

**PENERAPAN SISTEM KENDALI *EXPERT* PADA
KUMBUNG JAMUR TIRAM (*Pleurotus Ostreatus*)**

RASMA RAHMAN

G041191091



**PROGRAM STUDI TEKNIK PERTANIAN
DEPARTEMEN TEKNOLOGI PERTANIAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2023**

**PENERAPAN SISTEM KENDALI *EXPERT* PADA KUMBUNG
JAMUR TIRAM (*Pleurotus Ostreatus*)**

RASMA RAHMAN

G041 191091

Skripsi

Sebagai salah satu syarat memperoleh gelar

Sarjana Teknologi Pertanian

Pada

Departemen Teknologi Pertanian

Fakultas Pertanian

Universitas Hasanuddin

Makassar

**PROGRAM STUDI TEKNIK PERTANIAN
DEPARTEMEN TEKNOLOGI PERTANIAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2023**

LEMBAR PENGESAHAN

PENERAPAN SISTEM KENDALI *EXPERT* PADA KUMBUNG JAMUR TIRAM (*Pleurotus Ostreatus*)

Disusun dan diajukan oleh

RASMA RAHMAN

G0411 91 091

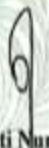
Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Hasanuddin pada tanggal 28 November 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama

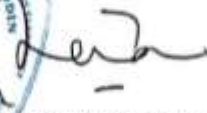
Pembimbing Pendamping


Dr. Ir. Abdul Waris, M.T.
NIP. 19601101 198903 1 002


Dr. Ir. Sitti Nur Faridah, M.P.
NIP. 19681007 199303 2 002

Ketua Program Studi
Teknik Pertanian




Diyah Yumeina, S.TP., M.Agr., Ph.D
NIP. 19810129 200912 2 003

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Rasma Rahman
Nim : G041191091
Program Studi : Teknik Pertanian
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa skripsi dengan judul Penerapan Sistem Kendali *Expert* pada Kumbung Jamur Tiram (*Pleurotus Ostreatus*) ini adalah karya saya sendiri dan tidak melanggar hak cipta pihak lain. Apabila dikemudian hari skripsi karya saya ini membuktikan bahwa sebagian atau keseluruhannya adalah hasil karya orang lain yang saya pergunakan dengan cara melanggar hak cipta pihak lain, maka saya bersedia menerima sanksi.

Makassar, 28 November 2023

Yang Menyatakan,


(Rasma Rahman)

ABSTRAK

RASMA RAHMAN (G041 19 1091). “Penerapan Sistem Kendali *Expert* pada Kumbung Jamur Tiram (*Pleurotus Ostreatus*)”. Pembimbing: ABDUL WARIS dan SITTI NUR FARIDAH.

Budidaya jamur tiram merupakan salah satu sektor pertanian yang banyak diminati oleh para petani, dimana jamur tiram ialah salah satu jamur yang dapat dikonsumsi dengan kandungan gizi serta nutrisi yang tinggi dan memiliki khasiat obat. Jamur tiram dibudidayakan di kumbung jamur yang berfungsi sebagai tempat pelindung jamur dari paparan sinar matahari secara langsung yang dapat merusak tubuh jamur. Pengendalian RH dan suhu ideal jamur tiram para petani biasanya menggunakan *hand sprayer* secara manual pada pagi dan sore hari, tetapi hal tersebut tidak efisien dan kurang efektif karena memakan waktu yang cukup lama serta suhu dan RH yang fluktuatif. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menghasilkan sistem kontrol *expert* yang dapat mengontrol RH pada kumbung jamur tiram. Metode yang digunakan meliputi perancangan kaidah kontrol *expert* untuk pengendalian RH, pembuatan kumbung jamur tiram serta uji kinerja sistem kontrol ke kumbung jamur tiram yang telah dibuat. Adapun parameter yang diamati berupa RH, respon dinamis, respon *steady state*, daya listrik serta keseragaman RH dalam kumbung jamur tiram. Hasil yang diperoleh yaitu kaidah-kaidah kontrol *expert* mampu mengatur daya sehingga *overshot* yang terjadi cukup kecil yaitu 1,11%, *settling time* relatif singkat yaitu 13 menit dan *error steady state* relatif kecil 3,33% masih dalam *range* 2-5%. Penerapan sistem kendali *expert* dapat meningkatkan RH kumbung jamur tiram sampai 90% sesuai kebutuhan pertumbuhan dan perkembangan jamur tiram. Rata-rata penggunaan daya listrik yang digunakan selama satu minggu sebesar 9 Watt dan 7,5 Watt saat RH mencapai *setting point*. Selain itu kontrol *fan* juga berhasil membuat RH pada ruangan seragam, dimana energi yang digunakan untuk mengontrol kumbung jamur tiram selama satu minggu sebesar 2,40 kWh. Estimasi biaya penggunaan listrik dimana harga listrik Rp1.444,70/kWh pada RH ruang 90% ialah 3.467,28/minggu.

Kata Kunci: *Expert*, Jamur, Kumbung, RH.

ABSTRACT

RASMA RAHMAN (G041 19 1091). “Application of Expert Control System for Environmental Control Oyster Mushroom Belly”. Supervisor: ABDUL WARIS and SITTI NUR FARIDAH.

Oyster mushroom cultivation is one of the agricultural sectors that is in great demand by farmers, where oyster mushrooms are one of the mushrooms that can be consumed with high nutritional content and nutrients and have medicinal properties. Oyster mushrooms are cultivated in mushroom barns which function as a protective place for mushrooms from direct sunlight exposure which can damage the mushroom body. Controlling the RH and ideal temperature of oyster mushrooms, farmers usually use hand sprayers manually in the morning and evening, but this is inefficient and ineffective because it takes a long time and the temperature and RH fluctuate. The purpose of this research is to produce an expert control system that can control RH in oyster mushroom barns. The methods used include designing expert control rules for RH control, making oyster mushroom barns and testing the performance of the control system to oyster mushroom barns that have been made. The parameters observed are RH, dynamic response, steady state response, electrical power and RH uniformity in oyster mushroom barns. The results obtained are. The expert control rules are able to regulate the power so that the overshoot that occurs is quite small, namely 1.11%, a relatively short settling time of 13 minutes and a relatively small steady state error of 3.33% still in the range of 2-5%. The application of the expert control system can increase the RH of the oyster mushroom barn to 90% according to the growth and development needs of oyster mushrooms. The average use of electric power used for one week is 9 Watts and 7.5 Watts when RH reaches the setting point. In addition, the fan control also succeeded in making the RH in the room uniform, where the energy used to control the oyster mushroom barn for one week was 2.40 kWh. The estimated cost of electricity use where the electricity price is IDR 1,444.70/kWh at 90% room RH is 3,467.28/week.

Keywords: Expert, Mushroom, Barn, RH.

PERSANTUNAN

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, karena atas rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul Penerapan Sistem Kendali *Expert* pada Kumbung Jamur Tiram. Penulis menyadari bahwa selama proses pembuatan hingga skripsi ini selesai tidak lepas dari dukungan berbagai pihak baik. Pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini terutama kepada:

1. Ayahanda **Abdul Rahman** dan Ibunda **Jumani**, selaku orang tua yang selalu berdoa, sabar, membina dan memberikan motivasi sehingga penulis sampai ke tahap penyelesaian skripsi ini.
2. **Dr. Ir. Abdul Waris, M.T.** selaku dosen pembimbing utama yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan, arahan, kritikan dan ilmunya dalam penyelesaian penelitian ini mulai dari tahap proposal hingga sampai pada tahap penyelesaian skripsi ini.
3. **Dr. Ir. Sitti Nur Faridah, MP.** selaku dosen pembimbing kedua yang juga telah memberikan ilmu dan meluangkan waktunya dalam proses penyelesaian skripsi ini.
4. **Fernando, Sultan Erlangga, dan A. Muhammad Ilham** yang telah membantu selama proses penelitian mulai dari awal hingga selesai.
5. Terima kasih kepada **Rayyanza Malik Ahmad (Cipung)** yang telah menghibur penulis selama penyusunan skripsi.

Makassar, 01 September 2023

Rasma Rahman

RIWAYAT HIDUP



Rasma Rahman, Lahir di Palopo pada tanggal 12 Oktober 2001, merupakan anak ke enam dari tujuh bersaudara oleh pasangan bapak Abdul Rahman dan ibu Jumani. Jenjang pendidikan formal yang pernah dilalui adalah:

1. Menempuh pendidikan pertama di SD 18 Maroangin pada tahun 2007 sampai tahun 2013.
2. Melanjutkan pendidikan sekolah menengah pertama di SMP Negeri 9 Palopo pada tahun 2013 sampai tahun 2016.
3. Melanjutkan sekolah menengah atas di SMA Negeri 2 Palopo pada tahun 2016 sampai tahun 2019.
4. Melanjutkan pendidikan tinggi di Universitas Hasanuddin dan terdaftar sebagai mahasiswa program studi Teknik Pertanian, Departemen Teknologi Pertanian, Fakultas Pertanian pada tahun 2019 sampai tahun 2023.

Selama menempuh pendidikan di bangku perkuliahan, penulis terdaftar sebagai salah satu penerima bantuan beasiswa pendidikan BIDIKMISI dari pemerintah. Penulis juga aktif dalam berorganisasi dan menjadi anggota dari organisasi Himpunan Mahasiswa Teknologi Pertanian (HIMATEPA UNHAS) dan juga pernah menjadi asisten laboratorium beberapa mata kuliah dibawah naungan *Agricultural Study Club (TSC)*.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iv
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
PERSANTUNAN	vii
RIWAYAT HIDUP	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
1. PENDAHULUAN	1
1.2 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan dan Kegunaan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah	3
2. TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Jamur Tiram.....	4
2.2 Kondisi Ideal Jamur Tiram	5
2.3 Kumbung Jamur Tiram.....	6
2.4 Sistem Kontrol.....	6
2.5 <i>Expert System</i> (Sistem Pakar)	8
2.6 Sistem Kontrol <i>Expert</i> (Pakar)	10
2.7 Mikrokontroler	10
2.8 Sensor RH Udara.....	12
2.9 Aktuator	13
2.10 <i>Fan</i>	13
3. METODE PENELITIAN	14
3.1 Waktu dan Tempat.....	14

3.2 Alat dan Bahan	14
3.3 Prosedur Penelitian.....	14
4. HASIL DAN PEMBAHASAN	22
4.1 Deskripsi Kumbung Jamur Tiram	22
4.2 Uji Fungsional.....	23
4.3 Uji Kinerja	26
4.4 Daya listrik yang digunakan	28
5. PENUTUP.....	31
Kesimpulan.....	31
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Jamur tiram	5
Gambar 2. Diagram sistem kontrol lup terbuka.....	7
Gambar 3. Diagram sistem kontrol lup tertutup.....	8
Gambar 4. Struktur dasar kontrol <i>expert</i>	10
Gambar 5. Sensor DHT 11	12
Gambar 6. Rangkaian dalam pada Aktuator SSR	13
Gambar 7. Diagram alir penelitian.....	15
Gambar 8. Model kumbung jamur tiram yang dibuat	15
Gambar 9. Bagan kontrol penelitian	17
Gambar 10. Rangkaian sistem kontrol <i>expert</i> yang diterapkan.....	18
Gambar 11. Diagram pembuatan kontrol <i>expert</i>	18
Gambar 12. Kumbung jamur tiram.....	22
Gambar 13. RH lingkungan	23
Gambar 14. RH ruang atas dan ruang bawah baglog	24
Gambar 15. (a) Selisih RH bawah dan atas baglog terpaut 3% (b) RH bawah dan atas baglog seragam	24
Gambar 16. Respon dinamis dengan menggunakan kontrol <i>expert</i>	25
Gambar 17. Respon <i>transient</i> RH pada kumbung jamur tiap menit	26
Gambar 18. Respon <i>trensient</i> RH pada kumbung jamur tiap menit	26
Gambar 19. Respon <i>stady state</i> RH pada kumbung jamur	27
Gambar 20. Respon <i>stady state</i> RH pada kumbung jamur	27
Gambar 21. Pengulangan satu daya <i>fogger</i> saat kontrol <i>on</i> dengan <i>setting point</i> 90%	28
Gambar 22. Pengulangan dua daya <i>fogger</i> saat kontrol <i>on</i> dengan <i>setting point</i> 90%	28
Gambar 23. kWh meter pengulangan 1 dan 2	29

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Nama dan fungsi bagian-bagian kumbung jamur tiram.....	15
Tabel 2. Dimensi kumbung jamur	16
Tabel 3. Energi listrik dan estimasi biaya pengontrolan kumbung jamur tiram.....	29

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. RH Lingkungan	33
Lampiran 2. Pengukuran Suhu Lingkungan.....	33
Lampiran 3. Pengulangan Satu Respon <i>Stady State</i> RH pada Kumbung Jamur Tiram	34
Lampiran 4. Pengulangan Dua Respon <i>Stady State</i> RH pada Kumbung Jamur Tiram	34
Lampiran 5. Pengulangan Satu Respon Dinamis RH pada Kumbung Jamur Tiram.....	35
Lampiran 6. Pengulangan Dua Respon Dinamis RH pada Kumbung Jamur Tiram.....	37
Lampiran 7. Dokumentasi Penelitian.....	38

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem yang bekerja secara otomatis merupakan salah satu pemanfaatan teknologi dari revolusi industri 4.0 yang banyak digunakan saat ini. Sistem ini bekerja dengan memantau secara *real time* sebuah sistem serta memberikan *output* yang sesuai dengan kebutuhan sistem, sehingga dengan begitu kesalahan dan keakuratan data akan diminimalisir sekecil mungkin (Purba *et. al*, 2021), sehingga akan tercipta sebuah sistem yang begitu efisien dengan berbagai kebermanfaatan. Salah satu sektor yang banyak mengadaptasi sistem ini yakni sektor pertanian (Rachmawati, 2021). Di Indonesia sektor pertanian merupakan sektor yang memegang peran begitu besar terhadap kehidupan masyarakat, hal ini dikarenakan mayoritas Indonesia menggantungkan kehidupan pada bidang sektor pertanian.

Salah satu sektor pertanian yang banyak diminati sekarang yakni budidaya jamur tiram (*Pleurotus Ostreatus*). Menurut Badan Pusat Statistik tahun 2020 tingkat konsumsi jamur di Indonesia mencapai 52.000 ton sedangkan produksinya hanya 30.051 ton. Setiap tahun permintaan jamur tiram meningkat 10% dengan rata-rata harga jual dipasaran 20.000/kg. Jamur tiram sendiri merupakan salah satu jamur yang dapat dikonsumsi dengan kandungan gizi serta nutrisi yang tinggi dan memiliki khasiat sebagai obat (Najmurokhman *et al.*, 2019). Jamur tiram biasanya dikembangkan di dalam rumah budidaya yang biasa disebut kumbung jamur oleh petani, dimana kumbung jamur berfungsi sebagai tempat pelindung jamur dari paparan sinar matahari secara langsung yang dapat merusak tubuh jamur (Saksono dan Suprianto, 2019). Jamur tiram akan tumbuh ideal jika berada pada kondisi yang tepat. Kondisi umum yang mempengaruhi perkembangbiakan jamur tiram adalah suhu dan kelembaban relatif (RH). Kedua faktor inilah yang sering membuat para petani jamur kesulitan mendapatkan hasil yang maksimal (Rachmawati *et.al*, 2022). Hal ini tentu saja diakibatkan oleh perbedaan geografis Indonesia yang mempengaruhi suhu dan RH tiap daerah masing-masing.

Jamur tiram dapat tumbuh dengan baik pada kisaran suhu 16-30 °C dan RH 80-95% (Rachmawati *et al.*, 2022). Upaya untuk menjaga RH dan suhu ideal jamur tiram, petani biasanya melakukan penyiraman menggunakan *hand sprayer* secara

manual pada pagi dan sore hari (Fitriawan dan Kholid, 2020). Upaya ini tentunya tidak efisien dan kurang efektif karena memerlukan waktu yang cukup besar serta suhu dan RH yang fluktuatif. Hal tersebut tentunya akan mengganggu pertumbuhan jamur tiram dan dapat menyebabkan gagal panen. Pengendalian RH yang tepat tentunya akan meningkatkan produktivitas jamur tiram, maka dari itu dirancang sistem kendali yang dapat menstabilkan RH pada kumbung jamur tiram, salah satunya yaitu sistem *expert*. Sistem *expert* merupakan salah satu sistem yang mengadopsi pengetahuan manusia ke komputer, dengan menggunakan bahasa pemrograman tertentu untuk menyelesaikan masalah seperti yang dilakukan oleh para ahli (Rohman dan Ami, 2008). Sistem ini bekerja dengan cara inputan menyerupai ahli sehingga dapat bekerja efisien dan menjaga sistem tetap berada pada kelembaban relatif (RH) yang sesuai secara otomatis.

Berdasarkan uraian di atas, maka perlu dilakukan penelitian mengenai penerapan sistem kendali *expert* pada kumbung jamur tiram sebagai sebuah sistem yang dapat mengontrol RH secara otomatis pada kumbung jamur tiram.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang sebelumnya, maka terdapat beberapa rumusan masalah pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang sistem kontrol RH pada kumbung jamur tiram menggunakan sistem *expert*?
2. Bagaimana kaidah-kaidah kontrol *expert* agar dapat mengendalikan RH pada kumbung jamur tiram?
3. Bagaimana kinerja sistem kontrol *expert* pada kumbung jamur tiram?

1.3 Tujuan dan Kegunaan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini, yaitu menghasilkan sistem kontrol *expert* yang dapat mengontrol RH pada kumbung jamur tiram

Kegunaan dari penelitian ini, sebagai informasi yang dapat dimanfaatkan oleh petani dalam meningkatkan produktivitas jamur tiram serta dapat merancang sistem kontrol *expert* pada kumbung jamur tiram.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini yaitu:

1. Metode kontrol yang digunakan adalah *expert*
2. Penelitian ini berfokus pada jamur tiram.
3. Luas kumbung jamur berukuran 4 m² dengan rincian panjang kumbung 2 m, lebar kumbung 2 m dan tinggi kumbung 1,8 m.
4. Menggunakan media tanam serbuk gergaji kayu.
5. RH *setting point* yang diterapkan adalah 90%.
6. Pengontrolan dilakukan pada kumbung jamur tiram pada fase pembentukan miselium.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Jamur Tiram

Jamur merupakan salah satu bahan pangan alternatif yang sangat digemari oleh lapisan masyarakat. Salah satu jamur yang sangat populer dikonsumsi oleh masyarakat salah satunya jamur tiram yang dimana jamur tiram ini memiliki kandungan protein yang tinggi serta asam amino yang dibutuhkan oleh manusia dan tidak mengandung kolesterol. Jamur tiram merupakan salah satu jamur yang mudah dibudidayakan, dikarenakan lahan yang dibutuhkan tidak luas, serta jamur tiram memiliki nilai ekonomi tinggi yang dimana dijadikan sebagai salah satu komoditas ekspor *non* migas dan sebagai prospektif sumber pendapatan petani (Bakri, 2020).

Jamur tiram merupakan komoditas pangan yang sangat diminati masyarakat, selain karena kandungan nutrisinya yang tinggi, jamur tiram dapat diolah dalam berbagai ragam makanan, seperti oseng-oseng dan keripik. Ditandai semakin banyaknya pelaku usaha yang membudidayakan jamur tiram untuk memenuhi permintaan pasar. Dalam proses pertumbuhan jamur sangat tergantung pada faktor fisik seperti jamur harus berada pada suhu 16-30 °C dan RH 80-95%, pH media tanam serta aerasi (Surya & Rusimamto, 2018).

Jamur tiram biasa disebut sebagai jenis jamur kayu yang dapat dikonsumsi dan termasuk kelompok *basidiomycota* dan kelas *homobasidiomycetes*. Bentuk dari jamur tiram sendiri berbentuk tudung jamur agak membulat, lonjong dan melengkung yang menyerupai cangkang tiram. Jamur tiram mengandung 19-35% protein lebih tinggi dibandingkan pada beras yang hanya sekitar 7,38% dan gandum sekitar 13,2%, serta terdapat 9 asam amino esensial dan istimewa 72% lemak tidak jenuh serta kandungan serat mulai dari 7,4-24,6% yang sangat cocok bagi pencernaan dan cocok bagi pelaku diet. Jamur tiram juga dapat dijadikan sebagai obat seperti obat kolesterol serta kanker. Jamur tiram mengandung senyawa aktif yang dapat digunakan sebagai anti jamur merugikan, anti bakteri dan anti virus serta dapat meningkatkan sistem kekebalan tubuh dan dapat digunakan untuk membunuh serangga. Adapun manfaat dari jamur tiram bagi tubuh manusia antara lain dapat menurunkan kolesterol, sumber antioksidan yang dapat mencegah kanker dan

hipertensi dan pada jamur tiram ditemukan protein, fosfor, lemak, besi riboflavin dan lovastatin (Rosmiah *et al.*, 2020).



Gambar 1. Jamur tiram.
(Sumber: Rosmiah *et al.*, 2020).

2.2 Kondisi Ideal Jamur Tiram

Budidaya jamur tiram cocok dilakukan pada daerah dataran tinggi yang mempunyai udara sejuk dan juga dapat tumbuh pada daratan rendah, jika kondisi jamur dapat disesuaikan. Proses budidaya jamur tiram harus memperhatikan RH dan suhu disekitarnya. Secara umum jamur dapat tumbuh optimal pada suhu 16-30 °C dengan RH udara sekitar 80-95%. Pada saat melakukan budidaya jamur tiram, ada beberapa hal yang perlu dihindari diantaranya hama, angin, hujan dan intensitas cahaya yang terlalu tinggi (Asegab, 2011).

Suhu dan RH merupakan hal yang harus diperhatikan pada saat membudidayakan jamur tiram, karena jika hal tersebut tidak diperhatikan maka produktifitas jamur tiram akan turun dan membuat para petani menjadi rugi, maka dari itu sangat penting untuk memperhatikan dua faktor tersebut. Suhu merupakan suatu besaran yang menunjukkan seberapa panas suatu benda atau lingkungan, semakin tinggi suhu suatu benda atau lingkungan maka semakin panas benda atau lingkungan tersebut. Suhu ideal untuk pertumbuhan jamur tiram adalah 16-30 °C. Sedangkan RH adalah konsentrasi uap air yang ada di udara atau dengan kata lain RH relatif, untuk RH ideal pada pertumbuhan jamur tiram yaitu 80%-95%. RH udara berbanding terbalik dengan suhu udara, dimana semakin tinggi suhu udara maka RH udaranya semakin kecil. Hal tersebut dikarenakan tingginya suhu udara yang akan mengakibatkan terjadi presipitasi molekul (Rahmawati *et al.*, 2022).

2.3 Kumbung Jamur Tiram

Budidaya jamur tiram yang dilakukan di kumbung biasanya dilakukan secara konvensional dimana pengaturan suhu dan RH dilakukan dengan penyemprotan air setiap pagi dan sore hari menggunakan *hand sprayer* (Rahmawati *et.al.*, 2022). Perawatan jamur yang dilakukan dengan metode seperti itu dapat menimbulkan permasalahan pada suhu dan RH. Hal tersebut dikarenakan perlakuan seperti itu hanya memperkirakan suhu dan RH yang dibutuhkan oleh jamur. Jamur tiram dapat tumbuh secara optimal ketika melalui dua fase pertumbuhan diantaranya fase inkubasi dan fase pembentukan yang masing-masing dengan suhu 16-30 °C dengan RH 80-95% kondisi ini sebisa mungkin selalu diterapkan pada usaha budidaya jamur (Fitriawan dan Kholid, 2020).

Proses pembudidayaan jamur tiram dilakukan pada suatu ruang yang disebut dengan kumbung jamur atau biasa disebut rumah jamur. Penempatan kumbung jamur ini diletakkan pada daerah atau lingkungan yang memiliki temperatur antara 16-30 °C dan memiliki tingkat RH 80-95%. Kumbung jamur dibuat dengan tujuan agar dapat menjaga kondisi suhu dan RH sehingga jamur terlindungi dari gangguan luar seperti angin, hama, intensitas sinar matahari yang tinggi, curah hujan sehingga proses pertumbuhan jamur dapat terjaga dengan baik dan tentunya akan meningkatkan produksi jamur tiram dan para petani jamur tiram akan mendapatkan keuntungan dari hasil jamur tiram (Waluyo *et al.*, 2018).

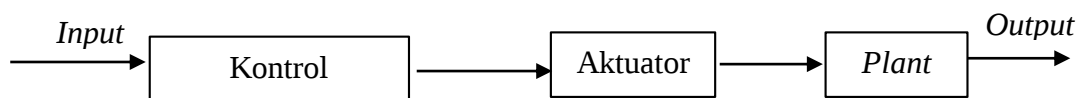
Kumbung jamur atau rumah jamur adalah suatu tempat budidaya jamur yang terbuat dari kayu atau bambu yang dimana pada kumbung jamur terdapat baglog sebagai media tanam untuk meletakkan bibit jamur, untuk merawat baglog tersebut dibutuhkan sebuah dinding papan (Saksono dan Suprianto, 2019).

2.4 Sistem Kontrol

Menurut Bahrin (2017) sistem kontrol otomatis menjadi hal yang sangat perlu untuk diterapkan khususnya dalam bidang pertanian untuk mendukung revolusi industri 4.0. Sistem kendali adalah sistem yang terdiri dari beberapa komponen yang saling terintegrasi satu sama lainnya secara sistematis dan rasional yang memiliki tugas untuk mencapai nilai. Fungsi sistem kendali meliputi :

- a. Menerima *input* dan *output* referensi (sesuai dengan tingkah laku sistem yang diinginkan).
- b. Menerima informasi *output* melalui elemen baik dan membandingkan dengan *output* mengambil suatu keputusan melalui perhitungan-perhitungan yang cukup rumit.

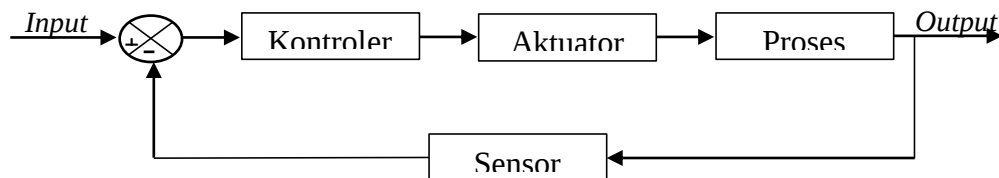
Secara umum sistem kontrol terdiri dari dua jenis sistem yaitu sistem kontrol sistem kontrol lup tertutup (*Closed-loop control system*) atau umpan-balik (*feedback*) dan sistem kontrol lup terbuka (*Open-loop control system*) atau umpan-maju (*feedforward*). Sistem kontrol loop terbuka merupakan sistem kontrol yang dimana kinerjanya tidak terpengaruh terhadap luaran yang diperoleh. Contohnya pada mesin cuci yang mengontrol waktu perendaman, pencucian dan pembilasan akan tetapi tidak mengukur sinyal keluaran seperti kebersihan pakaian. Dengan demikian, untuk setiap masukan referensi terdapat kondisi operasi yang tetap sehingga menyebabkan keakuratan sistem yang bergantung pada hasil kalibrasi. Apabila terdapat *error* maka sistem kontrol *loop* terbuka tidak akan melakukan tugas yang diinginkan. Kontrol *loop* terbuka dapat beroperasi hanya apabila hubungan antara *input* dan *output* diketahui dan jika tidak ada gangguan internal maupun eksternal, sehingga sistem *loop* terbuka bukan merupakan sistem kontrol umpan balik (Ogata, 1997).



Gambar 2. Sistem kontrol lup terbuka.
(Sumber: Ogata,1997).

Sistem kontrol *loop* tertutup biasanya disebut sebagai sistem kontrol umpan balik. Sistem kontrol *loop* tertutup sinyal kesalahan penggerak merupakan perbedaan antara sinyal *input* dan sinyal umpan balik (ada kemungkinan merupakan sinyal *output* itu sendiri atau fungsi dari sinyal *output* dan turunannya serta integralnya), diumpankan ke pengontrol sehingga dapat mengurangi kesalahan dan membawa *output* sistem ke nilai yang diinginkan. Sistem kontrol *loop* tertutup selalu menyiratkan penggunaan tindakan kontrol umpan balik untuk mengurangi kesalahan sistem (Ogata, 1997).

Sistem *loop* tertutup memiliki keuntungan yaitu penggunaan umpan balik membuat respons sistem relatif tidak sensitif terhadap gangguan eksternal dan variasi internal dalam parameter sistem. Sehingga dapat menggunakan komponen yang relatif tidak akurat dan murah untuk mendapatkan kontrol yang akurat dari pabrik tertentu. Kelemahan sistem *loop* tertutup adalah umumnya lebih tinggi dalam biaya dan daya (Ogata, 1997).



Gambar 3. Sistem kontrol lup tertutup.
(Sumber: Ogata,1997).

2.5 Expert System (Sistem Pakar)

Sistem pakar (*Expert System*) merupakan suatu cabang dari *artificial intelligence* (AI) yang dikembangkan pada pertengahan tahun 1960. *Expert system* (sistem pakar) merupakan sistem yang berusaha mengadopsi pengetahuan manusia ke komputer yang dimana dapat menyelesaikan masalah seperti yang dilakukan oleh para ahli. Sistem *expert* juga dapat diartikan sebagai sistem yang didesain dan diimplementasikan dengan bantuan bahasa pemrograman tertentu untuk dapat menyelesaikan masalah seperti yang dilakukan oleh para ahli. Sistem pakar sendiri disusun oleh dua bagian utama yaitu lingkungan pengembangan dan lingkungan konsultasi, pada lingkungan pengembangan sistem pakar digunakan untuk memasukkan pengetahuan pakar ke dalam lingkungan sistem pakar, sedangkan lingkungan konsultasi digunakan oleh pengguna yang bukan pakar guna memperoleh pengetahuan pakar. Adapun komponen-komponen yang terdapat dalam sistem pakar yaitu *user interface* (antarmuka pengguna), fasilitas penjelasan pengetahuan, akuisisi pengetahuan, mesin *inference*, *workplace*, fasilitas penjelasan dan perbaikan pengetahuan (Mahdalena, 2017).

Pengembangan sistem pakar (*Expert system*) dapat menggunakan beberapa teknik representasi pengetahuan yaitu *rule based knowledge*, *frame based knowledge*, *object based knowledge* dan *case base reasoning*. Adapun salah satu metode yang paling umum untuk merepresentasikan pengetahuan adalah dalam

bentuk tipe aturan If-Then (jika-maka). *Knowledge base* (basis pengetahuan) merupakan hasil akuisisi dan representasi pengetahuan dari seorang pakar untuk penyelesaian masalah. Ada dua bentuk basis pengetahuan yang umum digunakan berupa penalaran berbasis aturan dan berbasis kasus (Mahdalena, 2017).

Mesin inferensi (*Inference engine*) mengarahkan pada pencarian melalui basis pengetahuan yang dimana proses yang akan melibatkan aplikasi aturan inferensi yang disebut pencocokan pola. Pada mesin inferensi terdapat dua sistem yang sering digunakan yaitu runut maju dan runut balik. Runut maju (*forward chaining*) merupakan pendekatan yang dimotori data, pelacakan dimulai dari informasi masukan dan selanjutnya mencoba menggambarkan kesimpulan, dimana pelacakan ke depan mencari fakta yang sesuai dengan bagian *If* dari aturan *If-then*. Adapun mengenai runut balik (*Backward chaining*) yang merupakan strategi pencarian yang arahnya kebalikan dari runut maju. Percobaan fakta atau pernyataan dimulai dari bagian sebalah kanan (*THEN* dulu), dengan kata lain penalaran dimulai dari hipotesis terlebih dahulu dan untuk menguji kebenaran hipotesis harus mencari fakta-fakta yang ada dalam basis pengetahuan (Mahdalena, 2017).

Menurut Negnevitsky (2005), setiap kaidah terbentuk atas dua bagian yaitu bagian *IF*, yang juga disebut *antecedent* (premis atau kondisi) dan bagian *THEN* disebut konsekuen (kesimpulan atau tindakan). Sintaks dasar dari sebuah aturan yaitu:

<i>IF</i>	<kondisi>
<i>THEN</i>	<tindakan>

Pada umumnya, kata kunci *AND* (konjungsi), *OR* (disjungsi), atau campuran keduanya, dapat digunakan untuk menggabungkan banyak anteseden dalam sebuah aturan, seperti contoh berikut:

<i>IF</i>	<kondisi 1>
<i>AND</i>	<kondisi 2>
<i>AND</i>	<kondisi n>
<i>THEN</i>	<tindakan>
<i>IF</i>	<kondisi 1>
<i>OR</i>	<kondisi 2>
<i>OR</i>	<kondisi n>
<i>THEN</i>	<tindakan>

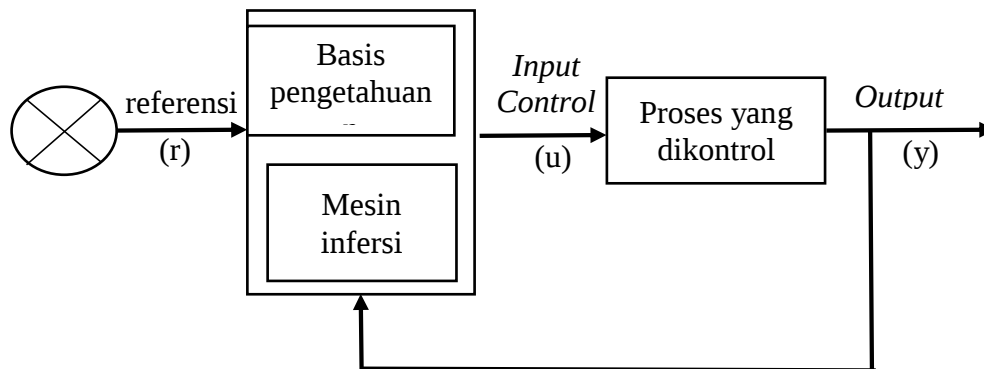
Selain itu konsekuen dari suatu aturan juga dapat memiliki beberapa klausa:

<i>IF</i>	<kondisi>
-----------	-----------

$THEN$ <tindakan1>
 <tindakan 2>
 <tindakan m>

2.6 Sistem Kontrol *Expert* (Pakar)

Penerapan sistem *expert* pada sistem kontrol disebut sebagai sistem kontrol *expert*. Sistem kontrol *expert* merupakan sistem yang terdiri dari estimasi biasa dan algoritma kontrol yang dikombinasi dengan sistem berbasis pengetahuan tentang praktek operasional dan desain. kontrol pakar juga adalah tipe kontrol generik yang memiliki keistimewaan level yang lebih tinggi dibandingkan dengan kontrol tradisional. Keistimewaan ini diperoleh dengan melibatkan pengalaman operator atau pengetahuan dalam loop kontrol. *Expert control* termasuk dalam kelas kontrol cerdas yang lebih umum yang membantu menambah kemandirian sistem seperti sistem kontrol proses, *autonomous vehicles*, sistem robot dan sistem produksi. Kontrol *expert* dapat digunakan untuk prosedur kontrol berbasis model dan meskipun dengan kasus yang tanpa model. Adapun struktur dasar dari kontrol *expert* seperti pada gambar berikut.



Gambar 4. Struktur dasar kontrol *expert*
(Sumber: Negnevitsky, 2005).

Menurut Negnevitsky (2005), sistem *expert* digunakan sebagai pengontrol umpan balik, dimana dibagian dalam dua sub-sistem yaitu:

1. Basis pengetahuan (*knowledge base*) mewakili kaidah dan fakta-fakta
2. *Inference engine* adalah sistem penalaran yang otomatis menilai keadaan sekarang dari basis pengetahuan baru pada basis pengetahuan untuk memutuskan berapa *input* kontrol u dihasilkan untuk proses.

2.7 Mikrokontroler

Mikrokontroler adalah sebuah sistem komputer yang seluruh atau sebagian besar elemennya dikemas dalam satu chip IC, sehingga sering disebut *single chip microcomputer*. Mikrokontroler merupakan sistem komputer yang mempunyai satu atau beberapa tugas yang sangat spesifik. Ukuran mikrokontroler lebih kecil dibandingkan dengan suatu modul PLC sehingga peletakkannya dapat lebih fleksibel. Mikrokontroler telah banyak digunakan pada berbagai macam peralatan rumah tangga seperti mesin cuci. Sebagai pengendali sederhana, mikrokontroler telah banyak digunakan dalam dunia medis, pengaturan lalu lintas dan masih banyak lagi (Abarca, 2021).

Salah satu mikrokontroler yang umum digunakan adalah Arduino. Arduino sendiri merupakan sebuah *board* mikrokontroler yang didasarkan pada ATmega328. Arduino Mega 2560 Menggunakan chip Atmega16u2 yang diprogram sebagai konverter USB *to serial* ini dipilih karena lebih mengkomodir *pin input* dan *output* lebih banyak, untuk menghubungkannya ke sebuah komputer dengan menggunakan sebuah kabel USB atau mensuplainya dengan melalui jack DC menggunakan adaptor 7-12 V DC (Prakasa, 2017).

Menurut Prakasa (2017), bagian-bagian pada Arduino Mega 2560 yaitu:

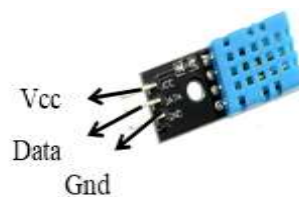
- a) Analog *input*, masing-masing dari 54 digital pin pada Arduino Mega dapat digunakan sebagai input atau output, menggunakan fungsi pin *Mode()*, *digitalWrite()*, dan *digitalRead()*
- b) 5 V, sebuah pin yang mengeluarkan tegangan ter-regulator 5 V, dari pin ini tegangan sudah diatur dari regulator yang tersedia pada papan.
- c) 3,3 V, sebuah pin yang menghasilkan tegangan 3,3 Volt. Tegangan ini dihasilkan oleh regulator yang terdapat pada papan (*on-board*).
- d) VCC merupakan pin yang digunakan sebagai masukan sumber tegangan.
- e) GND merupakan pin untuk *ground*.
- f) XTAL1/ XTAL2, XTAL digunakan sebagai pin *external clock*.
- g) Port A, B, C, D, E, H, dan L merupakan 8 bit port I/O dengan internal *pull up* resistor. Port G merupakan 6 bit port I/O dengan internal *pull up* resistor.
- h) AVCC adalah pin masukan untuk tegangan ADC.
- i) AREF adalah pin masukan untuk tegangan referensi eksternal ADC.

- j) *Reset*, sirkuit *reset* adalah jalur pengaturan program ulang, dimana fitur ini dapat digunakan ketika terdapat kesalahan dalam pemrograman.

2.8 Sensor RH Udara

Sensor RH merupakan alat ukur yang digunakan untuk membantu dalam proses pengukuran atau pendefinisian pada suatu RH uap air yang terkandung dalam udara. Beberapa sensor yang dapat mengukur RH adalah SHT11, DHT11, DHT22, DHT21 serta BME280. Adapun sensor RH yang sering digunakan berupa sensor DHT11 yang merupakan sensor digital yang berfungsi sebagai pengukur suhu dan RH secara bersamaan. Transmisi data dilakukan dengan cara memanfaatkan gelombang radio pada nRF24L01. Modul ini dilengkapi dengan tambahan PA (*Power Amplifier*) dan LNA (*Low Noise Amplifier*) sehingga jarak transfer data dapat semakin jauh dan lebih stabil. Ruang lingkup yang mungkin untuk dijangkau oleh modul ini mencapai radius 100 m pada lapangan terbuka. Dengan teknik pendeteksian sinyal digital yang baik pada suhu dan 10 RH, menghasilkan sensor dapat diandalkan dan memiliki kestabilan jangka panjang. Sensor DHT11 pada umumnya memiliki fitur kalibrasi nilai pembacaan suhu dan RH yang cukup akurat. Penyimpanan data kalibrasi pada memori program OTP yang disebut juga dengan nama koefisien kalibrasi (Shrestha,2019).

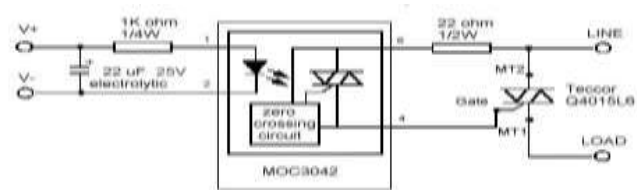
Sensor DHT11 memiliki 2 versi, berupa versi 4 pin dan versi 3 pin, namun tidak ada perbedaan karakteristik dari dua versi tersebut. Pada versi 4 pin, Pin 1 adalah tegangan sumber, berkisar antara 3V sampai 5V. Pin 2 adalah data keluaran. Pin ke 3 adalah pin NC (*normally close*) dimana pin ini tidak digunakan dan pin ke 4 adalah *Ground*. Sedangkan pada versi 3 kaki, pin 1 adalah VCC antara 3V sampai 5V yang berfungsi sebagai sumber tegangan positif, pin 2 adalah data keluaran yang berfungsi untuk mengirimkan sinyal dari sensor menuju NodeMCU dan pin 3 adalah *Ground* yang berfungsi sumber tegangan negatif (Shrestha,2019).



Gambar 5. Sensor DHT 11.
(Sumber: Shrestha,2019).

2.9 Aktuator

Salah satu bentuk aktuator elektronik adalah *solid state relay* yang sebenarnya sama dengan *relay* elektromekanik yaitu sebagai saklar elektronik yang biasa digunakan atau diaplikasikan di industri-industri sebagai *device* pengendali dan dapat digunakan dalam pengontrolan suhu. Ada dua tipe pada *solid state relay* yaitu tipe AC dan DC. Pada *output* menggunakan keluarga thyristor, SCR untuk beban DC dan TRIAC untuk beban AC. *Solid state relay* hanya bisa terjadi pada saat tegangan yang masuk ke *output* pada level yang sangat rendah mendekati nol volt *output* berupa tegangan AC (50 Hz atau 60 Hz). *Solid state relay* ini dibangun dengan isolator untuk memisahkan bagian *input* dan bagian saklar, sehingga dengan *solid state relay* dapat menghindari terjadinya percikan api (Tadeus & Imam, 2018).



Gambar 6. Rangkaian dalam pada Aktuator SSR.

2.10 Fan

Fan berfungsi untuk mengatur aliran udara yang masuk atau keluar pada suatu ruangan atau mendorong udara didalam ruangan untuk dibuang ke luar dan pada saat bersamaan akan menarik udara segar dari luar. Secara umum *fan* dibedakan menjadi kipas AC dan DC, dimana kipas AC menggunakan arus bolak balik yang membalik arah, sedangkan kipas DC menggunakan arus searah. Adapun tombol-tombol yang terdapat pada kipas yaitu *speed*, *timer* dan *move*. Pada kipas terdapat 3 mode level kecepatan yang dilambangkan dengan angka 1,2 dan 3, sedangkan angka 0 kipas mati. Terdapat 3 *speed switch* dalam mengatur kecepatan rendah, sedang dan tinggi, dari masing-masing *switch* tersebut terhubung dengan *run winding* (lilitan utama) yang memiliki nilai resistansi yang berbeda-beda. Semakin besar nilai maka arus yang mengalir semakin besar, maka kipas akan berputar cepat begitu pun sebaliknya. Sisi *aux winding* ditambahkan kapasitor yang berguna untuk menyimpan arus, sehingga kipas dapat berputar serta menunjukkan arah rotasi dari kipas angin (Simanjuntak *et al.*, 2021).