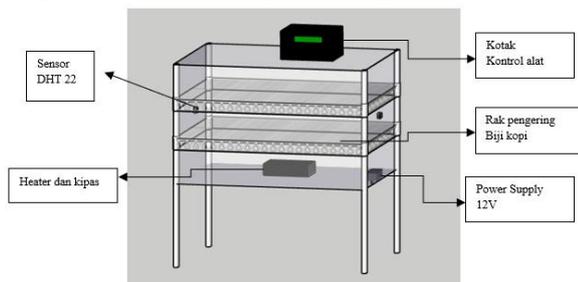
$$K_i = K_p / T_i \quad (2.2)$$

$$K_d = K_p / T_d \quad (2.3)$$

3. METODE RISET

3.1 Perancangan Alat

Perancangan mesin pengering biji kopi terbagi dalam dua tahapan, yaitu desain perancangan perangkat keras dan perancangan perangkat lunak. Desain Perancangan perangkat keras ditunjukkan pada Gambar 8. Pada desain tersebut terdiri atas sensor DHT22 sebagai sensor suhu, heater dan kipas, power suplai, sistem kontrol. Pada Perancangan perangkat lunak membuat program sistem kendali pada mikrokontroler yang akan mengolah data masukan, proses hingga keluaran sistem.



Gambar 8. Rancangan Prototipe Mesin Pengering Kopi

Berdasarkan Gambar 8 terlihat rancangan desain mesin pengering biji kopi yang berfungsi untuk mengeringkan biji kopi yang panasnya berasal dari elemen pemanas DC dan suhu yang terukur dengan sensor DHT22. Nilai Panas dan suhu yang terukur pada mesin pengering biji kopi menjadi input untuk di olah pada PID.

3.2 Metode Pengujian

3.2.1 Pengujian Rangkaian Sensor DHT22

Pengujian DHT22 dilakukan agar dapat mengetahui kondisi DHT22 yang digunakan dapat berfungsi baik atau tidak. Pengujian dilakukan menggunakan kode program dan menampilkan hasil pengukuran. Hasil pengukuran DHT22 digunakan untuk memantau hasil secara langsung.

3.2.2 Pengujian Pemanas DC

Pengujian pemanas DC dilakukan agar dapat mengetahui suhu yang dapat dicapai pemanas DC yang digunakan pada prototipe desain mesin pengering biji kopi dan pengukuran suhu dilakukan dengan sensor DHT22.

3.2.3 Pengujian Modul NodeMCU 8266

Pada pengujian modul NodeMCU 8266 akan dilakukan pengujian setiap port I/O, hal ini untuk

memastikan apakah setiap sistem kontrol dapat berfungsi dengan baik. Pengujian dilakukan dengan kode program.

3.2.4 Pengujian Kontrol Tuning PID

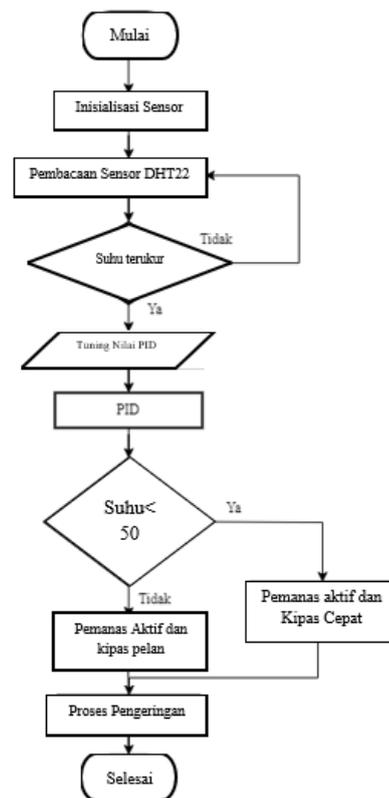
Pengujian kontrol PID *auto tuning* dilakukan untuk mengamati respon yang dihasilkan ketika keadaan suhu awal mesin pengering biji kopi dibawah 50 derajat celcius dan diatas 50 derajat celcius. Pengujian ini diharapkan menghasilkan respon yang stabil dan linier karena perubahan suhu yang signifikan bisa mempengaruhi keberhasilan pengeringan biji kopi.

3.2.5 Pengujian Nilai K_p , K_i dan K_d

Pengujian nilai K_p , K_i dan K_d ini bertujuan untuk menghasilkan respon optimal seperti yang diharapkan dan keadaan stabil atau keadaan sesuai dengan batas suhu yang dibutuhkan. Pengujian ini berdasarkan Tabel 1. aturan *Ziegler Nichols* dengan tipe pengendali PID

3.3 Diagram Alir Keseluruhan

Alur kerja penelitian dijelaskan pada Gambar 9.



Gambar 9. Diagram Alir Penelitian.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Sensor DHT22

Pada pengujian sensor DHT22 akan dilakukan dengan membandingkan pembacaan suhu antara 4 sensor DHT22 dengan thermometer digital. Pengujian ini berfungsi untuk mengetahui keakuratan pembacaan nilai

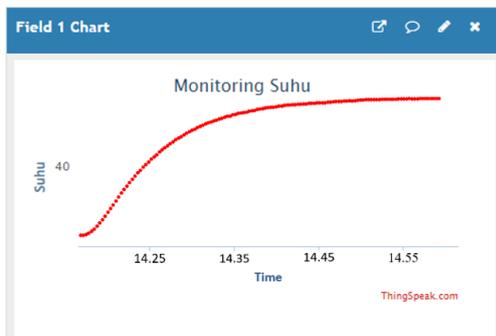
sensor dibandingkan dengan termometer digital. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Sensor Suhu dan Termometer Digital

No.	Suhu		Selisih (°C)
	DHT 22 (°C)	Termometer digital (°C)	
1	32,4	33,2	0,8
2	32,4	33,2	0,8
3	32,4	33,2	0,8
4	32,5	33,2	0,7
5	32,5	33,2	0,7
6	32,4	33,2	0,8
7	32,4	33,2	0,8
8	32,4	33,2	0,8
9	32,4	33,2	0,8
10	32,4	33,2	0,8

4.2 Pengujian NodeMCU ESP8266 IOT Monitoring

Pada pengujian ini dilakukan dengan menghubungkan NodeMCU ESP8266 dengan *Wi-Fi* yang terdapat disekitar. Dengan *Wi-Fi* yang terhubung ke ESP8266 akan dapat mengirimkan data ke web server yang diinginkan. Pengujian juga dilakukan untuk mengetahui tingkat keakuratan data yang dikirim dan diterima. Pengujian dilakukan dengan cara mengirimkan data pengukuran suhu didalam mesin pengering biji kopi. Hasil pengujian pengiriman data ke web server *Thingspeak* dapat dilihat pada Gambar 10 dibawah ini.

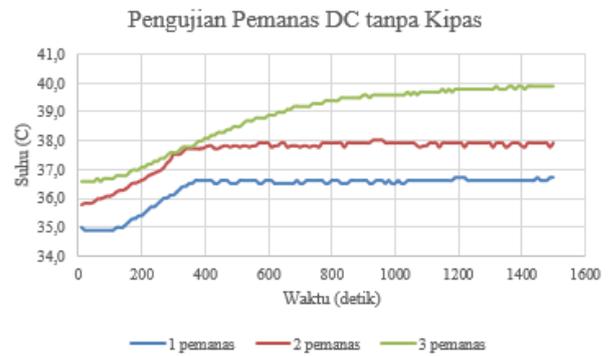


Gambar 10. Tampilan *Interface thingspeak* Hasil Pengukuran

4.3 Pengujian Pemanas DC

4.3.1 Pengujian Pemanas DC tanpa Kipas DC

Proses pengujian ini dilakukan untuk mengetahui suhu yang terukur didalam mesin pengering biji kopi dengan menggunakan pemanas dc 12 volt. Pada pengujian dilakukan dengan menggunakan 1 hingga 3 pemanas dc 12volt tanpa menggunakan kipas. Setelah dilakukan pengujian didapat data suhu terukur seperti pada Gambar 11 dibawah ini.



Gambar 11. Data Hasil Pengujian Pemanas Tanpa Kipas

4.3.2 Pengujian Pemanas DC dengan Kipas DC

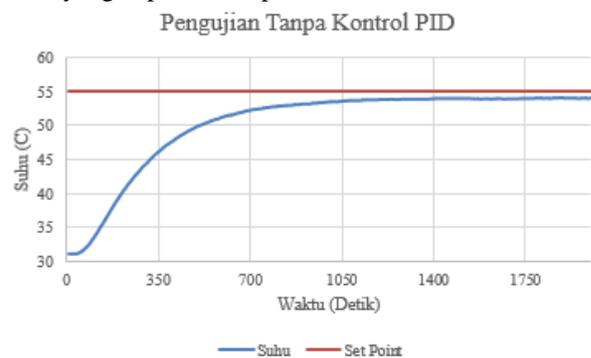
Proses pengujian ini dilakukan untuk mengetahui suhu yang terukur didalam mesin pengering biji kopi dengan menggunakan pemanas dc 12 volt. Pada pengujian dilakukan dengan menggunakan 1 hingga 3 pemanas dc 12 volt dengan menggunakan kipas. Setelah dilakukan pengujian didapat data suhu terukur seperti pada Gambar 12.



Gambar 12. Data Hasil Pengujian Pemanas dengan Kipas

4.4 Pengujian Prototipw Mesin Pengering Kopi

Pengujian mesin pengering kopi dilakukan untuk mengetahui berapa suhu yang terukur yang nantinya akan berpengaruh pada pengujian menggunakan sistem kendali PID. Proses pengujian dilakukan tanpa biji kopi. Hal ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana pengaruh suhu didalam mesin pengering saat proses pengujian tidak menggunakan biji kopi. Hasil pengujian didapatkan nilai suhu yang dapat dilihat pada Gambar 13.



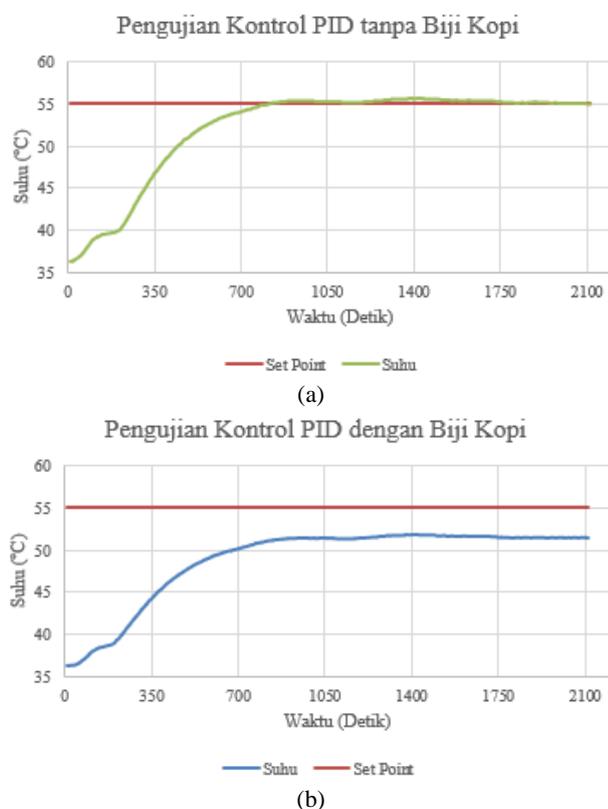
Gambar 13. Data Hasil Pengujian Pemanas dengan Kipas

4.5 Pengujian Keseluruhan dengan Kontrol PID

4.5.1 Pengujian dengan Kontrol PID Ziegler Nichols

Pengujian dengan *Ziegler Nichols* dilakukan dengan menentukan nilai L (waktu tunda) dan T (waktu konstan) yang didapat dari pengujian tanpa kendali PID. Berdasarkan Gambar 11 didapat nilai L sebesar 50 detik dan nilai T sebesar 1400 detik.

Setelah mendapatkan nilai L dan nilai T, dapat dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai Kp, ti, dan td dengan menggunakan ketentuan sesuai *Ziegler Nichols*. Hasil perhitungan diperoleh nilai Kp sebesar 33,6, ti sebesar 100 dan td sebesar 25. Nilai Ki dan Kd diperoleh dengan menggunakan ketentuan *Ziegler Nichols* dengan nilai Ki sebesar 0,336 dan nilai Kd sebesar 1,34. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 14.



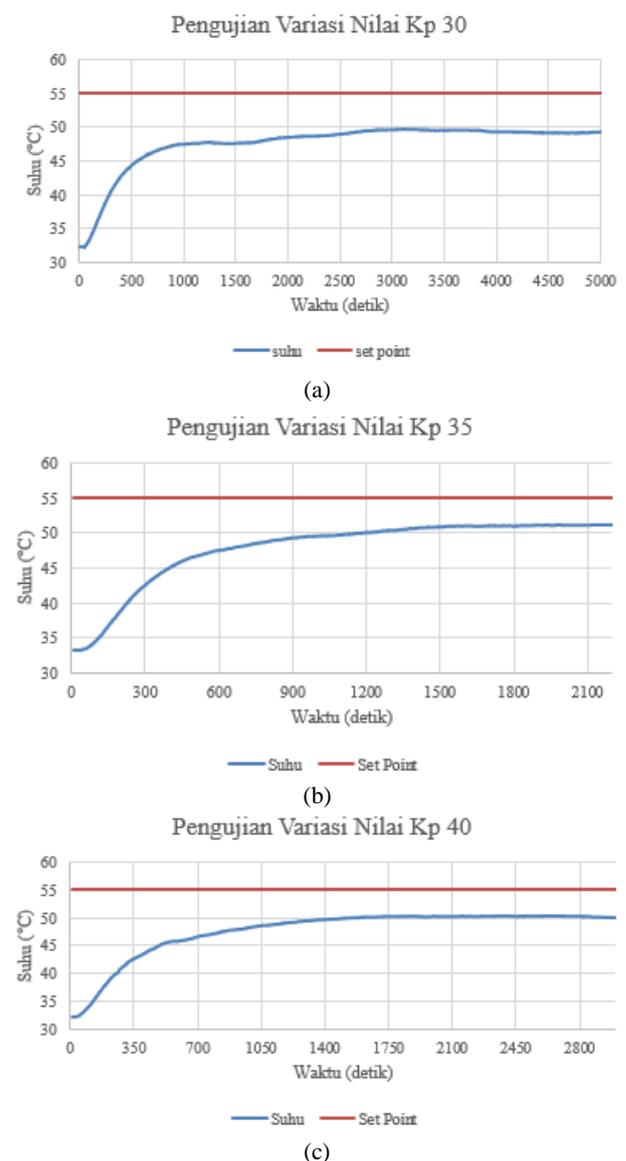
Gambar 14. Pengujian PID (a)Tanpa Biji Kopi (b) Dengan Biji Kopi

Pada Gambar 14(a) pengujian tanpa biji kopi diperoleh suhu yang terukur pada saat awal pengujian dimulai sebesar 36,3 °C memerlukan waktu 820 detik agar mencapai keadaan *steady state* dari setpoint 55°C. Untuk waktu tunda yaitu sebesar 20 detik dan terdapat *overshoot* dengan suhu 55,7°C yang terjadi ketika pengujian alat dilakukan. Sedangkan Gambar 14(b) pengujian dengan biji kopi diperoleh suhu yang terukur pada saat awal pengujian sebesar 36,2°C. Pengereng biji kopi dengan kendali PID didapatkan waktu tunda selama 20 detik. Suhu yang terukur memerlukan waktu 900 detik untuk mencapai keadaan *steady state* dengan suhu

51,7°C dari setpoint 55°C. Pada pengujian dengan biji kopi ini juga terlihat untuk mencapai nilai setpoint 55°C tidak tercapai. Salah satu penyebabnya adalah elemen pemanas tidak mencapai suhu yang optimal dikarenakan listrik yang tidak stabil dan letak posisi elemen pemanas.

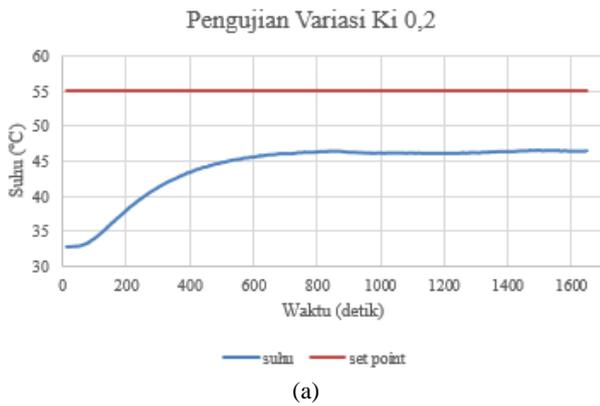
4.5.2 Pengujian dengan Kontrol PID Trial and Error

Pengujian PID *trial and error* dilakukan dengan memvariasikan nilai konstanta Kp, Ki dan Kd sebanyak tiga variasi tiap konstanta. Pertama dilakukan Pengujian variasi nilai Kp dengan hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 15.

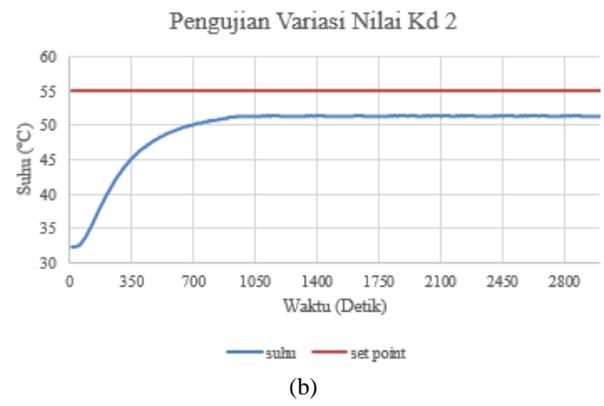


Gambar 15. Pengujian *Trial and Error* Variasi Nilai Kp (a) Nilai Kp 30 (b) Nilai Kp 35 (c) Nilai Kp 40

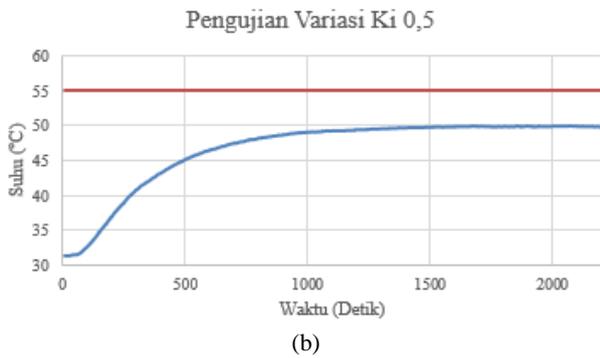
Berdasarkan Gambar 15 pengujian variasi nilai Kp diperoleh nilai optimal konstanta optimal dengan nilai Kp 35 dengan waktu tunda 40 detik dan waktu konstan 1450 detik. Selanjutnya pengujian dengan variasi nilai Ki yang dapat dilihat pada Gambar 16.



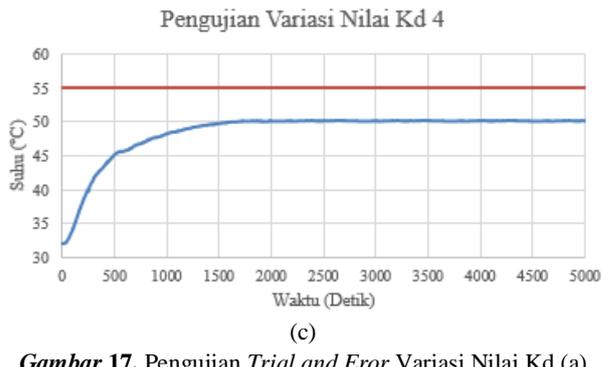
(a)



(b)

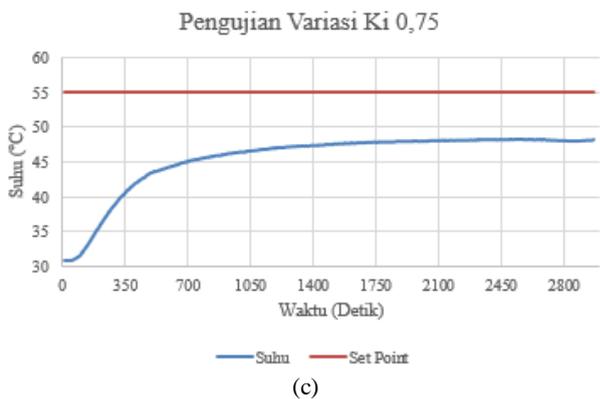


(b)



(c)

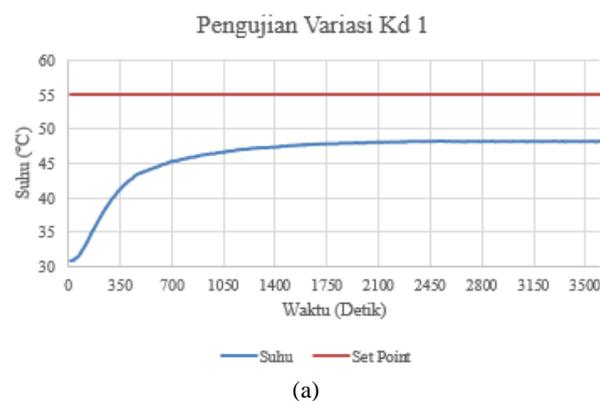
Gambar 17. Penguji *Trial and Error* Variasi Nilai Kd (a) Nilai Kd 1 (b) Nilai Kd 2 (c) Nilai Kd 4



(c)

Gambar 16. Penguji *Trial and Error* Variasi Nilai Ki (a) Nilai Ki 0,2 (b) Nilai Kp 0,5 (c) Nilai Ki 0,75

Berdasarkan Gambar 16 penguji variasi nilai Kp diperoleh nilai optimal konstanta optimal dengan nilai Ki 0,5 dengan waktu tunda 30 detik dan waktu konstan 1400 detik. Selanjutnya penguji dengan variasi nilai Kd yang dapat dilihat pada Gambar 17.



(a)

Berdasarkan Gambar 17. penguji variasi nilai Kd diperoleh nilai optimal konstanta optimal dengan nilai Kd 2 dengan waktu tunda 30 detik dan waktu konstan 940 detik.

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

- Berdasarkan desain rancangan alat mesin pengering biji kopi perlu adanya pengukuran nilai suhu. Pengukuran nilai suhu panas dapat merata dengan menggunakan 3 pemanas dc 12 volt serta dengan kipas dc 12 volt yang diletakkan pada posisi tengah mesin pengering, sedangkan posisi sensor DHT22 diletakkan pada rak pertama dan rak kedua.
- Berdasarkan penguji yang telah dilakukan dengan kendali PID *Ziegler Nicols open loop* dan *trial and error* didapatkan nilai konstanta yang paling optimal yaitu dengan PID *Ziegler Nicols open loop* pada nilai Kp sebesar 33,6, Ki sebesar 0,336, dan Kd sebesar 1,34. Dimana didapatkan waktu tunda 20 detik dan waktu konstan 900 detik dengan suhu maksimal yang terukur 51,7 °C dan tidak melewati setpoint yang diinginkan. dibandingkan dengan *trial and error* nilai Kp 35, Ki 0,5 dan Kd 2 membutuhkan waktu tunda yang lebih lama sebesar 30 detik dan waktu konstan 940 detik dengan suhu maksimal yang terukur 51,4 °C.

5.2 Saran

1. Penelitian selanjutnya diharapkan menggunakan metode kendali PID yang lainnya untuk dapat membandingkan dengan metode *Zigler Nicols* supaya mendapatkan nilai konstanta yang lebih optimal.
2. Sistem ini dirancang digunakan untuk kendali suhu tingkat rendah. Untuk merancang sistem kendali suhu yang akan digunakan dalam skala besar diperlukan analisa lebih lanjut.
3. Perlu dikaji dengan jumlah elemen pemanas yang optimal dan tegangan yang stabil.

REFERENSI

- [1] Z. N. Fauzi dan H. Widianoro, "Perancangan Mesin Pengering Biji Kopi Semi Otomatis 25Kg," *Industrial Research Workshop and National Seminar*, vol. 12, 2021.
- [2] A. Nurbaeti, M. Kusumawardani dan H. Darmono, "Rancang Bangun Alat Pengering Biji Kopi Berbasis Internet of Things," *Jurnal Jaringan Telekomunikasi*, vol. 11, pp. 74-80, 2021.
- [3] B. S. Sihombing, I. O. Kirana, Sumarno dan Poningsih, "Rancang Bangun Mesin Pengering Biji Kopi Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno," *Jurnal Ilmiah Teknik dan Ilmu Komputer*, vol. 1, pp. 8-15, 2022.
- [4] I. Mawardi, "Penerapan Mesin Sortasi Dalam Upaya Efisiensi Proses Produksi Kopi Gayo Sebagai Produk Unggulan Daerah Aceh Tengah," *Jurnal Bhakti Masyarakat Indonesia*, vol. 3, pp. 476-485, 2020.
- [5] E. Yani dan S. Fajrin, "Karakteristik Pengeringan Biji Kopi Berdasarkan Variasi Kecepatan Aliran Udara Pada Solar Dryer," *Jurnal Teknik*, vol. 20, 2013.
- [6] Suprayitno, A. Azis dan R. I. Mainil, "Kaji Eksperimental Alat Pengering Tenaga Surya Aktif Pemanasan Langsung Berbentuk Jajar Genjang Tipe Kabinet," *JOM FTEKNIK*, vol. 3, 2016.
- [7] F. Puspasari, T. P. Satya dan U. Y. Oktawati, "Analisis Akurasi Sistem Sensor DHT22 Berbasis Arduino terhadap Thermohyrometer Standar," *Jurnal fisika dan Aplikasinya*, vol. 16, pp. 40-45, 2020.
- [8] B. Satri, "IoT Monitoring Suhu dan Kelembaban Udara dengan Node MCU ESP8266," *Jurnal Teknik Informatika*, vol. 1, pp. 2829-7342, 2022.
- [9] P. D. Sibuea, "Hotplate Penjaga Kehangatan Kopi Dengan Pemanas PTC Alumunium Berbasis Mikrokontroler ATmega328," *Fakultas MIPA Universitas Sumatera Utara*, 2018.
- [10] M. Z. S. Sirait, E. Sonalitha dan W. Dirgantara, "Kontrol Prototipe Ruang Monitoring Kesehatan Berbasis Node-RED," *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, vol. 9, pp. 2615-7764, 2022.
- [11] Z. Jamal, "Implementasi Kendali PID Penalaan Ziegler Nichols Menggunakan Mikrokontroler," *Jurnal Informatika*, vol. 15, 2015.
- [12] D. S. Prakoso, I. Agustian, N. Daratha dan R. Faurina, "Sistem Kendali Suhu Mesin Tetas Telur Ayam Buras Menggunakan Kontroler PID Dengan Metode Tuning Ziegler Nichols Open Loop Step Response," *Jurnal Amplifier*, vol. 12, 2022.