

Sistem Pengendalian Suhu pada Inkubator Fermentasi Tempe dengan Metode Proportional Integral Derivative (PID) Secara Digital

Anjani Diah Attaqiroh, Ali Rizal Chaidir*, Sumardi

Jurusan Teknik Elektro/Fakultas Teknik – Universitas Jember
Jember, Indonesia

*ali.rizal@unej.ac.id

Abstract— Tempeh is a typical Indonesian food. Tempeh is made from fermented soybeans. Many people in Indonesia likes tempeh because it has high protein and can be consumed used to alternate for meat. In the process of tempeh fermentation, *Rhizopus oligosporus* is used as a fungus that grows on the surface of soybeans. The fermentation process generally takes approximately 48 – 72 hours until tempeh can be consumed under certain temperature and humidity conditions. The tempeh fermentation process requires a stable temperature because the weather can affect the quality of the tempeh produced. In this research is to design a fermentation incubator system that can control the temperature in the tempe fermentation process and can abridge the running fermentation process. The method used to control temperature in this study is the PID method with Ziegler-Nichols 1 tuning. The PID method is used to stabilize temperature on a set point of 36°C. This research will focus on compared traditional fermentation also with tempe fermentation incubators and the response characteristics of the resulting system using Ziegler-Nichols 1 tuning in temperature stabilization at a set point of 36°C. With Ziegler-Nichols 1 tuning, $K_p = 33.19$, $K_i = 5.53$, and $K_d = 49.78$ were obtained. With this PID value, a system response characteristic is produce rise time value of 70 seconds, settling time of 140 seconds and an overshoot of 0.8%. The PID controller with Ziegler-Nichols 1 tuning works well to stabilize the temperature at a value of 36°C, with a steady state error obtained of 0.2% and can shorten the fermentation time which is 16 hours compared to traditional fermentation which is 48 – 72 hours.

Abstrak— Tempe merupakan makanan khas Indonesia. Tempe terbuat dari biji kedelai yang difermentasi. Tempe banyak disukai oleh masyarakat Indonesia karena memiliki protein yang tinggi serta dapat dikonsumsi sebagai pengganti daging. Dalam proses fermentasi tempe memanfaatkan kapang *Rhizopus oligosporus* sebagai jamur yang tumbuh pada permukaan kedelai. Proses fermentasi umumnya berjalan selama kurang lebih 48 – 72 jam hingga tempe dapat dikonsumsi dan dengan kondisi suhu dan kelembaban tertentu. Pada proses fermentasi tempe memerlukan suhu yang stabil karena cuaca dapat mempengaruhi kualitas tempe yang dihasilkan. Pada penelitian kali ini adalah merancang sistem inkubator fermentasi yang dapat mengendalikan suhu pada proses fermentasi tempe serta dapat mempersingkat proses fermentasi yang berjalan. Metode yang digunakan untuk mengendalikan suhu pada penelitian ini adalah dengan metode PID dengan tuning Ziegler-Nichols 1. Metode PID digunakan untuk menyetabilkan suhu pada set point yaitu 36°C. Pada penelitian ini akan lebih fokus pada perbandingan fermentasi secara tradisional dan juga dengan inkubator fermentasi tempe serta karakteristik respons sistem yang dihasilkan dengan menggunakan tuning Ziegler-Nichols 1 dalam penyetabilan suhu pada set point 36°C. Dengan tuning Ziegler-Nichols 1 diperoleh nilai $K_p = 33,19$, $K_i = 5,53$, dan $K_d = 49,78$. Dengan nilai PID tersebut dihasilkan karakteristik respons sistem yang memiliki nilai *rise time* sebesar 70 detik, *settling time* sebesar 140 detik dan *overshoot* sebesar 0,8%. Pengendali PID dengan tuning Ziegler-Nichols 1 bekerja dengan baik untuk menstabilkan suhu pada nilai 36°C, dengan error *steady state* yang diperoleh adalah 0,2% serta dapat mempersingkat waktu fermentasi yaitu 16 jam dibandingkan dengan fermentasi tradisional yaitu 48 – 72 jam.

Kata Kunci— fermentasi; suhu; tuning Ziegler-Nichols; set point; PID.

I. PENDAHULUAN

INDONESIA merupakan salah satu negara produsen tempe terbesar di dunia dan produksi tempe kebanyakan dilakukan oleh industri skala kecil dan rumah tangga-an [1] yang dikutip berdasarkan catatan Badan Standardisasi Nasional pada tahun 2012. Sebanyak 50 persen dari konsumsi kedelai Indonesia dijadikan untuk memproduksi tempe, 40 persen tahu, dan 10

persen dalam bentuk produk lain seperti taucu, kecap, dan lain-lain [2]. Tempe terbuat dari biji kedelai yang difermentasi dengan bantuan kapang *Rhizopus oligosporus* sehingga dapat membentuk massa yang kompak dan padat, kualitas tempe dapat ditentukan berdasarkan penggunaan mikro organisme yang digunakan [3, 4]. Selama proses fermentasi terjadi pertumbuhan jamur pada permukaan dan dapat menembus ke dalam kedelai sehingga lama kelamaan antar kedelai akan menyatu dan menjadi tempe yang dikenali di pasaran [5].

Pembuatan tempe pada umumnya dilakukan dengan beberapa tahapan, antara lain tahap pencucian

Naskah diterima 26 Januari 2023, revisi 21 Februari 2023, terbit online 23 Maret 2023. Emitor merupakan Jurnal Teknik Elektro – Universitas Muhammadiyah Surakarta yang terakreditasi dengan Sinta 3 beralamat di <https://journals2.ums.ac.id/index.php/emitor/index>.

dan pembersihan, tahap perebusan, tahap perendaman, tahap pengupasan, tahap penirisan, pendinginan, dan pengeringan, tahap pemberian ragi, tahap pengemasan dan tahap paling akhir adalah inkubasi. Pada tahap inkubasi dalam fermentasi tempe biasanya membutuhkan waktu kurang lebih 2 sampai 3 kali selama 24 jam pada kondisi suhu 30 – 36⁰C dan kelembaban relatif 60 – 70% [6].

Berdasarkan catatan Badan Standardisasi Nasional (BSN) pada tahun 2012 metode dalam memproduksi tempe masih menggunakan cara tradisional atau konvensional, artinya cara inkubasi untuk fermentasi tempe yang dilakukan masih manual [7]. Sistem inkubasi tersebut dilakukan dengan hanya meletakkan kedelai yang telah dikemas di atas papan dalam ruangan dan apabila cuaca dingin tempe ditutupi dengan kain atau penutup lain sehingga masih kurang efektif karena suhu dan kelembaban akan berubah ubah sesuai dengan cuaca [8–13].

Suhu dan kelembaban relatif serta waktu saat inkubasi adalah tiga faktor penting yang dapat mempengaruhi proses fermentasi tempe menurut data dari Perhimpunan Ahli Teknologi Pangan Indonesia (PATPI) pada tahun 2015 [14–19]. Suhu dan kelembaban ruangan sangat erat hubungannya, karena jika kelembaban udara berubah, maka suhu juga akan berubah. Kelembaban udara berbanding terbalik dengan suhu udara. Semakin tinggi suhu udara, semakin rendah kelembabannya. Perubahan suhu dan kelembaban yang tidak menentu akan menyebabkan lamanya waktu dalam proses fermentasi tempe. Sehingga dibutuhkan sistem pengendalian suhu untuk memberikan suhu yang tetap stabil dalam cuaca yang tidak menentu dalam proses fermentasi tempe.

Dalam perancangan sistem pengendalian suhu pada proses fermentasi tempe dibutuhkan elemen pemanas dan juga elemen pendingin yang bertujuan menjaga suhu agar tetap stabil pada saat fermentasi berlangsung dengan memperhatikan komponen yang digunakan. Lampu pijar dan Fan dc banyak dipilih sebagai elemen pemanas dan pendingin dengan menggunakan Relay sebagai pengontrol dengan metode kontrol *On-Off* pada perancangan sistem pengendalian suhu. Lampu pijar menghasilkan cahaya dengan memanaskan filamen sehingga suhu yang dikeluarkan relatif tinggi [20].

Seperti yang dilakukan pada penelitian sebelumnya [21], pada penelitian ini memilih menggunakan lampu pijar sebagai elemen pemanas, dan komponen tambahan *Mist maker* sebagai pemberi kelembaban dengan metode PID untuk mengendalikan suhu [22]. Lampu pijar dikontrol dengan menggunakan Dimmer Ac dan *Mist maker* dikontrol dengan Relay. Dimmer Ac dipilih karena output nya dapat diatur melalui perin-

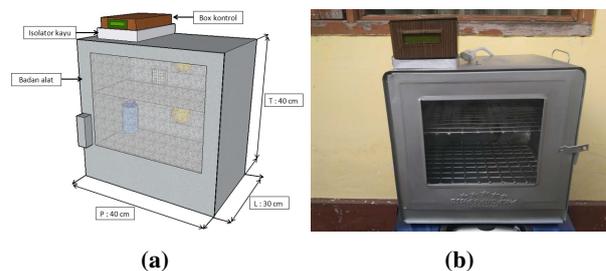
tah dari mikrokontroler. Dimmer Ac merupakan rangkaian elektronik yang memodifikasi sinyal AC murni menjadi sinyal terpotong-potong, sehingga daya keluaran bisa diatur [23]. Sedangkan *Mist Maker* berfungsi menghasilkan kabut dari air biasa dengan menggunakan proses *ultrasonic atomization* [24]. Oleh karena itu pada penelitian ini akan dibahas mengenai perancangan sistem pengendalian suhu untuk mengendalikan suhu pada proses fermentasi tempe dengan menggunakan metode PID. PID merupakan gabungan dari tiga jenis kontroler yaitu Proporsional, Integral, dan Derivative [25]. Metode PID dipilih karena memiliki karakteristik aksi kontrol yang cepat serta dapat mengurangi *overshoot* sehingga dapat menghasilkan suhu yang stabil pada *set point* yang diinginkan pada penelitian ini yaitu 36⁰C.

II. METODE PENELITIAN

Metode penelitian menjelaskan mengenai tahapan penelitian yang meliputi studi literatur, perancangan alat dan pemodelan sistem, pengambilan data, analisis data, dan penyusunan laporan. Metode penelitian juga menjelaskan perancangan mekanik, perancangan elektronik, perancangan desain sistem, perancangan PID dan flowchart kerja alat.

i. Perancangan Mekanik

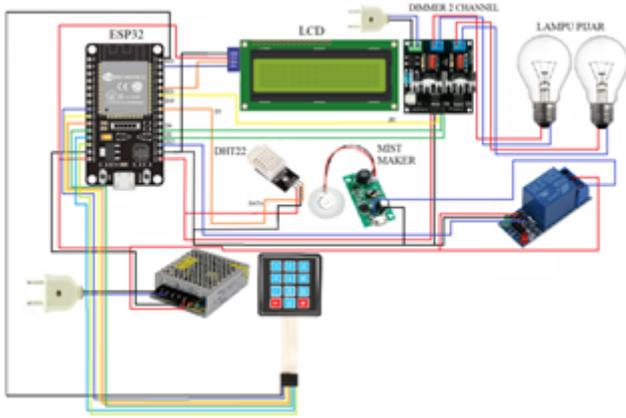
Pada Gambar 1 (b) merupakan perancangan mekanik dari alat inkubator fermentasi tempe yang memiliki dimensi panjang 40 Cm, lebar 30 Cm, dan tinggi 40 Cm. Pada alat terdapat box kontrol yang berisi rangkaian elektrik, kemudian isolator kayu yang berfungsi sebagai isolator agar box kontrol tidak cepat panas.



Gambar 1: Perancangan perangkat (a) Desain Mekanik (b) Alat Inkubator Fermentasi Tempe

ii. Perancangan Elektronik

Pada Gambar 2 merupakan perancangan elektronik alat inkubator fermentasi tempe. DHT22 sebagai input yang bertugas membaca suhu dan kelembaban pada ruang inkubator fermentasi, Dimmer Ac sebagai pengontrol lampu pijar yang bertugas memanaskan ruang

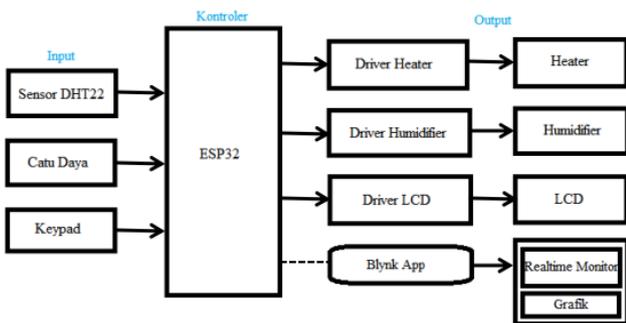


Gambar 2: Perancangan Elektronik

inkubator, serta *Mist maker* yang bertugas memberikan kelembaban.

iii. *Perancangan Desain Sistem*

Pada Gambar 3 merupakan blok diagram sistem dari alat inkubator fermentasi tempe. Ketika alat dihidupkan, mikrokontroler menunggu data dari Keypad untuk input *set point* yang diinginkan. Kemudian ESP32 akan mengambil data suhu dan kelembaban yang terbaca pada ruang inkubator fermentasi tempe, dari pembacaan suhu dan kelembaban digunakan untuk mengatur *Mist maker* dan juga *dimmer* sebagai pengatur lampu pijar dengan PWM. Data suhu dan kelembaban akan ditampilkan pada LCD dan aplikasi Blynk. Blynk merupakan salah satu platform yang cukup sering digunakan untuk monitoring, seperti yang dilakukan pada penelitian [26–28].

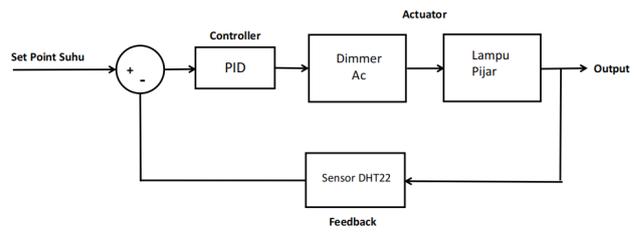


Gambar 3: Blok diagram sistem

iv. *Perancangan PID*

Dalam perancangan PID terdapat uraian mengenai blok diagram dari sistem kendali PID pada alat inkubator fermentasi. Kemudian uraian mengenai metode tuning Ziegler-Nichols 1.

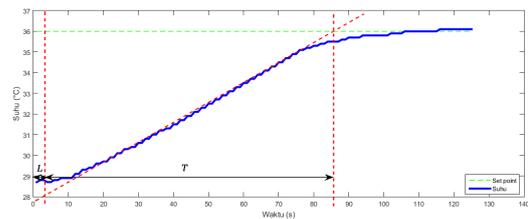
Pada Gambar 4 merupakan blok diagram PID. Pertama-tama *set point* suhu masuk dan dikontrol oleh



Gambar 4: Blok diagram PID

PID, kemudian PID akan mengolah input menjadi PWM. Hasil PWM menjadi kontrol *driver heater* yang berupa *Dimmer Ac*, teknik ini dilakukan juga oleh penelitian sebelumnya [29], kemudian suhu dari *heater* atau lampu pijar akan dibaca oleh sensor Dht22 selanjutnya akan dibandingkan dengan *set point* yang telah ditentukan dengan cara mengurangi *set point* dengan suhu yang dibaca oleh DHT22, kemudian input akan masuk kembali ke PID untuk dilakukan koreksi.

Metode PID yang digunakan dalam penelitian ini yaitu dengan metode tuning Ziegler-Nichols tipe 1. Pada metode ini dicirikan oleh 2 parameter yang perlu dicari yaitu nilai L (waktu tunda) dan T (konstanta waktu tunda) [30]. Untuk dapat mengetahui nilai L dan juga T dapat dilakukan dengan memanaskan ruang inkubator fermentasi tempe secara maksimal, sehingga lampu dapat menyala secara maksimal, kemudian setelah suhu mencapai *set point* lampu pijar dimatikan dan output nya direkam dalam bentuk grafik sinyal respons sistem. Grafik sinyal respons sistem didapatkan dari hasil pembacaan suhu oleh sensor DHT22 dengan memberikan *set point*. Adapun untuk *set point* yang digunakan pada inkubator fermentasi tempe ini adalah 36°C.



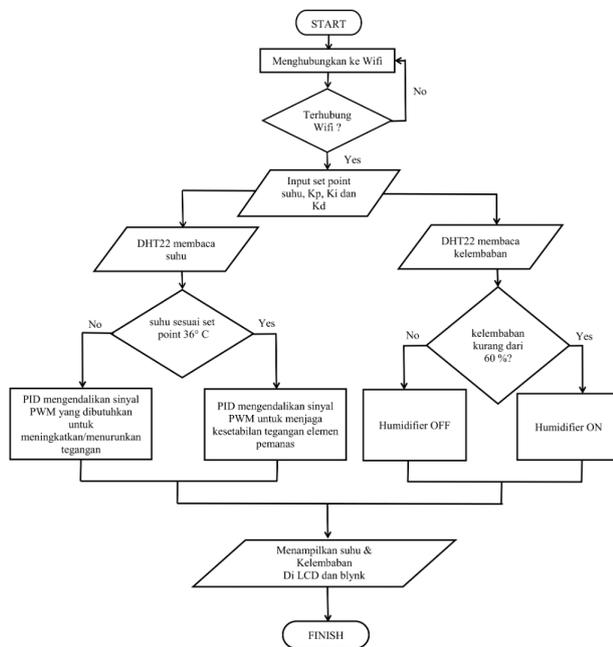
Gambar 5: Metode tuning Zigler Nichols 1

Pada Gambar 3 merupakan hasil dari sinyal respons sistem yang menyerupai huruf S, kemudian dapat ditentukan nilai L yaitu 3 detik dan T yaitu 83 detik. Berdasarkan kedua nilai tersebut dapat digunakan untuk mencari parameter nilai PID berdasarkan aturan tuning Ziegler-Nichols 1.

Cara kerja alat inkubator fermentasi ini adalah sensor DHT22 akan membaca suhu dan kelembaban di dalam inkubator fermentasi tempe. Kemudian apabila suhu yang terukur sudah mulai mendekati set point ma-

Tabel 1: Aturan Tuning Ziegler Nichols 1

Tipe Pengendali	Kp	Ti	Td
P	T/L	∞	0
PI	0,9 T/L	L/0,3	0
PID	1,2 T/L	2L	0,5L

**Gambar 6:** Flowchart kerja alat

ka PID akan mengendalikan sinyal PWM untuk menjaga kestabilan tegangan elemen pemanas. Sedangkan apabila suhu yang terukur masih jauh dari *set point* atau melampaui *set point* maka PID akan mengendalikan sinyal PWM yang dibutuhkan dalam menurunkan atau menaikkan tegangan dalam elemen pemanas tersebut. Kemudian pada pengukuran kelembaban oleh DHT22, apabila kelembaban lebih dari atau sama dengan 60% maka *humidifier* akan *off* dan apabila sebaliknya maka *humidifier* akan *on* untuk melembabkan ruang inkubator fermentasi tempe.

III. HASIL PENELITIAN DAN DISKUSI

i. Pengujian Sensor DHT22

Pengujian sensor dilakukan dengan mengkalibrasi sensor. Kalibrasi sensor bertujuan untuk mengetahui kemampuan dari sensor tersebut. Dengan pengujian sensor dapat mengetahui informasi mengenai kepekaan dari sensor terhadap variabel yang diuji. Dalam kalibrasi sensor DHT22 ini dilakukan dengan melakukan perbandingan dengan membandingkan hasil pembacaan suhu dan kelembaban oleh sensor DHT22 dengan termometer dan juga higrometer sebagai kalibrator.

ii. Pengujian Suhu

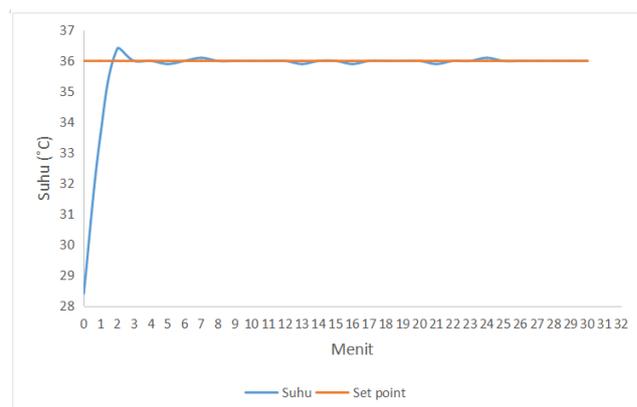
Tabel 2: Pengujian Suhu

Termometer (°C)	DHT22 (°C)	Error (%)
25,3	25,7	1,58
26	26	0
26,6	26,3	1,12
27,2	27,3	0,36
27,3	27,7	1,46
28	28	0
28,5	28,9	1,40
31,1	31,1	0
31,6	31,9	0,94
32,6	32,8	0,61
% rata-rata error		0,74

iii. Pengujian Kelembaban

Tabel 3: Pengujian Kelembaban

Higrometer (%)	DHT22 (%)	Error (%)
76	75,8	0,26
75	73,5	2
74	65,2	11,8
74	63,6	14
74	62,3	15,8
72	72,6	0,83
72	72	0
71	74,7	5,21
71	74,2	4,50
71	73,6	3,66
% rata-rata error		5,8

**Gambar 7:** Grafik Pengujian Keseluruhan

iv. Pengujian Keseluruhan

Pada pengujian keseluruhan dalam penelitian ini pertama-tama dilakukan pengaturan nilai *set point* yaitu 36°C, kemudian PID akan secara otomatis mengatur



Gambar 8: Pengujian Fermentasi Tempe Tradisional (a) 0 jam, masih kedelai (b) 24 jam, masih kedelai (c) 48 jam, terdapat misselium belum sempurna, dan (d) 72 jam, terdapat banyak misselium dan tempe sudah layak dikonsumsi

penyalan lampu. Apabila suhu yang terukur di dalam inkubator tempe masih jauh dari *set point* yang ditentukan lampu pijar akan menyala terus menerus sampai suhu mendekati *set point* 36°C , kemudian ketika suhu sudah mendekati 36°C PID akan mengatur lampu pijar untuk menyala semakin meredup, dan ketika suhu telah mencapai 36°C lampu pijar akan mati. Pada *start* awal untuk mencapai suhu 36 derajat celcius pada fase pertama dibutuhkan waktu 70 detik dari suhu aktual awal. Kemudian ketika telah mencapai suhu *set point* lampu pijar mati dan terjadi kenaikan suhu hingga $36,3^{\circ}\text{C}$, kemudian terjadi penurunan suhu dari $36,3^{\circ}\text{C}$ menuju stabil pada *set point* dengan waktu 60 detik.

v. *Pengujian Perbandingan Hasil Fermentasi Tempe*

Dalam pengujian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan dari proses fermentasi yang dilakukan secara tradisional dan juga dengan alat inkubator dengan nilai PID berdasarkan tuning Ziegler-Nichols 1 yang berpengaruh terhadap waktu dan juga tempe yang dihasilkan dari keduanya.

Pengujian meliputi dalam dua kondisi: Pengujian Fermentasi Tempe Tradisional, dan pengujian Fermentasi Tempe dengan Inkubator Fermentasi Tempe.

Berdasarkan pengujian perbandingan fermentasi tempe secara tradisional dan menggunakan inkubator pada penelitian ini didapatkan perbedaan yang terletak pada lamanya proses fermentasi yang berjalan yaitu seperti pengujian yang telah dilakukan, pada pengujian



Gambar 9: Pengujian Fermentasi dengan Inkubator (a) 0 jam, masih kedelai (b) 10 jam, sudah mulai terdapat miselium, dan (c) 16 jam, terdapat banyak miselium dan tempe layak dikonsumsi

fermentasi secara tradisional lamanya waktu fermentasi adalah 72 jam hingga semua kedelai tertutupi oleh miselium, kemudian pada pengujian dengan inkubator lama fermentasi hanya 16 jam. Dari perbandingan kedua pengujian tersebut membuktikan bahwa suhu erat kaitannya dengan lamanya waktu fermentasi tempe yang berjalan, dengan suhu 36°C dapat membuat tempe matang dengan waktu 16 jam.

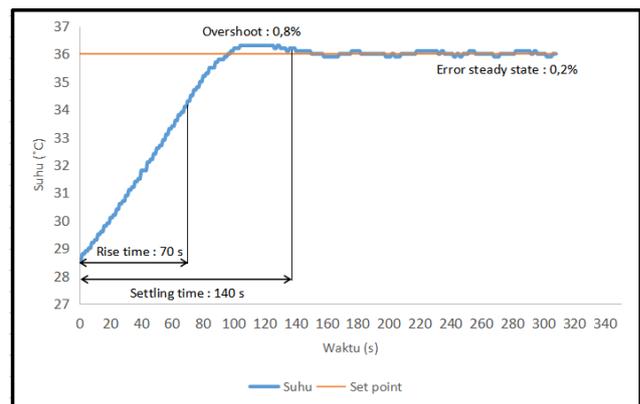
Selanjutnya pengujian dilanjutkan untuk alat PID. Pengujian PID dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui karakteristik dari respons sistem dengan melalui rekaman data output. Rekaman data output dilakukan dengan mengamati hasil dari rekaman suhu aktual di dalam ruang inkubator fermentasi terhadap perubahan waktu dalam mencapai keadaan *steady state*. Pada pengujian ini dilakukan dengan mengamati karakteristik hasil respons sistem dari nilai PID berdasarkan tuning Ziegler-Nichols 1 dan *trial and error*. Kemudian terdapat pengujian PID dengan memberikan gangguan pada alat inkubator fermentasi tempe untuk melihat karakteristik respons sistem ketika diberikan gangguan.

vi. Pengujian PID: Respons Tuning Ziegler-Nichols 1

Pengujian karakteristik respons sistem dengan tuning Ziegler-Nichols 1 adalah pada Gambar 10, dengan nilai K_p 33,19, K_i 5,53 dan K_d 49,78. Karakteristik respons diamati mulai saat terjadi perubahan suhu input hingga respons memasuki *steady state*, sistem memiliki karakteristik respons yaitu dengan nilai *rise time* sebesar 70 detik, *settling time* sebesar 140 detik, *overshoot* sebesar 0,8%, *error steady state* sebesar 0,2% dan sistem tidak terdapat *undershoot*, dengan menggunakan nilai PID tersebut diperoleh respons yang stabil dengan dibuktikan nilai *error steady state* yang didapatkan kecil yaitu 0,2%.

vii. Pengujian PID: Respons Sistem Trial and Error

Pengujian karakteristik respons sistem dengan Pada pengujian ini dilakukan dengan nilai PID berdasarkan

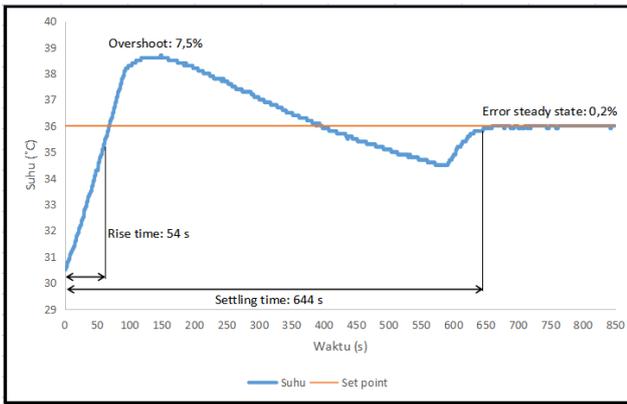


Gambar 10: Karakteristik Respons Sistem dengan Tuning Ziegler-Nichols 1

trial and error yang menghasilkan respons sistem dengan nilai *overshoot*, osilasi yang tinggi serta respons yang mendekati nilai *steady state*. *Trial and error* dilakukan dengan mencoba-coba mengubah nilai parameter PID untuk menghasilkan respons sistem seperti yang diinginkan dengan memanfaatkan kelebihan masing-masing variabel kontrol PID.

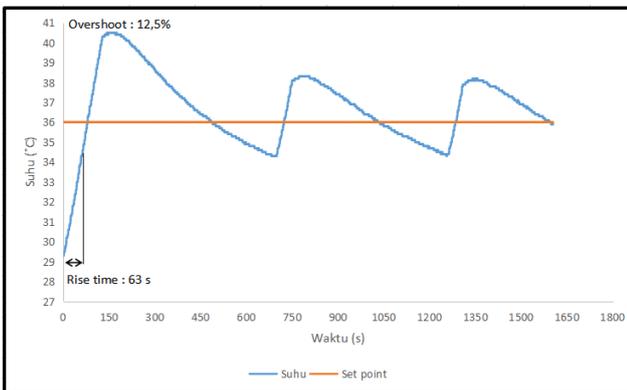
Pengujian karakteristik respons sistem dengan respons sistem dengan hasil respons *overshoot* adalah seperti pada Gambar 11, dengan nilai K_p 100, K_i 3 dan K_d 1, dengan menggunakan nilai PID tersebut diperoleh respons yang memiliki *overshoot* yang tinggi. Suhu mengalami kenaikan sampai dengan $38,8^{\circ}\text{C}$ dari *set point* yaitu 36°C dan kemudian suhu menurun perlahan sampai dengan $35,5^{\circ}\text{C}$. Sistem memiliki nilai *rise time* sebesar 54 detik, kemudian nilai *settling time* sebesar 644 detik, *overshoot* sebesar 7,5%, *error steady state* sebesar 0,2% dan *undershoot* sebesar 1,3%.

Pengujian karakteristik respons sistem dengan hasil respons osilasi adalah seperti pada Gambar 12, dengan nilai K_p 30, K_i 30 dan K_d 1, dengan menggunakan nilai PID tersebut diperoleh respons yang memiliki osilasi. Suhu mengalami kenaikan sampai dengan 40°C dari *set point* yaitu 36°C dan kemudian suhu menurun



Gambar 11: Karakteristik Respons Sistem dengan Hasil Respons Overshoot

perlahan sampai dengan 35,5⁰C dan kembali mengalami kenaikan sampai dengan 38⁰C dan kembali menurun pada suhu 35,5⁰C. Sistem memiliki nilai *rise time* sebesar 63 detik, kemudian nilai overshoot terbesar adalah sebesar 12,5%, dan *undershoot* sebesar 1,3%.



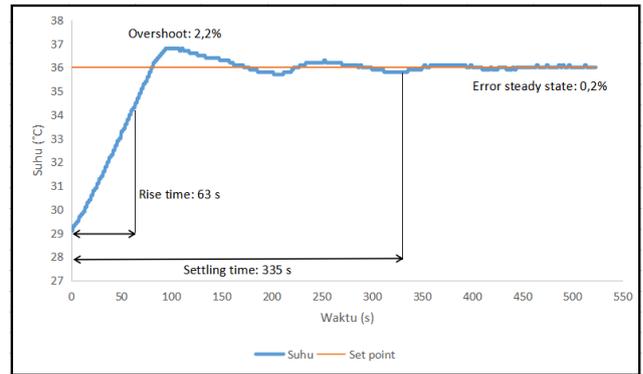
Gambar 12: Karakteristik Respons Sistem dengan Hasil Respons Osilasi

Pengujian karakteristik respons sistem dengan hasil respons *error steady state kecil* adalah seperti pada Gambar 13, dengan nilai K_p 50, K_i 3 dan K_d 30, Sistem memiliki nilai *rise time* sebesar 63 detik, kemudian nilai *settling time* sebesar 335 detik, *overshoot* sebesar 2,2% , *error steady state* sebesar 0,2% dan *undershoot* sebesar 0,5%.

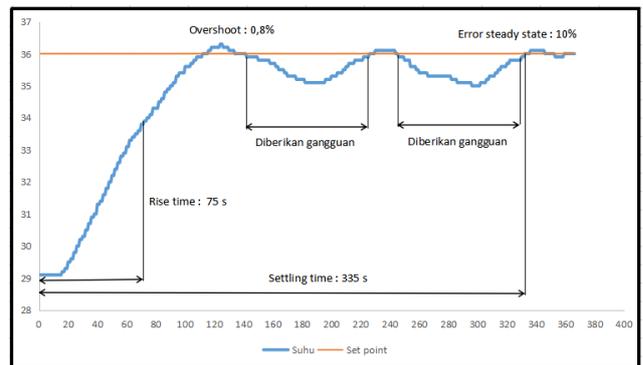
viii. *Karakteristik Respons Sistem dengan Gangguan*

Pengujian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui hasil karakteristik dari respons sistem alat inkubator fermentasi tempe ketika diberikan gangguan. Adapun gangguan diberikan dengan membuka bagian penutup alat inkubator fermentasi dan kemudian diamati karakteristik *rise time*, *settling time*, *overshoot* dan *error steady state*.

Berdasarkan hasil pengujian adalah seperti pada Gambar 13 dengan nilai K_p 33,19, K_i 5,53 dan



Gambar 13: Karakteristik Respons Sistem dengan Hasil Respons Steady State Kecil



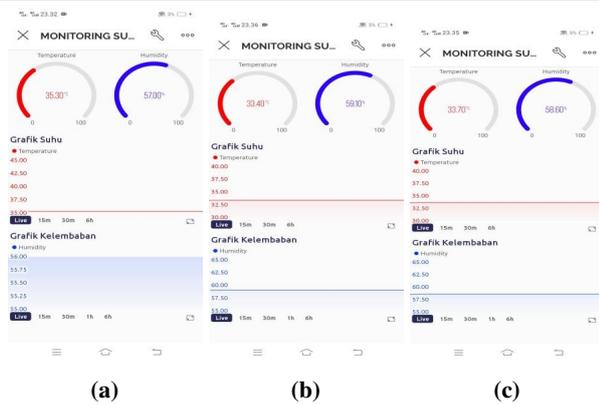
Gambar 14: Karakteristik Respons Sistem dengan Gangguan

K_d 49,78 dan sistem diberikan gangguan dengan membuka penutup alat inkubator fermentasi tempe, dengan memberikan gangguan tersebut didapatkan sistem yang memiliki nilai *rise time* sebesar 75 detik, kemudian nilai *settling time* sebesar 335 detik, serta *error steady state* sebesar 10% dan sistem tidak memiliki nilai *overshoot*. Kemudian waktu yang dibutuhkan sistem untuk mencapai *set point* setelah diberikan gangguan hingga menuju titik stabil-nya adalah 100 detik. Gangguan diberikan dua kali di tengah tengah respons. Dengan memberikan gangguan, suhu akan menurun yang dipengaruhi oleh masuknya udara luar pada inkubator fermentasi tempe.

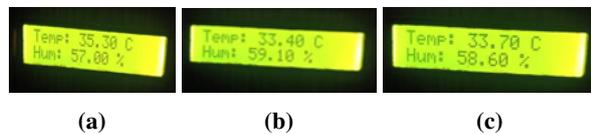
ix. *Pengujian Blynk*

Pengujian blynk dilakukan dengan mengamati suhu dan kelembaban aktual pada LCD dan pada Blynk untuk mengetahui keakuratan tampilan pada blynk. Hasil pengujian blynk dapat dilihat seperti pada Gambar 15 Pengujian Blynk dan Gambar 16 pengujian pada LCD.

Pada pengujian blynk dilakukan dengan pengambilan 3 data untuk mengetahui keakuratan tampilan suhu dan kelembaban pada blynk. Berdasarkan hasil pengujian blynk yang telah diperoleh dari ketiga data didapatkan tampilan suhu dan juga kelembaban aku-



Gambar 15: Pengujian blynk: (a) suhu $35,3^{\circ}\text{C}$ dan kelembaban 57% (b) suhu $33,4^{\circ}\text{C}$ dan kelembaban $59,1\%$ dan (c) suhu $33,7^{\circ}\text{C}$ dan kelembaban $58,6\%$



Gambar 16: Tampilan LCD dari pengujian blynk: (a) suhu $35,3^{\circ}\text{C}$ dan kelembaban 57% (b) suhu $33,4^{\circ}\text{C}$ dan kelembaban $59,1\%$ dan (c) suhu $33,7^{\circ}\text{C}$ dan kelembaban $58,6\%$

rat dan sama seperti pada suhu dan kelembaban aktualnya. Pada data pertama dengan suhu dan kelembaban masing masing yaitu $35,3^{\circ}\text{C}$ dan 57% , tampilan blynk adalah sama yaitu suhu $35,3^{\circ}\text{C}$ dan kelembaban 57% . Kemudian pada data kedua dan ketiga memiliki hasil yang sama. Hasil pengujian dapat dilihat seperti pada Tabel 6 Pengujian Blynk.

Pengujian blynk selanjutnya adalah tampilan platform blynk ketika dalam keadaan online dan offline, yaitu online ketika alat inkubator fermentasi tempe dalam keadaan menyala dan offline ketika alat inkubator fermentasi tempe dalam keadaan mati. Pengujian tersebut dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kondisi dari alat inkubator fermentasi tempe ketika user atau produsen tempe tidak berada dalam area produksi tempe.

IV. KESIMPULAN

Setelah melakukan perancangan alat, sistem, tahap pengujian serta analisis maka dapat disimpulkan sebagai berikut: Dalam penelitian ini, perancangan PID dilakukan dengan tuning Ziegler-Nichols 1 atau metode kurva reaksi dengan mencari nilai dari L (waktu tunda) dan T (konstanta waktu tunda) berdasarkan hasil rekaman output. Adapun nilai L yang diperoleh yaitu sebesar 3 detik dan T sebesar 83 detik yang kemudian dimasukkan kedalam rumus berdasarkan aturan tuning

Ziegler-Nichols 1 untuk mencari nilai dari parameter PID. Adapun diperoleh nilai K_p 33,19, K_i 5,53, dan K_d 49,78. Berdasarkan nilai PID tersebut, PID mampu mengendalikan dan mempertahankan suhu pada ruang inkubator sesuai dengan set point yaitu 36°C yang dibuktikan pada karakteristik respons sistem diperoleh error steady state sebesar $0,2\%$. Kemudian perancangan inkubator fermentasi tempe dengan PID dengan tuning Ziegler-Nichols 1 mampu mempercepat proses fermentasi tempe, yaitu dengan waktu 16 jam dibandingkan secara tradisional yaitu 72 jam. Kemudian sebagai tambahan data pengujian fermentasi dengan nilai PID berdasarkan percobaan trial and error dengan respons sistem yang memiliki overshoot serta respons yang mendekati steady state tempe yang dihasilkan baik dan fermentasi berjalan 16 jam, sedangkan dengan respons osilasi fermentasi berjalan selama 18 jam dan tempe yang dihasilkan kurang baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. S. Nasional, "Tempe: persembahkan indonesia untuk dunia," *bsn.go.id*, vol. <https://docplayer.info/67745873-Tempe-persembahkan-indonesia-untuk-dunia.html>, pp. <https://docplayer.info/67745873-Tempe-persembahkan-indonesia-untuk-dunia.html> Diakses tanggal 25 Februari 2023.
- [2] A. Alvina dan D. H. Hamdani, "Proses pembuatan tempe tradisional," *Jurnal Ilmiah Pangan Halal*, vol. 1, no. 1, 2019.
- [3] A. Hidayat, K. P. Agustin *et al.*, "Sistem pengendali suhu dan kelembapan pada inkubator tempe berbasis mikrokontroler esp 32," in *Prosiding Seminar Nasional Terapan Riset Inovatif (SENTRINOV)*, vol. 6, no. 1, 2020, pp. 1103–1110.
- [4] B. Darmawan, W. Pradiyanto, I. M. B. Sukmadana, dan C. Syafaruddin, "Rancang bangun alat pengendali suhu pada fermentasi tempe berbasis mikrokontroler," *Prosiding SAIN-TEK*, vol. 4, pp. 135–140, 2022.
- [5] W. P. Rahayu, R. Pambayun, U. Santoso, L. Nuraida, dan A. Ardiansyah, "Tinjauan ilmiah teknologi pengolahan tempe kedelai," 2015.
- [6] I. N. Sandi, "Sumber dan metabolisme energi dalam olahraga," *Jurnal Pendidikan Kesehatan Rekreasi*, vol. 5, no. 2, pp. 64–73, 2019.
- [7] B. B. Agam, T. Prihandono *et al.*, "Pengaruh jenis dan bentuk lampu terhadap intensitas pencahayaan dan energi buangan melalui perhitungan nilai efikasi luminus," *JURNAL PEMBELAJARAN FISIKA*, vol. 3, no. 4, 2015.
- [8] I. N. A. Junaedi11, A. A. N. Amrita, dan I. N. Setiawan, "Implementasi sistem pemantauan suhu dan kelembaban udara berbasis iot pada plant factory kebun percobaan fakultas pertanian universitas udayana," *Jurnal SPEKTRUM Vol*, vol. 9, no. 2, 2022.
- [9] M. Yu, F. Xu, W. Hu, J. Sun, dan G. Cervone, "Using long short-term memory (Lstm) and internet of things (iot) for localized surface temperature forecasting in an urban environment," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 137406–137418, 2021.
- [10] L. Dan, C. Xin, H. Chongwei, dan J. Liangliang, "Intelligent agriculture greenhouse environment monitoring system based on iot technology," in *2015 International Conference on*

- Intelligent Transportation, Big Data and Smart City*. IEEE, 2015, pp. 487–490.
- [11] A. Vamseekrishna, R. Nishitha, T. A. Kumar, K. Hanuman, dan C. G. Supriya, "Prediction of temperature and humidity using iot and machine learning algorithm," in *International Conference on Intelligent and Smart Computing in Data Analytics: ISDA 2020*. Springer, 2021, pp. 271–279.
- [12] Y. P. Jayasuriya, C. S. Elvitigala, K. Wamakulasooriya, dan B. Sudantha, "Low cost and iot based greenhouse with climate monitoring and controlling system for tropical countries," in *2018 International Conference on System Science and Engineering (ICSSE)*. IEEE, 2018, pp. 1–6.
- [13] N. Abd El-Mawla, M. Badawy, dan H. Arafat, "Iot for the failure of climate-change mitigation and adaptation and iiot as a future solution," *World Journal of Environmental Engineering*, vol. 6, no. 1, pp. 7–16, 2019.
- [14] J. R. Sangian, V. C. Poekoel, J. Litouw, dan R. F. Robot, "Pengendalian kelembaban ruang pengering hibrida pada proses pengeringan bawang merah," *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, vol. 8, no. 2, pp. 51–58, 2019.
- [15] R. A. Akbar, A. Rusgiyono, dan T. Tarno, "Analisis integrasi pasar bawang merah menggunakan metode vector error correction model (vecm)(studi kasus: Harga bawang merah di provinsi jawa tengah)," *Jurnal Gaussian*, vol. 5, no. 4, pp. 811–820, 2016.
- [16] D. Aldo, "Sistem pakar diagnosis hama dan penyakit bawang merah menggunakan metode dempster shafer," *Komputika: Jurnal Sistem Komputer*, vol. 9, no. 2, pp. 85–93, 2020.
- [17] I. N. Istina, "Peningkatan produksi bawang merah melalui teknik pemupukan npk," *Jurnal Agro*, vol. 3, no. 1, pp. 36–42, 2016.
- [18] M. Octaviani, H. Fadhli, dan E. Yuneistya, "Uji aktivitas antimikroba ekstrak etanol kulit bawang merah (*allium cepa* l.) dengan metode difusi cakram," *Pharmaceutical Sciences and Research*, vol. 6, no. 1, p. 8, 2019.
- [19] S. Rahayu, N. Kurniasih, dan V. Amalia, "Ekstraksi dan identifikasi senyawa flavonoid dari limbah kulit bawang merah sebagai antioksidan alami," *al Kimiya: Jurnal Ilmu Kimia dan Terapan*, vol. 2, no. 1, pp. 1–8, 2015.
- [20] Z. Nasrul, Y. P. Roja, dan N. Sylvia, "Aplikasi kontrol pid pada reaktor pabrik asam formiat dengan kapasitas 100.000 ton/tahun," *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, vol. 7, no. 2, pp. 135–152, 2019.
- [21] B. Gunawan dan S. Sukardi, "Rancang bangun pengontrolan suhu dan kelembaban pada proses fermentasi tempe berbasis internet of things," *JTEIN: Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, vol. 1, no. 2, pp. 168–173, 2020.
- [22] S. Abdussamad, S. A. Hulukati, dan A. Husain, "Otomatisasi pengering padi berbasis arduino uno," *Jurnal Electrighsan*, vol. 11, no. 01, pp. 13–19, 2022.
- [23] I. N. A. Junaedi11, A. A. N. Amrita, dan I. N. Setiawan, "Implementasi sistem pemantauan suhu dan kelembaban udara berbasis iot pada plant factory kebun percobaan fakultas pertanian universitas udayana," *Jurnal SPEKTRUM Vol*, vol. 9, no. 2, 2022.
- [24] J. R. Sangian, V. C. Poekoel, J. Litouw, dan R. F. Robot, "Pengendalian kelembaban ruang pengering hibrida pada proses pengeringan bawang merah," *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, vol. 8, no. 2, pp. 51–58, 2019.
- [25] Z. Nasrul, Y. P. Roja, dan N. Sylvia, "Aplikasi kontrol pid pada reaktor pabrik asam formiat dengan kapasitas 100.000 ton/tahun," *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, vol. 7, no. 2, pp. 135–152, 2019.
- [26] A. A. Agustini *et al.*, "Monitoring pemakaian arus listrik pada alat rumah tangga dengan menggunakan aplikasi blynk berbasis internet of things," *MEANS (Media Informasi Analisa Dan Sistem)*, pp. 214–218, 2021.
- [27] A. N. Rostini, A. P. Junfithrana *et al.*, "Aplikasi smart home node mcu iot untuk blynk," *Jurnal Rekayasa Teknologi Nusa Putra*, vol. 7, no. 1, pp. 1–7, 2020.
- [28] A. R. Chaidir, G. A. Rahardi, dan H. Nurdiansyah, "Fish feeder for aquaculture with fish feed remaining and feed out monitoring system based on iot alat bantu pemberi pakan ikan budidaya dengan sistem monitoring sisa pakan dan pakan keluar berbasis iot," *Procedia of Engineering and Life Science Vol*, vol. 1, no. 2, 2021.
- [29] G. D. Kalandro, D. Setiabudi, dan A. R. Chaidir, "Rancang bangun mesin pengering kulit pohon kina menggunakan kontrol pid berbasis mikrokontroler," *J-Innovation*, vol. 11, no. 2, pp. 56–62, 2022.
- [30] E. Ikpe Aniekan, O. Ikechukwu, dan S. Paul, "Comparative analysis of a pid controller using ziegler nichols and auto turning method," *International Academic Journal of Science and Engineering*, vol. 3, no. 10, pp. 1–16, 2016.