

Pengendalian Suhu dan Kelembaban Budidaya Jamur Kuping dengan Kendali PID Penalaan Ziegler-Nichols

Setya Ardhi¹, Tjwanda P. Gunawan², Suhatati Tjandra³

¹Departemen Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, Institut Sains dan Teknologi Terpadu Surabaya, Surabaya, Indonesia

^{2,3}Departemen Informatika, Fakultas Sains dan Teknologi, Institut Sains dan Teknologi Terpadu Surabaya, Surabaya, Indonesia

Corresponding author: Penulis A. Setya Ardhi (e-mail: setyaardhi@stts.edu).

ABSTRACT Cultivating wood ear mushrooms can be an alternative source of food and income. One of the challenges in wood ear mushroom cultivation, particularly in achieving productivity, is the enlargement or incubation process. Mushroom cultivation requires a "kumbung" (mushroom house) as a maintenance facility. Optimal results in wood ear mushroom cultivation require maintaining ideal temperature and humidity within the "kumbung." The implementation of a PID controller using the Ziegler-Nichols tuning method, the first approach, in wood ear mushroom cultivation equipped with a temperature and humidity control system significantly aids the incubation process.

Applying the Ziegler-Nichols rules from the first approach, PID constants are determined after system response characteristics are identified. The prototype wood ear mushroom cultivation hardware design integrates a mist generator, heat generator, and a DHT22 sensor for temperature and humidity readings, with an Arduino Uno serving as the central controller through PID and PWM

Based on data analysis, the best setpoint for humidity control was found to be 85, resulting in an overshoot of 3.1% RH and a steady-state error of 1.7% RH. For temperature control, the optimal setpoint was 26, resulting in an overshoot of 0.7°C and a steady-state error of 0.2°C. Therefore, the total power consumption of the entire system is 31.16 watts at the best setpoint position. All of this was carried out in a prototype wood ear mushroom "kumbung" with a room volume of 7m³, accommodating 48-52 bags.

KEYWORDS Wood Ear Mushroom, PID Controller, Temperature and Humidity, Ziegler-Nichols Tuning.

ABSTRAK Budidaya tumbuhan jamur kuping bisa menjadi sumber bahan pangan alternatif serta menjadi sumber pendapatan. Salah satu yang menjadi kendala dalam budidaya tumbuhan jamur kuping dalam produktifitas budidaya jamur kuping adalah proses pembesaran atau inkubasi. Hasil optimal yang diperoleh dalam budidaya jamur kuping adalah memerlukan suhu dan kelembaban yang ideal dalam kumbung. Penerapan pengendali PID menggunakan kaidah tuning Ziegler-Nichols metode pertama pada budidaya jamur kuping yang dilengkapi dengan sistem pengendali suhu dan kelembaban akan sangat membantu proses inkubasi tersebut.

Dengan menggunakan aturan Ziegler-Nichols dari pendekatan pertama, nilai konstanta PID ditentukan setelah tanaman diidentifikasi berdasarkan karakteristik respons sistem. Desain perangkat keras kumbung jamur kuping prototipe mengintegrasikan generator kabut, generator panas, dan sensor DHT22 untuk membaca suhu dan kelembaban, dengan Arduino Uno yang berfungsi sebagai pengendali pusat melalui penggunaan sketsa program PID dan PWM.

Berdasarkan analisa data yang dilakukan dengan hasil analisa respon pada kendali kelembaban diberikan setpoint terbaik pada nilai 85 sehingga menghasilkan nilai overshoot sebesar 3,1% RH dan Error Steady State sebesar 1,7% RH, sedangkan untuk kendali suhu diberikan setpoint terbaik pada nilai 26 sehingga menghasilkan nilai overshoot sebesar 0,7°C dan error steady state sebesar 0,2°C. Oleh karena itu konsumsi daya total seluruh sistem sebesar 31,16 watt pada posisi setpoint terbaik. Semua itu dilakukan pada prototipe kumbung jamur dengan volume ruangan sebesar 7m³ yang menampung 48-52 baglog.

KATA KUNCI Jamur Kuping, Kontroler PID, Suhu dan Kelembaban, Tuning Ziegler-Nichols.

I. PENDAHULUAN

Budidaya tumbuhan jamur kuping dimana bisa menjadi alternatif bahan pangan. Pada budidaya tersebut harus diperhatikan beberapa syarat dalam tumbuh jamur kuping dimana dalam pertumbuhan jamur kuping terdiri dari penyediaan bangunan untuk mendukung proses hidup jamur, kelembaban ruangan, dan suhu ruangan. Kelembaban sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan jamur kuping karena iklim asli di alam tempat tumbuhnya jamur kuping memiliki kelembaban tinggi. Selain kelembaban, suhu juga dibutuhkan dalam pertumbuhan jamur kuping. Suhu optimal untuk pertumbuhan jamur telinga berada dalam kisaran suhu tropis 25°C hingga 30°C. Sangat penting untuk mempertahankan suhu yang konsisten yang tidak terlalu panas atau dingin, karena suhu di atas 35°C atau di bawah 15°C dapat menghambat pertumbuhan jamur. Selain suhu, perkembangan tubuh buah jamur kuping membutuhkan tingkat kelembaban udara yang tinggi, idealnya berkisar antara 80% hingga 90%. Ventilasi yang memadai dan penyiraman yang tepat sangat penting untuk mempertahankan tingkat kelembaban yang diperlukan. Faktor-faktor ini sangat penting untuk pertumbuhan dan perkembangan jamur kuping yang sehat, yang banyak digunakan dalam masakan tradisional Cina dan Jepang karena tekstur dan nilai gizinya yang unik. Jika kelembaban udara terlalu rendah, tubuh buah jamur akan mengalami kekeringan dan mati. Sedangkan suhu yang dibutuhkan dalam pertumbuhan jamur kuping berkisar antara 25°C hingga 28°C. Tubuh reproduksi jamur sebagian besar terdiri dari air, jadi jika suhunya terlalu rendah akan menyebabkan jamur menjadi busuk karena kandungan air yang tinggi.

Pada umumnya budidaya tersebut dengan melakukan secara konvensional seperti pengaturan panas dengan sistem pemanas dan kelembaban dengan bantuan manusia, dimana terjadi kelemahan dalam monitoring secara tepat untuk mengontrol hal tersebut. Maka sistem tersebut dikembangkan dengan sistem elektronik yang memiliki sistem kontrol dengan pengendali Proportional Integral Differential (PID) sangat luas dipakai dalam dunia industri dan peralatan elektronika lainnya, di mana pengontrol ini digunakan untuk menentukan tingkat presisi dalam sistem instrumentasi dengan memberikan umpan balik karakteristik pada sistem. Dengan bantuan pengendali PID ini memiliki kelebihan pada waktu respon tanggapannya sangat cepat namun menghasilkan nilai overshoot yang tinggi.

Sistem kendali PID memakai sistem kendali loop tertutup (closed loop) yang cukup sederhana dan memiliki kemampuan yang bagus. Sistem kendali ini tidak mampu beroperasi dengan optimal apabila terjadi ketidakpastian dan ketidaklinieran pada sistem [1]. Pengendali PID terbentuk dari kombinasi dari tiga jenis pengendali, dimana ketiga jenis pendukung pengendali tersebut apabila berdiri sendiri maka hasil yang dicapai tidak bisa maksimal [2], dimana tiga parameter pengendali tersebut memiliki kelebihan dan kekurangan. Untuk memenuhi sistem kendali yang

dikehendaki harus menetapkan nilai yang optimal pada ke tiga parameter tersebut.

Pengendalian dengan PID memiliki beberapa parameter yang tetap apabila sistem tersebut lagi beroperasi, apabila pada pengendali tersebut mengalami gangguan yang tidak diketahui dari mana asalnya gangguan tersebut atau penempatan tempat yang berubah [3] dari sebelumnya, maka parameter PID yang telah ditetapkan tidak akan bisa beradaptasi [4] dengan perubahan tersebut dan juga penentuan parameter yang telah ditetapkan dalam PID tersebut akan menemui kesulitan. Ada beberapa metode penalaan untuk PID yang telah dikembangkan seperti metode trial and error (Cut and Try Method), metode tanggapan (Step Response), metode analitik, metode Ziegler-Nichols [5]. Dengan adanya beberapa analisa dan percobaan dengan menggunakan berbagai metode penalaan dapat diambil suatu kesimpulan, bahwa dalam penggunaan pengendalian PID dalam sebuah sistem mempunyai kekurangan dimana parameter-parameter tersebut harus di setting/penalaan bila terjadi perubahan didalam sistem tersebut. Pada penelitian ini untuk mengatasi hal tersebut untuk menentukan parameter PID yang diakibatkan perubahan gangguan atau perubahan lingkungan bisa dengan menggunakan metode open loop Ziegler-Nichols [6].

Penelitian ini menerapkan pada pengendali suhu dan kelembaban pada prototipe kumbung (rumah jamur) pada jamur kuping dengan kontrol PID menggunakan kaidah tuning Ziegler Nichols metode pertama. Dimana dilatar belakangi pada kendala yang dapat mengurangi produktivitas budidaya jamur kuping adalah proses pembesaran atau inkubasi. Budidaya jamur kuping membutuhkan kumbung sebagai tempat pemeliharaan [7]. Berdasarkan permasalahan tersebut pada penelitian ini dibuat sebuah sistem yang dapat mengontrol suhu dan kelembaban otomatis pada kumbung dan mendapatkan hasil yang stabil dengan PID. Parameter yang dibutuhkan dalam kontrol PID adalah nilai K_p , K_i , K_d [8] berdasarkan perhitungan plant dari kumbung. Dengan bantuan kaidah Ziegler-Nichols metode pertama, nilai tersebut dapat dengan mudah didapatkan.

Pada penelitian ini prototype yang dibuat mengikuti beberapa parameter yang menjadi syarat untuk budidaya jamur kuping terdiri dari penyediaan bangunan untuk mendukung proses hidup jamur, kelembaban ruangan, dan suhu ruangan. Kelembaban sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan jamur kuping karena iklim asli di alam tempat tumbuhnya jamur kuping memiliki kelembaban tinggi pada tingkat kelembaban 80-90% [9] dan diperkuat menurut informasi budidaya jamur kuping pada Dinas Pemberdayaan Masyarakat dan Desa (DPMD) Provinsi Jawa Timur. Selain kelembaban, suhu juga dibutuhkan dalam pertumbuhan jamur kuping. Suhu yang dibutuhkan adalah suhu tropis yang tidak terlalu tinggi dan tidak terlalu rendah. Suhu di Indonesia sangat cocok sebagai tempat pertumbuhan jamur kuping dimana rentang suhu udara normal rata-rata dari

1981-2020 menurut data BMKG 21,7 derajat Celcius – 29,7 derajat Celcius yang diterbitkan oleh Majalah Tempo 11 Januari 2023.

Dalam merangsang pertumbuhan jamur kuping pembentukan tubuh buah jamur kuping dibutuhkan kelembaban udara berkisar antara 80% hingga 90% kelembaban [9] Jika kelembaban udara terlalu rendah, tubuh buah jamur akan mengalami kekeringan dan mati. Sedangkan suhu yang dibutuhkan dalam pertumbuhan jamur kuping berkisar antara 25°C hingga 28°C [9]. Jika suhu terlalu dingin tubuh buah jamur banyak mengandung air yang berdampak pada kebusukan.

Dengan adanya parameter-parameter yang dibutuhkan dalam budidaya ini, maka dibuatlah suatu plant untuk mengontrol parameter-parameter tersebut melalui pembuatan kontrol PID berbasis mikrokontroler untuk dapat mengontrol suhu dan kelembaban pada rancang bangun kumbung aluminium mini dengan kapasitas maksimal 48-52 baglog. Kumbung tersebut dapat menampung sebanyak 96 baglog jika dibuat dua kali lebih besar dari model aslinya. Dua sensor DHT22 memantau suhu dan kelembaban di dalam kumbung yang kecil dan menyediakan data untuk sistem kontrol. Aktuator pemanas dipasang di dalam kumbung selain sensor suhu yang disebut DHT22.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan literatur yang digunakan dalam penelitian ini mencakup topik-topik seperti dasar-dasar pertumbuhan kelompok jamur kuping, bagaimana kontrol proporsional-integral-derivatif (PID) bekerja dan dijelaskan, bagaimana aturan penyetelan Ziegler-Nichols untuk sistem orde pertama dapat diterapkan pada tanaman yang tidak diketahui model matematikanya, karakteristik kelompok jamur yang menunjukkan Respons Transien yang diinginkan, dan banyak lagi.

A. Budidaya Rumah Jamur Kuping

Jamur kuping, yang secara ilmiah dikenal sebagai *Auricularia auricular*, terbentuk pada kayu yang lembap dan usang. Nama jamur ini, "jamur kuping", berasal dari fakta bahwa tubuh jamur yang tumbuh melebar di bagian tengah, seperti telinga manusia. Seperti jamur tiram dan shiitake, jamur kuping berkembang biak melalui biji yang berukuran mikroskopis tetapi banyak. Hal ini terjadi ketika tubuh jamur yang sudah habis berbuah membusuk. Jika spora mendarat di lingkungan yang cocok, mereka akan berkecambah dan membentuk miselium, melalui serangkaian tahap yang meliputi fase miselium primer, fase miselium sekunder, dan akhirnya pembentukan kuncup tubuh buah yang akan tumbuh menjadi tubuh buah yang terbentuk sempurna.

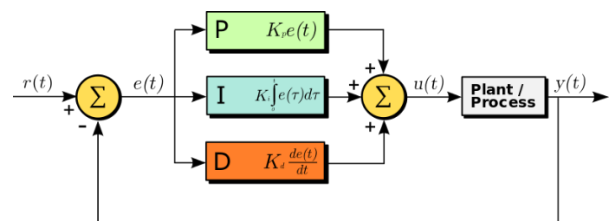
Kumbung memiliki struktur yang digunakan untuk menyimpan bahan tanam yang digunakan dalam budidaya jamur kuping. Baglog jamur akan tetap kering dan aman dari unsur-unsur dan potensi pertumbuhan jamur di dalam

kumbung. Selain itu, area kumbung dapat digunakan untuk rekayasa iklim mikro. Salah satu contoh petani jamur yang membutuhkan ruang kumbung berukuran panjang 6 meter, lebar 4 meter, dan tinggi 3 hingga 6 meter adalah petani yang berencana menanam 1.000 baglog. Ruang kumbung harus berkapasitas tertentu untuk memastikan aliran udara yang tepat serta kelembaban dan suhu yang konsisten.

Rak-rak dari bambu atau kayu disediakan di area kumbung untuk menyimpan baglog jamur. Untuk memastikan media baglog tertata rapi dan bibit yang dibudidayakan dapat tumbuh dengan maksimal, jarak antar deretan rak sekitar 70-90 cm, dan setiap rak dapat berisi 15 baglog yang disusun secara vertikal dan 20 baglog yang disusun secara horizontal.

B. Kontrol PID (Proportional Integral Derivative)

Sistem kontrol PID secara konstan menentukan nilai kesalahan dengan membandingkan variabel proses aktual dengan setpoint yang diinginkan. Berdasarkan pembacaan kesalahan, aktuator akan diperintahkan untuk bergerak seperti yang ditunjukkan pada skema blok kontrol PID Gambar 1 [10].



GAMBAR 1. Blok Diagram Kontrol PID

Kontrol P (Proporsional), kontrol I (Integral), dan kontrol D (Derivatif) adalah tiga jenis regulasi yang digunakan dalam sistem kontrol PID; masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan [11] [12]. Kontrol PID dapat dijabarkan seperti pada (1).

$$u(t) = K_p e(t) + K_I \int_0^t e(\tau) d\tau + K_D \frac{de(t)}{dt} \tag{1}$$

Pada persamaan 1 dengan hasil keterangan sebagai berikut Untuk $u(t)$ = Output PID, K_p = Kontanta Proportional, K_I = Kontanta Integral, K_D = Kontanta Derivative, e = Error, t = Waktu(s), τ = Variabel Integrasi.

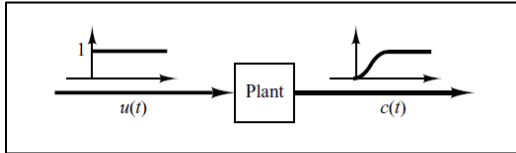
Nilai output yang dicapai oleh kontrol proporsional sebanding dengan nilai kesalahan, seperti yang didefinisikan oleh kontrol [12]. Menyesuaikan reaksi pengontrol semudah mengalikan kesalahan dengan konstanta K_p . Kontroler integral dapat memberikan angka keluaran yang sebanding dengan ukuran dan panjang kesalahan. Integral yang digunakan dalam kontrol PID membangun nilai offset yang sebanding dengan jumlah kesalahan yang telah dikompensasi. Konstanta Integral akan dikalikan dengan

kesalahan kumulatif. (Ki). Kontrol integral dengan cepat menghilangkan kesalahan kondisi-mapan yang terlihat pada kontrol proporsional dan mendorong proses lebih dekat ke setpoint. [12] Namun, kenaikan dihasilkan dari reaksi integral terhadap kesalahan sebelumnya (Overshoot).

Kontrol turunan untuk meningkatkan respons sementara sistem dan untuk memprediksi waktu tinggal dan stabilitas [12]. Dalam menghitung turunan dari kesalahan proses, perlu menemukan kemiringan kesalahan dan meningkatkan nilainya dengan konstanta turunan pada setiap iterasi. Teknologi kontrol ini mampu mengurangi overshoot dan meningkatkan stabilitas dengan meningkatkan nilai Kd. Penggunaan kontrol turunan telah terbukti efektif dalam meningkatkan respons sistem, seperti yang terlihat dalam berbagai aplikasi teknologi seperti kendaraan otonom, sistem energi terbarukan, dan teknologi pengolahan makanan. Karena itu, penggunaan teknologi kontrol turunan dapat membantu meningkatkan kinerja sistem dan memperbaiki kestabilannya dengan cara yang efektif dan efisien.

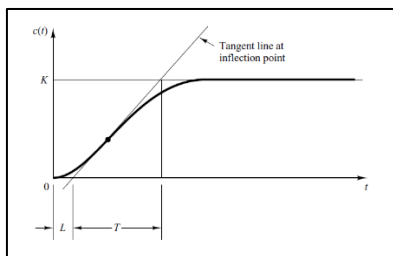
C. Tuning Ziegler-Nichols Metode Pertama

Parameter-parameter penting kontrol PID adalah nilai kontanta Kp, Ki, Kd. Untuk mendapatkan konstanta tersebut adalah salah satunya menggunakan aturan tuning Ziegler-Nichols metode pertama. Dalam metode ini, dilakukan berdasarkan respon plant terhadap respon loop terbuka seperti ditunjukkan pada gambar 2.



GAMBAR 2. Respon Unit-Step Terhadap Plant

Respons unit-step pada plant menghasilkan kurva berbentuk S dan dapat dianalisis dengan menggunakan dua konstanta, L dan T. Konstanta L merupakan jarak antara titik awal kurva dan titik maksimum, sementara konstanta T merupakan waktu yang dibutuhkan oleh sistem untuk mencapai titik maksimum. Konstanta-konstanta ini dapat diperoleh dengan menarik garis singgung yang melintasi sumbu absis dari garis maksimum, seperti yang terlihat pada gambar 3.



GAMBAR 3. Respon Kurva Berbentuk-S

Analisis respons unit-step sangat penting dalam

pengendalian sistem karena dapat memberikan informasi tentang karakteristik sistem, seperti waktu respon, overshoot, dan settling time. Oleh karena itu, dengan memahami konstanta-konstanta pada kurva respons unit-step, teknologi kontrol dapat diatur dengan lebih baik untuk mencapai respons yang diinginkan dan meningkatkan kinerja sistem secara keseluruhan.

Kontanta yang didapatkan dari respon di atas digunakan untuk menentukan parameter-parameter yang dibutuhkan oleh kontrol PID dengan tabel aturan [13]. Berdasarkan aturan tuning Ziegler-Nichols metode pertama didapatkan rumus-rumus seperti di tunjukkan pada tabel 1.

TABEL I
ATURAN TUNING ZIEGLER-NICHOLS METODE PERTAMA

Tipe Controller	Kp	Ti	Td
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0,9 \frac{T}{L}$	$\frac{L}{0,3}$	0
PID	$0,9 \frac{T}{L}$	2L	0,5L

Fungsi alih C(s)/U(s) dengan pendekatan sistem orde pertama didapatkan (2).

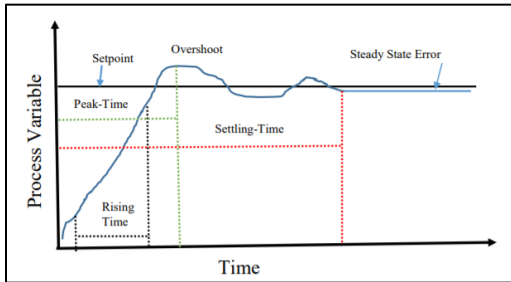
$$\frac{C(s)}{U(s)} = \frac{K e^{-Ls}}{Ts+1} \tag{2}$$

Persamaan (3) menunjukkan hasil dari penerapan rumus Ziegler-Nichols tabel 1 untuk menentukan parameter Kp, Ti, dan Td yang digunakan dalam penyetelan kontrol PID menggunakan pendekatan pertama. Parameter Kp, Ti, dan Td sangat penting dalam penyetelan kontrol PID karena mempengaruhi respons sistem secara keseluruhan. Dalam rumus Ziegler-Nichols tabel 1, parameter Kp, Ti, dan Td dapat dihitung berdasarkan respons sistem terhadap perubahan input [14]. Penggunaan rumus ini dapat membantu pengguna untuk menyetel kontrol PID dengan lebih efektif dan efisien, karena dapat menghasilkan respons sistem yang lebih cepat dan lebih stabil. Oleh karena itu, penyetelan kontrol PID menggunakan rumus Ziegler-Nichols tabel 1 dapat meningkatkan kinerja sistem secara signifikan dan memungkinkan pengguna untuk mencapai respons yang diinginkan.

$$\begin{aligned} Gc(s) &= K_p(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d) \\ &= 1,2 \frac{T}{L} (1 + \frac{1}{2Ls} + 0,5Ls) \\ &= 0,6T \frac{(s + \frac{1}{L})^2}{s} \end{aligned} \tag{3}$$

D. Karakteristik Respon Transient Sistem Orde Pertama

Koneksi input-ke-output (I/O), juga dikenal sebagai fungsi transfer, mendefinisikan sistem kontrol orde pertama [15]. Orde sistem dapat dihitung hanya dengan menggunakan model matematisnya, dengan bantuan kekuatan variabel s . (dalam transformasi Laplace). Jika fungsi transfer memiliki variabel berpangkat tunggal, s , maka sistem dikatakan orde pertama.

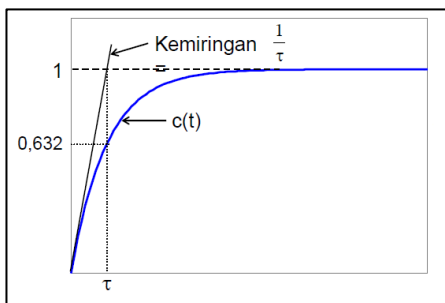


GAMBAR 4. Grafik Karakteristik Respon Transient

Rise Time didefinisikan sebagai waktu gelombang bergerak dari 0,1 ke 0,9 atau 10% sampai 90% dapat juga didapatkan nilai rise time 5% sampai 95% menuju nilai setpoint yang bisa dilihat pada gambar 4. Settling Time didefinisikan sebagai waktu untuk respon untuk mencapai kondisi diam dalam persentase nilai sebesar 2% dari setpoint. Time Constant (τ) merupakan waktu kontan dapat di artikan sebagai waktu yang dibutuhkan untuk respon mencapai 63% dari respon steady-state yang bisa dilihat pada gambar 5.

Waktu Tunda adalah waktu yang telah berlalu dari beberapa waktu awal $t = 0$ hingga respons output mencapai 50% dari nilai kondisi tunaknya sebagai respons terhadap input. Dengan menggunakan (4), dari rumus tsb dapat menghitung periode tunda.

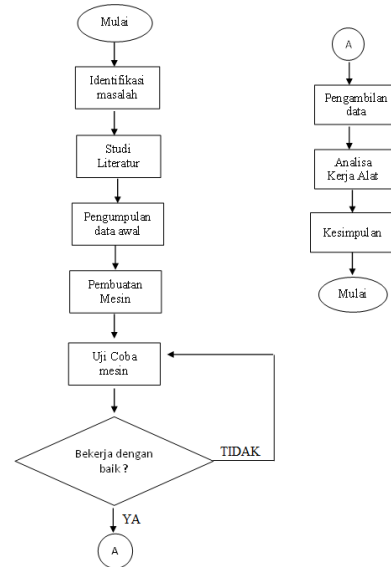
$$td = \tau \ln 2 \tag{4}$$



GAMBAR 5. Grafik Respon Time Constant

III. Metode dan Inti penelitian

Untuk menentukan desain sistem kontrol dan menemukan bagaimana sensor suhu dan kelembaban dapat disesuaikan secara efisien untuk proses pertumbuhan jamur tiram, penelitian ini menggunakan jenis metode analisis eksperimental yang dikenal sebagai studi kasus satu bidikan (penelitian eksperimental One-Shoot Case Study) [16].



GAMBAR 6. Flowchart Metode Perancangan

A. Identifikasi Masalah, Analisa dan Studi Literatur

Analisis kerja alat pada Gambar 6 mengungkapkan apakah alat ini dapat melakukan tugas yang dimaksudkan dengan sukses atau tidak. Data yang dikumpulkan untuk menentukan apakah ada perbedaan yang signifikan secara statistik antara temuan atau apakah temuan tersebut serupa. Berikut ini adalah garis besar untuk menganalisis pekerjaan yang terlibat dalam menggunakan Metode Penyetelan PID dengan aturan penyetelan Ziegler-Nichols pertama untuk secara efektif mengatur suhu dan kelembaban.

- Mengetahui proses perkembangan biakan jamur tiram pada sebuah kumbung dan berapa banyaknya baglog yang bisa ditempatkan pada sebuah kumbung.
- Mengetahui parameter apa saja yang menjadi pendukung tingkat suhu dan kelembaban perkembangan biakan jamur tiram.
- Menerapkan perangkat elektronik untuk mendukung pengendalian tingkat suhu dan kelembaban secara efisien dengan beberapa metode pengendalian.
- Pengujian respon sistem kendali terhadap pengendalian yang diatur yaitu suhu dan kelembaban.
- Pengujian prototype kumbung yang layak untuk budidaya jamur tiram dan sistem kendali yang efisien dalam kendali suhu dan temperature.

B. Pengumpulan data awal

Berikut ini adalah informasi awal yang dikumpulkan dari berbagai sumber untuk tujuan penyempurnaan dan pengembangan:

- Kumbung memiliki baglog yang berasal dari

budidaya jamur tiram dari sebuah UMKM yang berasal dari daerah Batu.

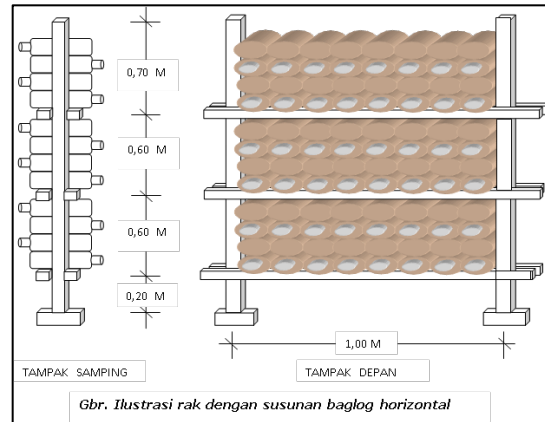
- Metode budidaya dengan cara tradisional dengan menyimpan baglog jamur tiram pada kumbung yang bersifat permanen atau tidak bisa dipindahkan dimana kumbungnya dengan kapasitas 250 baglog dan dimensi volumenya 35m³.
- Pengendalian suhu dan kelembaban dengan pengaturan manual untuk menjaga suhu dengan cara udara yang diblower dengan kipas angin serta penyiraman air secara berkala dan untuk menjaga kelembaban.

C. Perancangan Pembuatan Prototype Alat/Mesin Inti Penelitian

Perangkat keras mekanis, elektronik tambahan, dan diagram alir program, semuanya akan dijelaskan dalam bagian ini. Sejak awal, bentuk kotak atau lemari dimaksudkan untuk portabel dan sementara. Salah satu contoh petani jamur yang membutuhkan ruang kumbung berukuran panjang 6 meter, lebar 4 meter, dan tinggi 3 hingga 6 meter adalah petani yang berencana menanam 1.000 baglog. Selain memungkinkan pergerakan udara yang efektif dan kelembaban serta suhu yang stabil di dalam kumbung dengan bantuan operator, ukuran ruangan yang mirip dengan yang ditunjukkan pada Gambar 7 direkomendasikan.

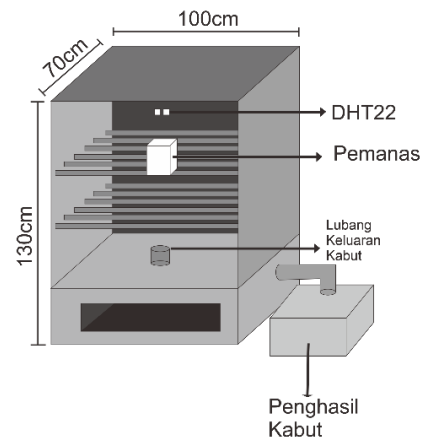
Rak-rak dari bambu atau kayu biasanya disediakan di area kumbung untuk menyimpan baglog jamur dalam budidaya jamur. Penyediaan rak-rak ini bertujuan untuk memastikan bahwa media baglog tertata rapi dan bibit yang dibudidayakan dapat tumbuh dengan maksimal. Jarak antar deretan rak juga penting untuk dipertimbangkan dalam penyusunan agar bibit jamur dapat tumbuh dengan optimal. Oleh karena itu, jarak antar deretan rak dibuat sekitar 70-90 cm, dengan setiap rak dapat menampung hingga 15 baglog yang disusun secara vertikal dan 20 baglog yang disusun secara horizontal. Dalam penyusunan rak, baik rak vertikal maupun horizontal harus dirancang dan disusun dengan baik agar bibit jamur dapat tumbuh dengan baik. Dengan penyusunan yang rapi dan teratur, bibit jamur dapat tumbuh dengan baik dan berkualitas, sehingga menghasilkan hasil panen yang optimal bagi para petani jamur. Selain itu, penyusunan rak yang baik juga membantu para petani dalam manajemen area kumbung budidaya jamur agar lebih efisien dan efektif.

Perancangan Perangkat keras yang dibuat merupakan prototipe kumbung yang didesain pada gambar 8 berdasarkan skala ukuran kumbung konvensional. Adapun bahan dari kumbung merupakan aluminium dengan ukuran dimensi luar 100 x 70 x 130 cm dan dimensi dalam 100 x 70 x 100 cm sehingga volumenya 7.1m³ sebanyak 48-52 baglog dimana lima kali lebih kecil dari sumber budidaya yang menjadi referensi.



GAMBAR 7. Rak Baglog Jamur

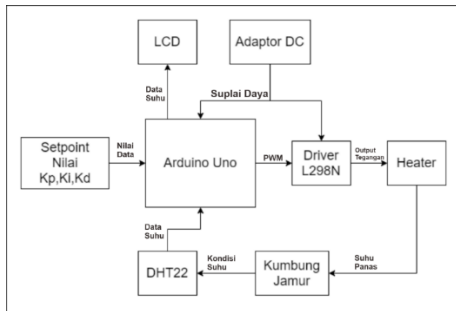
Rancangan dari prototipe sistem pengendali suhu dengan kontrol PID dan cara kerja sistem ini dapat digambarkan seperti diagram blok berikut pada gambar 9.



GAMBAR 8. Rak prototype 1: 5 Baglog Jamur

Pada gambar 9 merupakan diagram blok sistem pengendali suhu dengan kontrol PID. Hal ini dilakukan agar sistem mendapatkan nilai yang stabil dalam mengendalikan suhu yang terdapat pada kumbung. Bagian ini ada beberapa spesifikasi yang bisa dijelaskan dari sensor dan komponen elektronik, seperti Sensor DHT22 (atau AM2302) adalah sensor suhu dan kelembaban yang dikemas dalam modul. Sensor ini menggunakan teknologi NTC untuk mengukur suhu dan sensor kelembaban relatif yang dikalibrasi bersama untuk mengukur kelembaban. Berikut adalah spesifikasi teknis dari sensor DHT22 Rentang pengukuran suhu: -40 hingga 120 derajat Celsius Ketelitian pengukuran suhu: +/- 0.5 derajat Celsius Rentang pengukuran kelembaban: 0 hingga 100% RH. Komponen elektronik Driver L298N adalah sebuah IC (Integrated Circuit) yang berfungsi sebagai driver beban dimana disini sebagai pengatur pemanas (heater). Komponen tersebut memiliki spesifikasi dengan tegangan operasi: 5V hingga 35V, arus keluaran maksimum: 2A per channel atau 4A total, dapat mengendalikan 2 motor

DC atau 1 motor stepper motor, dan terdapat proteksi overheating dan overcurrent. Pemilihan Arduino Uno dimana merupakan board mikrokontroler open-source yang dirancang untuk keperluan prototyping dan DIY (do-it-yourself) projects. Dengan spesifikasi tegangan operasi: 5V, input tegangan: 7-12V, pin input/output digital: 14 (termasuk 6 output PWM), pin input analog sebanyak 6 pin, arus output per pin sebesar 20 mA, memiliki memori flash: 32 KB (termasuk 0.5 KB digunakan bootloader), memiliki SRAM: 2 KB dan EEPROM: 1 KB, dan memiliki Kecepatan clock: 16 MHz.

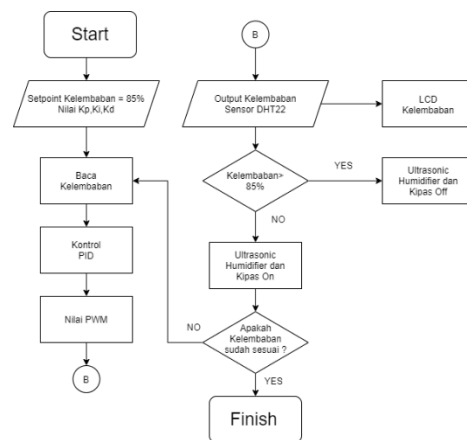


GAMBAR 9. Blok Diagram Sistem Kendali Suhu Dengan Kontrol PID

Pertama diharuskan memasang suatu adaptor untuk menyuplai tegangan pada Arduino dan Driver L298N agar seluruh sistem dapat bekerja dengan baik. Sebelum sistem dijalankan, nilai setpoint dan konstanta K_p , K_i , K_d di tentukan terlebih dahulu. Arduino uno akan diprogram sebagai kontroler PID dimana output yang dihasilkan berupa sinyal PWM yang akan diteruskan ke modul driver L298N. Untuk mengendalikan elemen pemanas/heater element dibutuhkan tegangan yang lebih tinggi. Maka sinyal PWM yang diinputkan dari Arduino ke modul driver menghasilkan persentase tegangan yang mampu menggerakkan kipas pada heater. Pemanas akan menghasilkan panas yang akan diteruskan ke dalam ruang kumbung. Perubahan suhu yang terjadi akan dibaca oleh sensor DHT22. Sensor ini menggunakan prosesor microchip dengan output sinyal digital, meniadakan kebutuhan akan rangkaian pengontrol sinyal dan ADC yang terpisah. Nilai perubahan suhu serta setpoint di ditampilkan oleh LCD dan feedback nilai suhu yang dibaca akan diproses oleh Arduino.

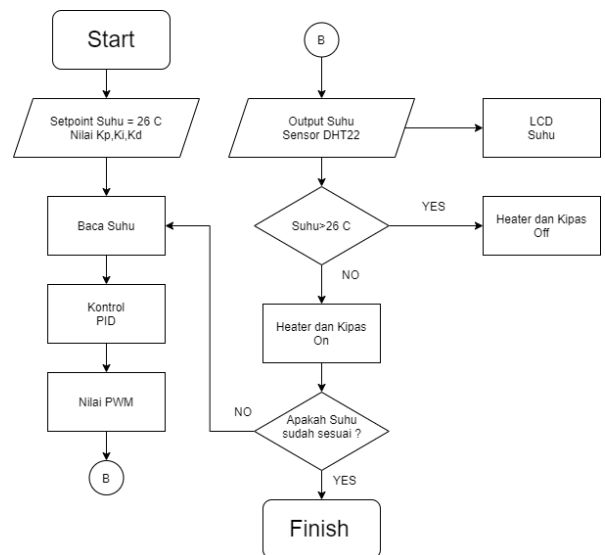
Gambar 10 menunjukkan bagaimana kontrol PID diterapkan dalam perangkat lunak sistem kontrol kelembaban. Tujuan perangkat lunak ini, singkatnya, adalah untuk mendapatkan tingkat kelembapan relatif di kumbung tersebut. Kecepatan kipas semprotan pelembab ultrasonik dihitung berdasarkan kelembapan relatif pembacaan dan angka referensi (setpoint) 85%. Dengan membandingkan persentase RH yang diinginkan dengan persentase RH aktual, sistem PID menyesuaikan tegangan ke kipas angin dan pelembap ultrasonik menggunakan modulasi lebar pulsa (PWM). Kipas angin dan pelembap ultrasonik akan hidup dan mati secara mandiri

berdasarkan tingkat kelembapan.



GAMBAR 10. Flowchart Program Kendali Kelembaban

Gambar 11 memberikan ringkasan tingkat tinggi dari proses mendapatkan suhu ruangan di kumbung tersebut. Perbandingan dibuat antara suhu yang diukur dan suhu target yang telah ditentukan sebelumnya yaitu 26 derajat Celcius. Kemudian, menghitung seberapa cepat kipas harus berputar untuk mengalirkan udara panas dari PTC Heater secara memadai.



GAMBAR 11. Blok Diagram Sistem Kendali Suhu Kontrol PID

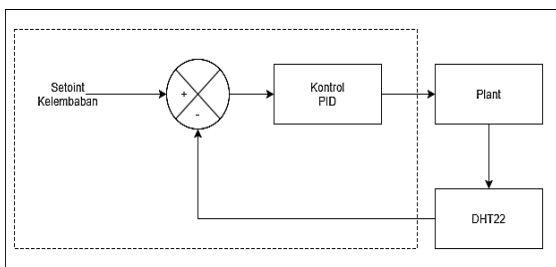
IV. Hasil eksperimen dan penelitian

Pada bab ini akan melnjutkan metode analisis eksperimen studi kasus satu tembakan (experimental research One-Shoot Case Studi) [16] pada gambar 6 dimana dilanjutkan dengan pengambilan data dari hasil permodelan, kalibrasi sensor, pengujian kontrol kelembaban dan suhu dengan kontroler PID, respon sistem terhadap jumlah baglog.

A. Permodelan, Validasi Model Dan Perancangan Kontrol Kelembaban serta Suhu Dengan Kontroler PID

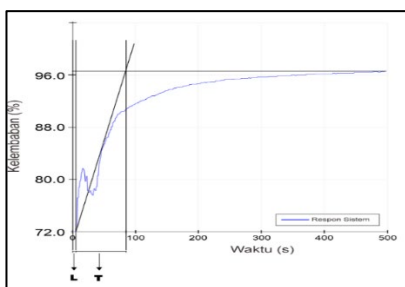
Dengan menggunakan sifat respons sistem aturan pertama Ziegler-Nichols, fungsi transfer dapat dihitung. Model pabrik diperoleh dengan menyiapkan sistem loop terbuka dan memprogram Arduino untuk merespons sinyal langkah dengan sinyal PWM 255, yang memasok daya penuh ke kipas sistem dan kelembaban ultrasonik. Pergeseran kelembaban dapat dilacak dengan DHT22.

Tata letak blok kontrol PID untuk kelembaban di kumbung ditunjukkan pada Gambar 12. Dengan kontrol PID, kelembaban di peternakan jamur dipertahankan dengan mengambil perbedaan antara setpoint dan output sebagai sinyal kesalahan dan kemudian menerapkan prinsip-prinsip proporsionalitas, integrasi, dan diferensiasi padanya.



GAMBAR 12. Diagram Blok Sistem PID Pada Kendali Kelembaban Respon Grafik Sistem Lup Terbuka Kendali Kelembaban

Ziegler-Nichols merupakan salah satu metode penyetelan parameter pada pengontrol PID yang banyak digunakan. Metode ini melibatkan pengukuran respons sistem terhadap input yang diberikan, lalu menetapkan dua konstanta - waktu tunda (L) dan waktu konstan (T) - melalui grafik respons sistem yang digambar menggunakan garis bantu. Dengan mengetahui nilai dari kedua konstanta tersebut, maka dapat ditentukan nilai-nilai parameter untuk pengontrol PID yang optimal. Metode Ziegler-Nichols terbukti efektif dalam penyetelan parameter pengontrol PID pada sistem yang stabil.



GAMBAR 13. Reaksi Plotter Serial Terhadap Pembacaan Kelembaban DHT22

Respons plant loop terbuka Ziegler-Nichols adalah dasar dari teknik pertama. Karena kurangnya Integrator dan kontrol derivatif, plant memiliki kurva reaksi berbentuk huruf S terhadap input tangga. Konstanta waktu T dan waktu

tunda L dihitung dari kurva reaksi plant. Gambar 13 kemudian menampilkan reaksi plotter serial terhadap pembacaan kelembaban DHT22 melalui variabel data DHT22 dalam program Arduino. Menurut aturan tuning metode Ziegler-Nichols pertama dengan menggunakan garis bantu untuk menentukan dua konstanta, yaitu waktu tunda (L) dan konstanta waktu (T), grafik tersebut menunjukkan bahwa model plant memiliki keluaran proses (PV) berupa kelembaban yang meningkat secara konstan hingga mencapai kondisi tunak (steady state), seperti yang ditunjukkan pada (5).

$$G(s) = \frac{96,5e^{-5,5s}}{82,5s+1} \tag{5}$$

Parameter Kp, Ti, dan Td dari kontroler PID yang dituliskan pada Tabel II diperoleh dari hasil data grafik respon sistem plant katup terbuka, mengikuti kaidah tabel parameter Ziegler-Nichols pada pendekatan pertama.

TABEL II
PARAMETER PID PADA KENDALI KELEMBABAN

Kp	Ti	Td
$1.2 \frac{T}{L}$	2L	0.5L
$1.2 \frac{82.5}{5.5}$	2 x 5.5	0.5 x 5.5

Berdasarkan hasil parameter dengan aturan tuning Ziegler-Nichols metode pertama konstanta Kp, Ti, dan Td telah ditemukan. Dari konstanta tersebut dapat juga digunakan untuk menentukan nilai konstanta Ki dan Kd dengan cara pada (6) dan (7).

$$Ki = \frac{Kp}{Ti} = \frac{18}{11} = 1,63 \tag{6}$$

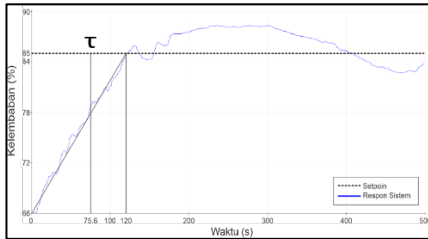
$$Kd = \frac{Kp}{Td} = \frac{18}{2,75} = 6,54 \tag{7}$$

B. Pengujian Kontrol Kelembaban Dengan Kontroler PID

Setelah Anda memiliki nilai Kp, Ki, dan Kd, Anda dapat memasukkan pengontrol PID ke dalam program dan mengirimkannya ke Arduino Uno. Beberapa teknik, termasuk pengujian dengan pengontrol PID, pengujian dengan setpoint variabel, pengujian dengan gangguan, dan pengujian output PWM yang dihasilkan untuk mengontrol kelembapan dan kipas ultrasonik, digunakan untuk mensimulasikan respons sistem dunia nyata.

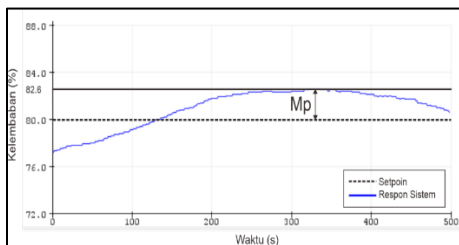
Gambar 14 menunjukkan respons sistem terhadap setpoint kelembaban 85% dengan penggunaan pengontrol PID. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada kondisi tersebut, sistem mampu merespons dengan Ess (Steady State Error) sebesar 1,7% RH dan Overshoot sebesar 3,1% RH. Hal ini menunjukkan bahwa pengontrol PID telah memberikan performa yang baik dalam menjaga kestabilan sistem, dengan nilai Ess yang rendah dan Overshoot yang masih

dalam batas yang dapat diterima. Dalam aplikasi industri, pengontrol PID sering digunakan untuk menjaga stabilitas sistem dengan nilai error dan overshoot yang minim, sehingga hasil pengujian ini menunjukkan bahwa pengontrol PID dapat menjadi pilihan yang tepat untuk aplikasi tersebut.



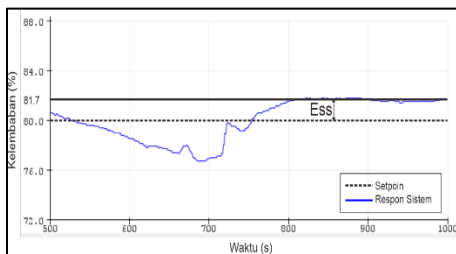
GAMBAR 14. Respon Sistem Kendali Kelembaban Dengan Kontrol PID

Sehingga mendapatkan nilai pengujian Setpoint bervariasi dilakukan dengan memberikan Setpoint 80, 85, dan 90 pada program. Pengujian pada gambar 15 ini bertujuan untuk mengetahui respon setpoint yang lebih stabil diantara setpoint yang diberikan.



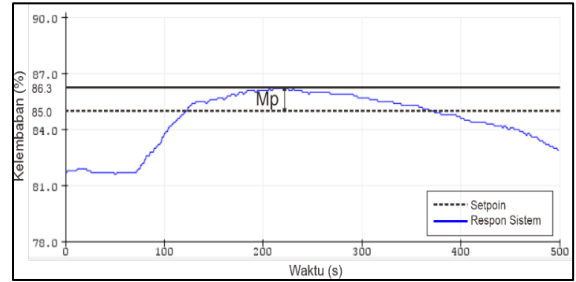
GAMBAR 15. Respon Sistem Dengan Setpoint 80%RH (Error Steady State)

Pada gambar 15 menunjukkan respon grafik dengan menggunakan setpoint 80 terjadi overshoot sebesar 2,6%RH. Keadaan Maksimum Peak atau overshoot terjadi pada 335 detik.



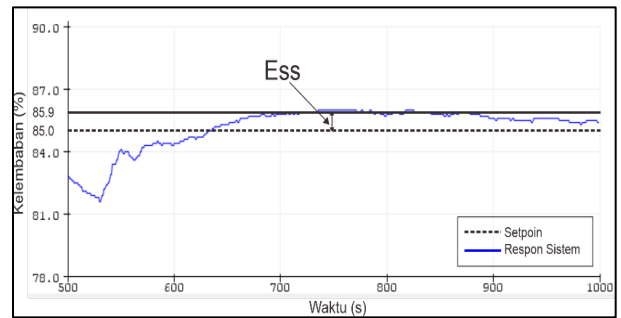
GAMBAR 16. Respon Sistem Dengan Setpoint 80%RH (overshoot)

Pada Gambar 16 merupakan respon grafik kondisi steady state yang menghasilkan error sebesar 1,7%RH. Error Steady State dengan diberikan setpoint 80 terjadi pada 820 detik. Pada Gambar 17 menunjukkan grafik respon sistem ketika diberikan setpoint 85. Overshoot yang dihasilkan sebesar 1,3% RH. Keadaan maksimum peak atau overshoot terjadi pada 220 detik.



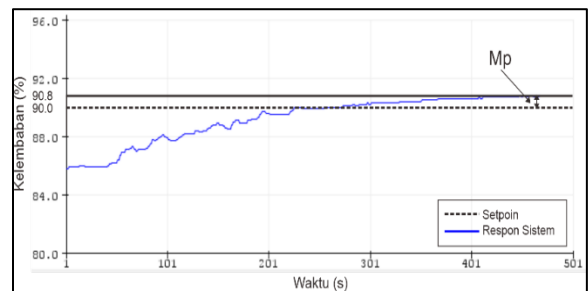
GAMBAR 17. Respon Sistem Dengan Setpoint 85%RH (Overshoot)

Pada Gambar 18 merupakan respon grafik kondisi steady state yang menghasilkan error sebesar 0,9% RH. Error Steady State dengan diberikan setpoint 85 terjadi pada 700 detik.



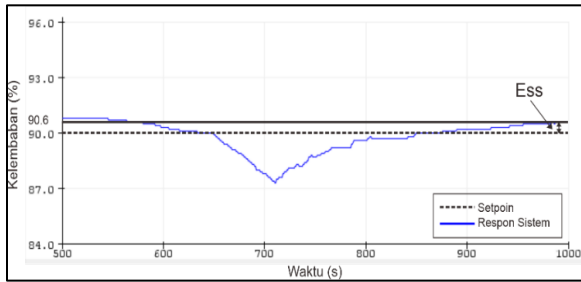
GAMBAR 18. Respon Sistem Dengan Setpoint 85%RH (Error Steady State)

Gambar 19 menunjukkan grafik respon sistem ketika diberikan setpoint 90. Overshoot yang dihasilkan sebesar 0,8% RH. Keadaan maksimum peak atau overshoot terjadi pada 411 detik. Selanjutnya Gambar 20 merupakan respon grafik kondisi steady state yang menghasilkan error sebesar 0,6% RH. Error Steady State dengan diberikan setpoint 85 terjadi pada 993 detik.

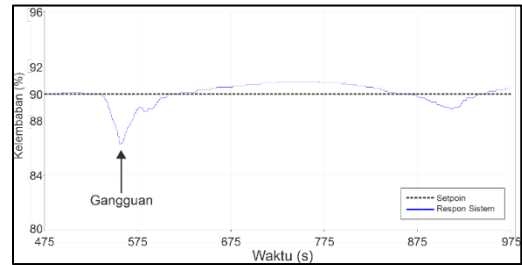


GAMBAR 19. Respon Sistem Dengan Setpoint 90%RH (Overshoot)

Dari grafik hasil respon menggunakan setpoint bervariasi dengan kontrol PID terlihat bahwa setpoint 90% RH lebih stabil dibandingkan menggunakan setpoint yang lainnya. Analisis data hasil respon sistem dengan setpoint bervariasi ditunjukkan pada tabel III berikut.



GAMBAR 20. Respon Sistem Dengan Setpoint 90%RH (Error Steady State)



GAMBAR 21. Respon Sistem Terhadap Gangguan)

Pada tabel IV merupakan hasil percobaan respon sistem dengan perubahan pada setpoint yang diset dari angka 80, 85 dan 90.

TABEL III
HASIL RESPON SISTEM KENDALI KELEMBABAN DENGAN KONTROL PID

No	Keterangan	Rumus	Penyelesaian	Hasil
1	Time delay (t_d)	$\tau \ln 2$	$75,6 \ln 2$	52,4 s
2	Rise time (t_r 5% – 95%)	$\tau \ln 19$	$75,6 \ln 19$	222,59 s
3	Rise time (t_r 10% – 90%)	$\tau \ln 9$	$75,6 \ln 9$	166,11 s
4	Settling time (5%)	3τ	$3(75,6)$	226,8 s
5	Settling time (2%)	4τ	$4(75,6)$	302,4 s
6	Settling time (0,5%)	5τ	$5(75,6)$	378 s

C. Pengujian Respon Menggunakan Kontroler PID dengan Gangguan

Pengujian tahap ini bertujuan untuk menguji ketahanan sistem dengan adanya gangguan. Gangguan di berikan dengan membuka pintu kumbang selama 10 detik. Gambar 21 menunjukkan hasil respon sistem dengan diberikan gangguan.

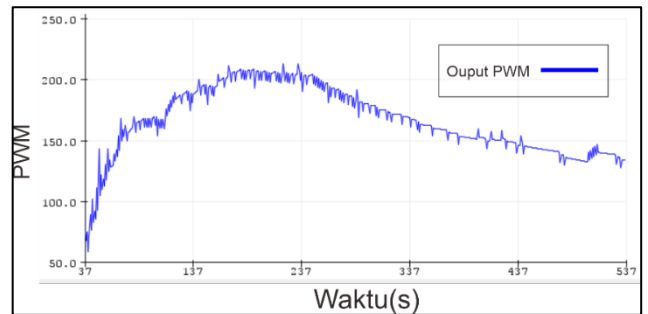
TABEL IV
ANALISIS DATA HASIL PERCOBAAN RESPON SISTEM DENGAN SETPOINT BERVARIASI

XSS (SETPPOINT)	YSS (STEADY-STATE OUTPUT)	Ess (ERROR STEADY-STATE)
80	81,7	1,7
85	85,9	0,9
90	90,6	0,6

Pada saat terjadi gangguan, sistem kontrol PID merespon perubahan kelembaban dengan cepat sehingga perubahan tersebut dapat kembali menuju setpoint dengan baik. Gambar 22 menunjukkan respon output PWM Terhadap kendali kelembaban dengan kontrol PID.

D. Hasil Prototipe Kumbang dan Kalibrasi Sensor

Prototipe penelitian ini, terbuat dari aluminium, yang dimensinya tercantum dalam tabel V. Dua sensor DHT22 mengukur kelembapan dan suhu serta memberikan masukan sistem di dalam kumbang. Sebuah aktuator pemanas dipasang di dalam kandang di samping sensor suhu yang disebut DHT22.



GAMBAR 22. Respon Output PWM Pada Kendali Kelembaban

Dalam rangka mengontrol kecepatan putaran kipas angin di bagian luar gudang, pemasangan kotak plastik dapat menjadi solusi yang efektif. Kotak plastik tersebut akan dilengkapi dengan pengendali utama berupa Arduino uno, serta adaptor dan modul driver L298N. Dengan menggunakan modul driver tersebut, tegangan 12 Volt dari adaptor dapat dikontrol untuk mengatur kecepatan putaran kipas angin. Arduino uno berfungsi sebagai pengontrol utama yang dapat diprogram untuk mengatur kecepatan kipas secara otomatis, berdasarkan input dari sensor suhu atau kelembaban, misalnya. Dengan demikian, solusi ini dapat membantu mengatur suhu atau kelembaban di dalam gudang secara lebih efektif, dengan mengoptimalkan penggunaan kipas angin sesuai dengan kebutuhan. Gambar prototipe kumbang ditunjukkan pada gambar 23. Pada

TABEL V
SPESIFIKASI PROTOTIPE ALAT KUMBUNG

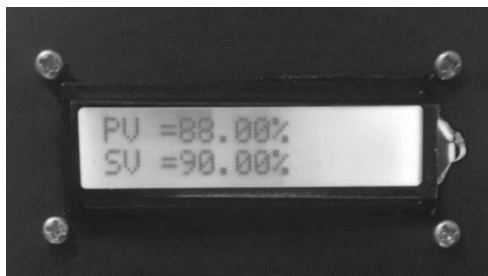
No	DATA ALAT	UKURAN
1	PANJANG	1 METER
2	LEBAR	0.7 METER
3	TINGGI	1,3 METER
4	VOLUME DALAM	7 METER KUBIK
5	JUMLAH BAGLOG	50 BAGLOG

tampilan LCD kendali kelembaban dengan kontrol PID terdapat tampilan bacaan kelembaban (PV) oleh DHT22 dan nilai setpoint (SV) yang merupakan nilai referensi kelembaban yang diinginkan.



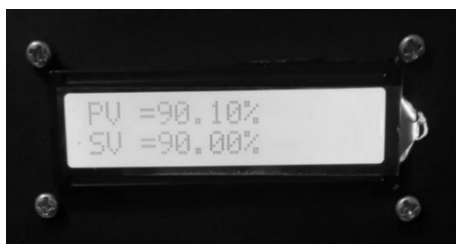
GAMBAR 23. Prototipe Kumbung Jamur

Pada gambar 24 merupakan tampilan kendali kelembaban dengan kontrol PID pada saat pertama kali dinyalakan. Terlihat nilai PV sebelum sistem bekerja terbaca 88%RH sedangkan setpoint (SV) yang diberikan adalah 90%RH.



GAMBAR 24. Tampilan Kelembaban Awal

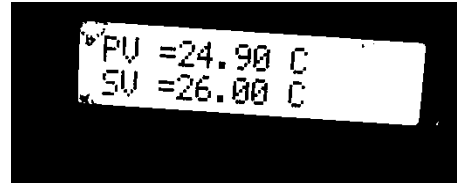
Kondisi kelembaban terhadap setpoint di dalam kumbung pada saat sistem kendali kelembaban pertama kali diaktifkan belum tercapai.



GAMBAR 25. Tampilan Kelembaban Steady State

Pada gambar 25 merupakan tampilan kendali kelembaban dengan kontrol PID pada saat kelembaban telah mencapai keadaan steady state. Terlihat nilai PV kelembaban pada kumbung telah mencapai 90.1%RH. Dengan pemberian setpoint (SV) 90%RH sistem dapat menjaga kestabilan kelembaban.

Pada gambar 26 merupakan tampilan kendali kelembaban dengan kontrol PID pada saat pertama kali dinyalakan. Terlihat nilai PV sebelum sistem bekerja terbaca 24.9°C sedangkan setpoint (SV) yang diberikan adalah 26°C. Kondisi suhu terhadap setpoint di dalam kumbung pada saat sistem kendali suhu pertama kali diaktifkan belum tercapai.



GAMBAR 26. Prototipe Kumbung Jamur

Pada gambar 27 merupakan tampilan kendali suhu dengan kontrol PID pada saat suhu telah mencapai keadaan steady state. Terlihat nilai PV suhu pada kumbung telah mencapai 25.9°C. Dengan pemberian setpoint (SV) 26°C sistem dapat menjaga kestabilan suhu pada kumbung tersebut.



GAMBAR 27. Tampilan Suhu Steady State

Penelitian menunjukkan bahwa budidaya jamur kuping dengan kontrol PID pada titik setel kelembaban dan suhu yang telah ditentukan sebelumnya menghasilkan jamur yang sehat dan berbuah. Meskipun bibit yang diperoleh memiliki usia yang bervariasi, yang menyebabkan perkembangan jamur kuping tidak konsisten. Perangkat suhu dan kelembaban yang dikendalikan PID yang digunakan untuk membudidayakan jamur kuping memberikan hasil yang ditunjukkan pada Tabel VI.

Percobaan respon sistem berdasarkan jumlah baglog di dalam kumbung, bertujuan untuk mengetahui berapa lama sistem mencapai keadaan steady state ketika baglog terisi dengan jumlah tertentu. Percobaan ini dilakukan dengan menjalankan sistem dengan setpoint kelembaban 90 dan suhu 26 ketika kondisi kumbung kosong, terisi 8 baglog, dan terisi 16 baglog. Respon sistem terhadap jumlah baglog dapat ditunjukkan pada tabel VII.

Setelah dilakukan pengujian pada beberapa percobaan sebelumnya ada beberapa yang menjadi kekurangan karena untuk memberi setpoint harus dilakukan manual dimana harus dilakukan melalui debugging lagi pada program Arduino dan dibenamkan ke dalam mikroprosesor tersebut. Adapun ada beberapa yang bisa dikembangkan dalam penelitian selanjutnya dimana bisa ditambahkan aktuator yang digunakan pada pengendalian suhu dapat ditambahkan

dengan peltier pendingin dikarenakan suhu di daerah tropis dapat mengalami perubahan iklim ekstrem pada musim kemarau.

TABEL VI
SPESIFIKASI PROTOTIPE ALAT KUMBUNG

WAKTU PERTUMBUHAN	GAMBAR
MINGGU PERTAMA, BAGLOG DILETAKKAN DIDALAM KUMBUNG TERLIHAT MISELIUM MULAI MEMBENTUK TUBUH BUAH JAMUR.	
MINGGU KEDUA, TUBUH BUAH JAMUR KUPING MEMBESAR DENGAN UKURAN DIAMETER 1CM.	
MINGGU KETIGA TERLIHAT TUBUH BUAH JAMUR KUPING MULAI MEMBENTUK SECARA SEMPURNA.	

Menambahkan keypad agar setpoint dapat diberikan di luar program Arduino. Menerapkan sistem kendali MIMO (Multiple Input-Multiple Output) dimana melibatkan dua variabel dengan satu kontroler. Untuk peneliti lanjut, sebaiknya mengembangkan sistem monitoring dengan menerapkan sistem monitoring secara online atau internet of thing (IoT). Bisa ditambahkan pengendalian suhu dan kelembaban pada kumbung jamur masih bisa dikembangkan dengan mengubah kontroler jenis adaptif, fuzzy logic maupun Jaringan Syaraf Tiruan (JST).

TABEL VII
SPESIFIKASI PROTOTIPE ALAT KUMBUNG

JUMLAH BAGLOG	OUTPUT STEADY STATE		WAKTU STEADY STATE	
	KELEMBABAN (%)	SUHU (°C)	KELEMBABAN (S)	SUHU (S)
0	89,8	26	472	402
8	90,3	26	338	393
16	91,9	26	261	367

V. KESIMPULAN

Pada bagian ini berisi tentang kesimpulan yang diperoleh dari hasil dan pembahasan dari pembuatan prototipe

pengendalian suhu dan kelembaban dengan kontrol PID pada kumbung yaitu:

- Hasil perancangan prototipe kumbung terbuat dari aluminium dengan ukuran 1m x 0,7m x1,3m dengan volume dalam 7m³ dapat menampung maksimal 48-52 baglog.
- Hasil analisa respon kelembaban menggunakan aturan tuning Ziegler-Nichols metode pertama ditemukan Konstanta Kp = 18 mampu mempercepat respon mencapai nilai setpoint, Ki = 1,63 dapat mengurangi overshoot terhadap respon yang dihasilkan, dan Kd = 6,54 mampu memperbaiki respon ketika terjadi perubahan secara mendadak. Dengan diberikan setpoint 85 menghasilkan respon menghasilkan overshoot sebesar 3,1% RH dan Error Steady State sebesar 1,7% RH.
- Hasil analisa respon suhu menggunakan aturan tuning Ziegler-Nichols metode pertama ditemukan Konstanta Kp = 5,09 mampu mempercepat respon mencapai nilai setpoint, Ki = 44,96 mampu mempercepat respon mencapai nilai setpoint, dan Kd = 11,24 mampu memperbaiki respon ketika terjadi perubahan secara mendadak. Dengan diberikan setpoint 26 menghasilkan respon overshoot sebesar 0,7°C dan error steady state sebesar 0,2°C.
- Respon berdasarkan jumlah baglog yang terisi di dalam prototipe kumbung dilakukan dengan memberi setpoint 90 pada kendali kelembaban dan 26 pada kendali suhu. Hasil respon tersebut dengan kondisi kumbung kosong dapat mencapai keadaan steady state pada kelembaban selama 472 detik dan suhu 402 detik. Sedangkan, dengan kondisi kumbung terisi 16 baglog mencapai keadaan steady state pada kelembaban selama 261 detik dan suhu 367 detik.

PERAN PENULIS

- Setya Ardhi:** Penulisan Penyusunan Draf Asli, Penulisan Review & Penyuntingan, Konseptualisasi;
- Tjwanda Putera Gunawan:** Analisis Formal, Investigasi, Administrasi Proyek, Akuisisi Pendanaan, Validasi, Visualisasi;
- Suhatai Tjandra:** Investigasi, Metodologi, Administrasi Proyek, Pengawasan, Validasi, Penulisan Draf Asli Persiapan, Penulisan Review & Editing;

COPYRIGHT



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License.

Daftar Pustaka

[1] Bambang Sampurno, "Sistem Kendali PID pada Pengendalian Suhu untuk Kestabilan Proses Pemanasan Minuman Sari Jagung", *Prosiding Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO) 2015*, Bandung, Indonesia, 10-11 Desember 2015.

- [2] Nicolaus Allu, Salma Salu, "Aplikasi Penalaan Dengan Metode Ziegler- Nichols Di Perancangan Pengendali PID Pada Putaran Motor DC" *Prosiding Seminar Nasional, Sinergitas Multidisiplin Ilmu Pengetahuan dan Teknologi, Vol 1. (April 2018)*. Hal 203-2017.
- [3] K. Sinthipsomboon, "A Hybrid of Fuzzy and Fuzzy self-tuning PID Controller for Servo Electrohydraulic System," 6th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, 2011.
- [4] O. Wahyunggoro and N. B. Saad, "Development of Fuzzy-Logic-Based Self Tuning PI Controller for Servomotor," IEEE 10th Intl. Conf. on Control, Automation, Robotics and Vision Hanoi, Vietnam, 17–20 December 2, 2008.
- [5] Era Purwanto, Mukti Wibowo, Soebagio, dkk . "Pengembangan Metoda Self Tuning Parameter PID Controller Dengan Menggunakan Genetic Algorithm Pada Pengaturan Motor Induksi Sebagai Penggerak Mobil Listrik", *Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi, Yogyakarta* 20 Juni 2009.
- [6] Zaidir Jamal, "Implementasi Kendali Pid Penalaan Ziegler-Nichols Menggunakan Mikrokontroler" *Jurnal Informatika. Vol 15. No. 1 (Juni 2015)*. Hal 81-88.
- [7] Muchroji, Cahyana, Y.A. "Budidaya Jamur Kuping". PT. Penebar Swadaya. Jakarta, 2004.
- [8] Nicolaus Allu, Salma Salu, "Aplikasi Penalaan Dengan Metode Ziegler- Nichols Di Perancangan Pengendali PID Pada Putaran Motor DC" *Prosiding Seminar Nasional, Sinergitas Multidisiplin Ilmu Pengetahuan dan Teknologi, Vol 1. (April 2018)*. Hal 203-2017.
- [9] Ilona Usuman, Fitriyaningsih. "Penerapan Sistem Integrasi Elektronik dan Pengamatan Perlakuan Sifat Jamur Berdasarkan Suhu dan Kelembaban Pada Ruang Tumbuh Jamur likasi RFID untuk Sistem Kuping (*Auricularia Sp*)" *Jurnal IJEIS (Indonesian Journal of Electronics and Instrumentation Systems), Vol.1, No.2, October 2011*, Hal 11~20. ISSN: 2088-3714.
- [10] Bambang Sampurno, "Sistem Kendali PID pada Pengendalian Suhu untuk Kestabilan Proses Pemanasan Minuman Sari Jagung", *Prosiding Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO) 2015*, Bandung, Indonesia, 10-11 Desember 2015.
- [11] Iwan Setiawan, "Kontrol PID Untuk Proses Industri" *PT Elex Media Komputindo*, 2008, ISBN: 978-979-27-4100-1.
- [12] Ogata, Katsuhiko, "Modern Control Engineering" fifth edition. New York PrenticeHall.Inc.
- [13] Karsid dan Rofan Aziz, "Perancangan Kendali PID dengan model Proses Reaction Curve pada Showcase Jamur Merang". *Jurnal Neutrino*, Vol 8, No. 1 pp 1-10, niversitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang, Indonesia, 2015.
- [14] Higuitta, Mahendra Ega dan Hendra Cordova, "Perancangan Sistem Pengendalian Suhu Kumbung Jamur dengan Logika Fuzzy", *Jurnal Teknik POMITS*, Vol 2 (2): 2337-3539, 2013.
- [15] Aosong, "Digital-output Relative Humadity & Temperatue Sensor/module DHT22 or AM2302". Aosong Electronic CO., Ltd. 2012.
- [16] Andi Arifudin, Wahyu Dwi K, "Rancang Bangun Sistem Kontrol Mesin Pengisi Dan Penakar Jamu Semi Otomatis Berbasis Timer dan Sensor Ultrasonik," *2021 JRM Journal*, Vol 06 No. 02, pp 18-25 Universitas Negeri Surabaya, 2021.