Sistem Pengaturan Suhu Boiler pada Sterilisasi Baglog dengan Kontrol PI

Supriatna Adhisuwarnjo¹, Mila Fauziyah², Denda Dewatama³, Kris Witono⁴, Achmad Wildan Maulana^{5*}

^{1,2,3,5}Teknik Elektronika, Politeknik Negeri Malang, Malang, Indonesia

⁴Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang, Malang, Indonesia

(*wildanbareng05@gmail.com)

Abstrak – Jamur tiram (*Pleurotus ostreatus*) merupakan jamur kayu yang tumbuh berderet menyamping pada batang kayu lapuk. Sterilisasi merupakan proses budidaya jamur tiram. Sterilisasi digunakan untuk membunuh mikroorganisme pengganggu yang dapat menghambat pertumbuhan jamur. Boiler adalah salah satu mesin yang memanfaatkan uap air panas untuk proses sterilisasi baglog. Boiler diisi air lalu dipanaskan agar hingga mencapai suhu 80°C - 110°C, lalu uap air akan disuplai ke *steamer* untuk proses sterilisasi. Sistem pengaturan suhu boiler pada sterilisasi baglog dengan metode kontrol PI ini bertujuan untuk menjaga suhu agar tetap pada set *point*. Alat ini memudahkan seseorang untuk memonitoring suhu dalam boiler tanpa harus khawatir jika ada kesibukan yang lainnya. Alat ini dilengkapi dengan sensor suhu *thermocouple* K untuk membaca suhu pada *boiler*, dan motor DC digunakan untuk mengontrol putaran pada katup kompor yang mengatur besar kecilnya api pemanas, lalu LCD 16X2 untuk menampilkan suhu terbaca pada boiler yang dihubungkan ke Arduino UNO R3 sebagai mikrokontroler.

Kata kunci: Arduino UNO R3; *boiler*; motor DC; sterilisasi baglog; *thermocouple* K

I. PENDAHULUAN

Jamur tiram adalah jenis jamur yang cukup populer sebagian besar masyarakat Indonesia (Pranada H, 2012). Jamur banyak digemari karena rasanya yang enak serta mempunyai banyak sekali manfaat untuk Kesehatan (LD Putri, 2020). Terdapat protein dan karbohidrat yang tinggi serta kalori yang rendah. Jamur tiram putih mengandung protein, lemak, fosfor, besi, thiamin dan riboflavin lebih tinggi dibandingkan jenis jamur lain. Mikroelemen yang bersifat logam sangat rendah sehingga aman dikonsumsi setiap hari. Maka untuk dapat menghasilkan jamur tiram yang memiliki kualitas gizi bagus dan baik diperlukan media tanam yang mendukung pertumbuhannya. Media tanam harus memiliki proses sterilisasi jamur yang baik dan benar untuk mencukupi nilai gizinya (Nurjanah S, 2015).

Perkembangan teknologi di zaman ini dapat menjadi pendukung untuk mengembangkan alat sterilisasi baglog. Boiler adalah alat yang mampu merubah air menjadi uap air yang dapat dimanfaatkan tekanan maupun panas dari uap air tersebut. Alat ini memanfaatkan boiler untuk proses pengolahan dan pemanasan dengan memanfaatkan panas dari uap air yang dihasilkan. Dimana boiler ini berisi air, air di dalam boiler dipanaskan sehingga mendidih sampai menghasilkan uap, lalu uap yang dihasilkan akan mengalir ke *streamer* untuk proses sterilisasi baglog. Boiler dan *steamer* menjadi satu kesatuan alat yang digunakan sebagai sterilisasi baglog jamur tiram. Adanya boiler akan mempercepat proses penguapan yang nantinya akan disuplai ke *steamer*.

Proses budidaya jamur saat ini masih mengandalkan sistem yang konvensional yaitu proses menggunakan kayu bakar untuk merebus air dan agar proses pelapukan terjadi secara merata baglog harus dibolak-balikkan secara manual, maka dari itu diperlukan sistem yang dapat menghemat biaya, waktu dan tenaga (Riwandi, R., Merakati, H., & Hasanudin, H, 2014). Sistem kontrol modern untuk sterilisasi baglog jamur saat ini memerlukan metode kontrol suhu yang tepat untuk mengontrol suhu pada boiler. Penelitian ini diambil berdasarkan riset pada mitra, karena di daerah sekitar ingin meningkatkan alat sterilisasi baglog yang semula manual menjadi otomatis dan memperbanyak kapasitas baglog yang akan disterilisasi. Sehingga masyarakat lebih mudah untuk melakukan sterilisasi. Lalu dengan sekali proses sterilisasi mendapat hasil baglog yang lebih banyak dan optimal dari sterilisasi manual. Metode PI bisa menjadi alternatif untuk pengontrolan suhu pada boiler karena dapat mengatur putaran motor pada kompor secara otomatis.

II. STUDI LITERATUR

A. Sterilisasi Baglog

Jamur tiram (*Pleurotus ostreatus*) merupakan jamur kayu yang tumbuh berderet menyamping pada batang kayu lapuk (Wiranto B, 2013). Media tanam jamur tiram atau yang biasa disebut baglog sesudah *terpacking* harus di sterilisasi agar media benar-benar dapat mencukupi kebutuhan nutrisi jamur, karena nantinya nutrisi dari baglog yang akan mempengaruhi pertumbuhan jamur tiram. Sterilisasi media tanam baglog merupakan salah satu proses penting untuk membunuh mikroorganisme pengganggu yang dapat menghambat pertumbuhan jamur (Ramdhani, A. H., Soelistyono, R, 2020). Sterilisasi umumnya dilakukan dengan merebus air di dalam boiler hingga mencapai suhu *setpoint* agar dapat menghasilkan uap. Lalu uap akan didistribusikan ke dalam steamer lewat pipa.

B. Boiler

Boiler atau ketel uap adalah mesin kalor yang berfungsi merubah mengirim energi kimia menjadi energi mekanik. Bentuk boiler adalah seperti bejana tertutup yang bertujuan untuk menghasilkan *steam* atau uap. Boiler pada dasarnya terdiri dari drum yang tertutup pada ujung atas dan biasanya dilengkapi oleh pipa api atau pipa air (Purba J, 2016).

C. Sistem Kendali PI

Kontrol PI merupakan sistem kontrol yang berasal dari gabungan sistem kontrol proposional dan sistem kontrol Integral, dimana kedua sistem kontrol tersebut disatukan untuk mengontrol sebuah plant (Rudiyanto, B., Susanto, A., & Susmiati, Y, 2016). Nilai konstanta tersebut pada sistem PI perlu diatur, karena dengan mengatur nilai konstanta pada masing-masing sistem kontrol yaitu sistem kontrol proporsional dan sistem kontrol integral akan didapatkan hasil pengontrolan yang baik, yaitu *response time* semakin cepat, temperatur lebih stabil, dan proses penentuan nilai konstanta pada sistem kontrol PI. Pada penelitian ini diperoleh berdasarkan proses perhitungan dengan menggunakan metode ke-1 Ziegler-Nichols. Metode Ziegler Metode ke-1 didasarkan pada respon *plant* terhadap masukan tangga dalam kalang terbuka. *Plant* yang tidak mempunyai integrator, menghasilkan kurva tanggapan terhadap masukan tangga seperti kurva huruf S pada Gambar 1. Kurva tanggapan *plant* digunakan untuk mencari waktu tunda L dan konstanta waktu.

Gambar 1. Kurva Tanggapan

D. Motor DC

Motor DC merupakan perangkat yang mengubah tenaga listrik menjadi tenaga kinetik. Motor DC ini dapat disebut juga Motor Arus Searah. Seperti namanya, DC Motor memiliki dua terminal serta membutuhkan tegangan arus DC atau arus searah untuk dapat menggerakkan motor tersebut (Putra M.S, 2019). Motor DC ini menghasilkan putaran per menit atau biasa disebut dengan RPM (*Revolutions per minute*) dan dapat diatur arah berputarnya, berputar searah jarum jam atau berlawanan hanya dengan mengganti polaritas listrik yang diberikan pada Motor DC. Sebagian besar Motor DC dapat memberikan kecepatan rotasi kurang lebih 3000

rpm hingga 8000 rpm dengan tegangan dari 1,5V hingga 24V (Naim M, 2021). Jika tegangan yang diberikan ke Motor DC lebih kecil dari tegangan operasionalnya maka rotasi Motor DC akan menjadi lambat begitupun sebaliknya, jika tegangan yang diberikan lebih tinggi dari tegangan operasional maka rotasi motor DC akan menjadi cepat.

Motor DC tipe 37GB31ZY, dengan spesifikasi sebagai berikut.

- 1) *Shaft* diameter 6mm *D-shaped shaft*
- 2) Perbandingan *Gear*: 1:56
- 3) *Speed*: 110RPM
- 4) *Power Consumption Standard*: $\leq 1A$
- 5) *Torque*: 11.2kgcm

Motor DC pada alat ini akan digunakan untuk mengontrol putaran kompor sesuai dengan *setpoint* suhu yang sudah ditentukan.

Gambar 2. Motor DC

III. METODOLOGI

A. Diagram Blok Sistem

Dalam blok diagram ini terdapat blok input, proses, output. Dalam blok input terdapat sensor suhu *Thermocouple K* dan *driver* MAX6675 untuk mengkonversi keluaran *thermocouple* menjadi tegangan agar dapat di proses oleh Arduino Uno. Dan di blok output terdapat *driver* IBT 2 untuk memproses putaran kanan dan kiri pada motor DC, karena jika motor DC tidak menggunakan *driver* maka motor DC tidak bisa berputar ke kanan dan ke kiri. LCD untuk *display* tampilan suhu yang terbaca pada boiler dan *setpoint* suhu.

Gambar 3. Diagram blok sistem

B. Perancangan Mekanik Boiler

Boiler dibuat dari besi untuk bisa bertahan dengan suhu dan tekanan air yang tinggi. Boiler ini dilengkapi dengan *sight glass water level* untuk mengetahui level air pada boiler, lalu *pressure gauge* untuk mengetahui tekanan di dalam boiler, serta *safety valve* untuk membuang tekanan berlebih pada boiler.

Gambar 4. Mekanik boiler

Sebelum boiler mensuplai uap, air dipanaskan terlebih dahulu sampai suhu *setpoint* atau 80°C - 110°C . Lalu setelah suhu mencapai *setpoint* uap air akan disuplai ke steamer. Jika steamer belum membutuhkan suplai air dari boiler, maka uap akan dikeluarkan terlebih dahulu melalui *safety valve* agar tidak terjadi tekanan yang berlebih.

C. Perancangan Software

Sebelum membuat *software* atau *coding* di dalam Arduino, langkah awal yang dilakukan adalah merancang *flowchart* seperti pada Gambar 5.

Gambar 5. Flowchart

Pada *flowchart* ini menjelaskan kinerja boiler. Ketika alat dinyalakan, lcd akan menampilkan suhu yang terbaca pada boiler dan *setpoint* suhu yang sudah ditentukan. Apabila suhu terbaca kurang dari suhu *setpoint* maka motor dc akan berputar CCW dan api akan membesar. Lalu ketika suhu terbaca lebih dari *setpoint* maka motor dc akan berputar CW dan api akan mengecil.

D. Perancangan Elektronik

1) Perancangan Sensor Suhu *Thermocouple K*

Termokopel tipe K adalah jenis termokopel yang paling umum. Sensor suhu ini mempunyai rentang suhu yang luas antara -200 – 900 C. *Thermocouple K* disambungkan ke pin + dan – pada MAX6675, lalu pin pada MAX6675 disambungkan pada Arduino dengan pin sebagai berikut, (-) Pin VCC ke 5V Arduino, (-) Pin GND ke GND Arduino, (-) Pin SO ke pin 4 Arduino, (-) Pin CS ke pin 5 Arduino, (-) Pin SCK ke pin 6 Arduino.

Gambar 6. Rancangan *Thermocouple K*

2) Perancangan Kontrol PI

Kontroler PI memiliki 2 parameter yang berpengaruh pada kinerja kontroler ini yaitu konstanta proposional (K_p), konstanta integral (K_i). Pada perancangan kontroler menggunakan *tuning* parameter *Ziegler-Nichols* metode pertama. Langkah pertama yang dilakukan adalah mengambil respon dari *plant* dapat diperoleh secara eksperimental dengan masukan unit step, untuk mendapatkan nilai T_u dan T_a . Hasil Simulasi didapatkan model sistem yang telah didesain maka dapat ditentukan L dan T dari kurva respon. Setelah didapatkan fungsi alih dari unit step Langkah selanjutnya adalah menghitung nilai K_p , T_i , dan T_d sesuai dengan aturan *Ziegler-Nichols*.

$$K_p = 1,2 T/L$$

$$T_i = 2L$$

Nilai K_i didapatkan menggunakan perhitungan $K_i = K_p/T_i$

Tabel 1
Parameter Pi dengan metode kurva *Ziegler-Nichols*

Tipe Kontroler	K_p	K_i
P	T/L	$\sim$
PI	$0,9T/L$	$L/0,3$

Untuk pengambilan kurva respon *plant* dengan memberi masukan *setpoint* (*unit step*). nilai *setpoint* yang akan dipakai harus ditentukan terlebih dahulu sebelum mencari grafik respon. Dalam perancangan sistem kontrol PI menggunakan *setpoint*. Hasil pengujian respon suhu terhadap waktu dapat dilihat pada gambar di bawah ini.

Gambar 7. Kurva respon

Menurut respon grafik perubahan suhu terhadap waktu diperoleh data:

$$\begin{aligned} T &= 1088s \\ L &= 139s \\ K_p &= 1.2 \times T/L \\ &= 1.2 \times (1088/139) \\ &= 9,39 \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} T_i &= 2 \times L \\ &= 2 \times 1088 \\ &= 2176 \end{aligned} \quad (2)$$

Parameter kontrol PI plant sebagai berikut:

$$\begin{aligned} K_p &= 9,39 \\ K_i &= K_p / T_i \\ &= 9,39/2176 \\ &= 0,0043 \end{aligned} \quad (3)$$

Dengan menggunakan metode kurva reaksi Ziegler-Nichols maka didapatkan hasil tuning parameter PI yaitu $K_p = 9,39$, $K_i = 0,0043$

3) Perancangan Rangkaian Motor DC

Motor DC disini digunakan untuk memutar regulator gas sesuai dengan suhu yang terbaca. Motor DC menggunakan *driver* BTS7960 untuk koneksi ke Arduino Uno dengan pin sebagai berikut, (-) + Motor DC ke pin M+ pada *driver*, (-) - Motor DC ke pin M- pada *driver*, (-) V+ *driver* ke *Power Supply* + (-) V- *driver* ke *Power Supply* -, (-) Pin VCC *driver* ke 5V Arduino, (-) Pin GND *driver* ke GND Arduino, (-) Pin RPWM *driver* ke pin 9 Arduino, (-) LPWM *driver* ke pin 10 Arduino, (-) Pin R_EN *driver* ke pin 11 Arduino, (-) Pin L_EN *driver* ke pin 12 Arduino.

Gambar 8. Rancangan motor DC

IV. HASIL DAN DISKUSI

A. Pengujian Sensor Suhu

Pada pengujian sensor suhu pertama kali sensor dikalibrasi. Suhu terbaca di sensor suhu dibandingkan dengan suhu terbaca di termometer. Data pengujian ini dilakukan dengan mengambil data berdasarkan kenaikan suhu setiap 5°C.

Tabel 2
Pengujian sensor suhu *thermocouple* K

No	<i>Thermocouple</i> K (°C)	Termometer (°C)	Error (%)
1	27,5	27,1	0,3
2	32,25	32	0,25
3	37,25	36,9	0,35
4	42,75	42,4	0,35
5	47	47	0
6	52,5	52,2	0,3
7	57,5	57,2	0,3
8	62,25	61,9	0,35
9	67	67	0
10	72,75	72,4	0,35
Rata-rata error			0,255

Hasil pengujian sensor *thermocouple* K dibandingkan dengan termometer dan menggunakan program untuk menampilkan suhu terbaca pada LCD menunjukkan bahwa pembacaan sensor *thermocouple* K dikatakan baik karena masih memiliki rata-rata error 0,255%.

B. Pengujian Motor DC

Pengujian *driver* motor BTS7960 dan motor DC bertujuan untuk memastikan *driver* ini berjalan dengan baik atau tidak. Untuk pengujian *driver* motor ini dilakukan dengan memberi PWM pada *driver* motor, lalu diukur tegangan yang dikeluarkan oleh *driver* motor yang nantinya akan menggerakkan motor DC sesuai besar tegangan yang dikeluarkan

Tabel 3
Pengujian Motor DC

No	PWM	Kondisi	
		Motor	Tegangan Output
1	0	Mati	0 V
2	50	Nyala	2.2 V
3	100	Nyala	4 V
4	150	Nyala	6.5 V
5	200	Nyala	9.2 V
6	250	Nyala	11.8 V

Pada Tabel 3 dapat dilihat bahwa motor DC bekerja dengan baik karena *driver* motor mengeluarkan tegangan yang linier dengan pertambahan PWM. Motor DC akan bekerja saat PWM diatur 50 dengan tegangan output 2.2V lalu batas atas motor DC bekerja adalah saat PWM 250 dengan tegangan output 11.8V. Jika motor dc bekerja di tegangan output lebih dari 12V maka motor atau *driver* motor akan mengalami kerusakan.

C. Pengujian Kontrol PI

Pengujian kontrol PI dengan menggunakan nilai $K_p = 9,39$, $K_i = 0,0043$. Hasil dari respon pengujian menggunakan kontroler PI dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4
Pengujian Kontrol PI

No	Waktu (Menit)	Suhu (°)	Posisi Motor DC
1	0	26,5	CCW
2	5	37,5	CCW
3	10	50,75	CCW
4	15	71,25	CCW
5	20	80,25	CCW
6	25	79,5	CCW
7	30	80,5	CCW
8	35	79,25	CCW
9	40	80,25	CW
10	45	77	CCW
11	50	80,25	CW
12	55	79,75	CCW
13	60	26,5	CW
14	65	37,5	CCW
15	70	50,75	CW
16	75	71,25	CCW

Hasil respon grafik dapat dilihat pada Gambar 9.

Gambar 9. Grafik respon kontrol PI

Dapat dilihat pada grafik di atas, Pada saat suhu sudah menyentuh 80°C maka motor dc dengan perlahan berputar untuk mengecilkan api, dan saat suhu lebih dari 80°C motor dc akan berputar untuk membesarkan api. Alat bekerja dengan cukup stabil, hanya saja sedikit terjadi penurunan suhu.

V. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian didapatkan kesimpulan sebagai berikut, Alat sudah berjalan sesuai keinginan, hanya saja ada penurunan yang signifikan ke 77°C tetapi masih dalam batas wajar, karena setelah suhu turun motor langsung merespon cepat dengan membesarkan api dan kembali lagi ke suhu 80°C. Berdasarkan data respon sistem yang diperoleh dari pengujian dengan metode *Ziegler-nichols*, maka parameter kontroler PI dapat ditentukan dengan gain $K_p = 9,39$, $K_i = 0.0043$. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa pengendalian suhu dengan metode kontrol PI menghasilkan respon sesuai dengan yang diharapkan dan mampu diaplikasikan pada sistem pengendalian suhu karena *error* yang didapatkan maksimal sebesar 0.255% dan masih dalam toleransi. Jadi, Motor DC bekerja dengan baik karena *driver* motor mengeluarkan tegangan yang linier dengan penambahan PWM. Dan alat ini berfokus kepada perebusan air untuk menghasilkan uap yang akan disalurkan ke steamer sehingga tidak dibahas tentang pengaruh pada jamur.

DAFTAR PUSTAKA

- Prananda, H. (2012). Prototype Sistem Pengendalian Dan Monitoring Suhu Dan Kelembaban Pada Media Tanam Jamur Tiram Berbasis Logika Fuzzy.
- Putri, L. D. (2020). KAMPUNG JAMUR SEBAGAI BENTUK PEMBERDAYAAN MASYARAKAT DI CIKARAU KELURAHAN DADOK TUNGGUL HITAM KECAMATAN KOTO TANGAH KOTA PADANG. *Comm-Edu (Community Education Journal)*, 3(2), 138-143.
- Nurjanah, S. (2015). *Pengaruh lama waktu inkubasi media terhadap produksi jamur tiram putih (pleurotus ostreatus)* (Doctoral dissertation, IAIN Palangka Raya).
- Witanto, B. (2013). *PEMBUATAN SOSIS JAMUR TIRAM PUTIH (Pleurotus ostreatus Jacq.) DAN TEPUNG REBUNG DENGAN KOMBINASI TEPUNG TAPIOKA DAN KARAGINAN (Eucheuma cottonii Doty.)* (Doctoral dissertation, UAJY).
- Riwandi, R., Merakati, H., & Hasanudin, H. (2014). Teknik Budidaya Jagung Dengan Sistem Organik Di Lahan Marjinal.
- Ramdhani, A. H., & Soelistyono, R. (2020). Pengaruh Lama Pengomposan pada Berbagai Suhu Sterilisasi Media Tanam terhadap Pertumbuhan dan Hasil Jamur Tiram Putih (*Pleurotus ostreatus*). *Jurnal Produksi Tanaman*, 8(3).
- Purba, J. (2016). *Perancangan Boiler Pipa Api untuk Perebusan Bubur Kedelai pada Industri Tahu Kapasitas Uap Jenuh 160 Kg/Jam* (Doctoral dissertation, UNIVERSITAS PASIR PENGARAIAN KABUPATEN).
- Rudiyanto, B., Susanto, A., & Susmiati, Y. (2016). Aplikasi kontrol PI (proportional integral) pada katup ekspansi mesin pendingin. *Rona Teknik Pertanian*, 9(2), 89-105.
- PUTRA, M. S. (2019). *Pengaplikasian Sensor Warna pada Navigasi Line Tracking Robot Sampah berbasis Mikrokontroler* (Doctoral dissertation, Politeknik Negeri Sriwijaya).
- Naim, M. (2021). *Buku Ajar Sistem Kontrol dan Kelistrikan Mesin*. Penerbit NEM.