

EVALUASI KINERJA VENTILASI TERHADAP DINAMIKA SUHU DAN KELEMBAPAN RELATIF PADA RUMAH JAMUR MERANG

Evaluation of Ventilation Performance on Temperature and Relative Humidity Dynamics in a Straw Mushroom Farm

Wenny Amaliah*, Guyup Mahardian Dwi Putra, Endang Purnama Dewi, Gagassage Nanaluh
De Side, Ibadias Sholihin, Taufiq Hidayat

Program Studi Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pangan dan Agroindustri Universitas Mataram
Email: wenny2801@unram.ac.id

ABSTRAK

Pengendalian suhu dan kelembapan penting untuk menjaga iklim mikro rumah jamur merang (*Volvariella volvacea*). Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja ventilasi terhadap dinamika suhu dan kelembapan relatif serta perubahan kondisi psikrometrik udara. Penelitian dilakukan secara eksperimental dengan membandingkan kondisi tanpa ventilasi dan ventilasi. Suhu dan kelembapan diukur menggunakan sensor DHT22 pada sembilan titik selama 24 jam dengan interval 30 menit, menghasilkan 49 data pada setiap kondisi. Analisis mencakup empat periode waktu serta parameter tekanan uap, rasio kelembapan, kelembapan absolut, titik embun, margin kondensasi, entalpi, dan vapor pressure deficit (VPD). Ventilasi menurunkan suhu rata-rata dari 28,49 menjadi 27,33 °C dan kelembapan relatif dari 93,27 menjadi 89,09%. Tekanan uap aktual, rasio kelembapan, kelembapan absolut, dan entalpi masing-masing menurun 10,95%, 11,32%, 10,59%, dan 9,00%, sedangkan VPD meningkat dari 0,292 menjadi 0,431 kPa. Hasil menunjukkan bahwa ventilasi menunjukkan adanya perubahan suhu, kelembapan relatif, dan VPD berdasarkan hasil pengamatan deskriptif.

Kata kunci: jamur merang; iklim mikro; ventilasi; psikrometrik; kelembapan; VPD

ABSTRACT

Controlling temperature and humidity is essential for maintaining the microclimate in paddy straw mushroom (*Volvariella volvacea*) houses. This study aims to evaluate the performance of ventilation on the dynamics of temperature and relative humidity, as well as changes in the psychrometric conditions of the air. The research was conducted experimentally by comparing conditions with and without ventilation. Temperature and humidity were measured using DHT22 sensors at nine points over a 24-hour period with 30-minute intervals, yielding 49 data points for each condition. The analysis encompassed four time periods along with parameters including vapor pressure, humidity ratio, absolute humidity, dew point, condensation margin, enthalpy, and vapor pressure deficit (VPD). Ventilation reduced the average temperature from 28.49 to 27.33 °C and the relative humidity from 93.27 to 89.09%. Actual vapor pressure, humidity ratio, absolute humidity, and enthalpy decreased by 10.95%, 11.32%, 10.59%, and 9.00%, respectively, whereas the VPD increased from 0.292 to 0.431 kPa. The results indicate that ventilation leads to changes in temperature, relative humidity, and VPD, based on descriptive observations.

Keywords: paddy straw mushroom; microclimate; ventilation; psychrometrics; relative humidity; VPD

PENDAHULUAN

Jamur merang atau disebut jamur jerami (*Volvariella volvacea*) adalah jamur yang tumbuh di daerah tropis dan subtropis dan memiliki siklus pertumbuhan yang relatif cepat. Namun, salah satu faktor yang menjadi tantangan adalah perlunya pengendalian kondisi lingkungan selama budidaya, karena pertumbuhan jamur merang sangat dipengaruhi oleh iklim mikro di dalam rumah atau kumbung jamur. Siklus pertumbuhan yang relatif pendek dan kondisi lingkungan yang terkontrol pada jamur merupakan bagian penting dari proses perkembangan tubuh jamur (Wang et al 2025). Kondisi ini menunjukkan bahwa perubahan lingkungan di rumah jamur, terutama suhu dan kelembapan, perlu dimonitoring dan dikendalikan selama proses budidaya karena iklim mikro rumah jamur dipengaruhi oleh kondisi lingkungan luar (Wahab et al. 2019).

Jamur merang dapat tumbuh dengan baik pada suhu 30–35°C (Sunandar 2010) dan pertumbuhan jamur dewasa (tahap pembesaran jamur), suhu yang dibutuhkan lebih rendah yakni pada suhu 28–30 °C (Hung et al., 2020). Amaliah et al., (2025) menyampaikan bahwa suhu di dalam rumah jamur berfluktuasi dengan rentang 23–37,9 °C sehingga masih perlu diberikan pengendalian untuk mencapai optimum pertumbuhan jamur merang. Triyono et al., (2019) menyatakan dalam rumah jamur yang dilengkapi sistem *intake* dan *exhaust fan*, kondisi lingkungan dapat dipertahankan pada kisaran suhu 28–33 °C dan kelembapan relatif 80–95%, dengan nilai rata-rata aktual masing-masing sebesar $28,07 \pm 2,25$ °C dan $93,89 \pm 7,06\%$. Pada penelitian tersebut, kipas *exhaust* dioperasikan ketika suhu meningkat sekitar tengah hari dan ketika RH terlalu tinggi pada sore hingga pagi hari. Hal ini menunjukkan bahwa ventilasi memiliki peran penting dalam pemeliharaan kondisi mikroklimat rumah jamur melalui pertukaran udara antara lingkungan internal dan lingkungan eksternal.

Ventilasi mekanis bekerja dengan menarik udara keluar dari suatu ruangan dan memungkinkan udara luar masuk untuk menggantikannya. Proses ini dapat mengakibatkan perpindahan panas dan massa uap air. Seperti yang ditunjukkan oleh Teitel et al. (2010), penggunaan ventilasi mekanis di bangunan budidaya dapat menyebabkan perubahan suhu dan rasio kelembapan sepanjang arah aliran udara. Gradien kondisi mikroklimat cenderung lebih besar sekitar tengah hari ketika intensitas radiasi matahari meningkat. Oleh karena itu, respons ruang budidaya terhadap ventilasi tidak selalu sama sepanjang hari karena dipengaruhi oleh dinamika panas dan kelembapan udara pada setiap periode waktu.

Pendekatan pengendalian iklim mikro dengan kipas angin hisap juga telah diterapkan pada rumah budidaya jamur. Misalnya, Hamid et al. (2025) menerapkan sistem pemantauan dan pengendalian berbasis *Internet of Things* (IoT) di rumah jamur tiram dengan mengintegrasikan sensor suhu dan kelembapan, Arduino, kipas angin hisap, dan pompa air. Sistem yang dikembangkan tersebut dengan menghidupkan aktuator sesuai dengan ambang batas suhu dan kelembapan yang telah ditetapkan. Metode ini menunjukkan bahwa kombinasi ventilasi dan kipas angin hisap dapat digunakan untuk mengontrol suhu dan RH agar kondisi ruang budidaya tetap sesuai kebutuhan pada jamur tiram, tetapi prinsip penggunaan kipas angin hisap dalam mengontrol suhu dan kelembapan menunjukkan pentingnya pertukaran udara dalam mengendalikan iklim mikro rumah jamur.

Penelitian terdahulu mengenai pengendalian mikroklimat rumah jamur umumnya menggunakan suhu dan kelembapan relatif (RH) sebagai indikator utama kinerja sistem ventilasi. Triyono et al. (2019), misalnya, menggunakan *intake* dan *exhaust fan* untuk mempertahankan suhu dan RH rumah budidaya *Volvariella volvacea* pada kisaran yang sesuai, tetapi penelitian tersebut terutama membahas karakteristik media tanam dan produktivitas jamur. Hamid et al. (2025) mengembangkan sistem pemantauan dan pengendalian suhu–kelembapan berbasis *Internet of Things* pada rumah jamur tiram dengan pengoperasian aktuator berdasarkan nilai ambang, sedangkan Teitel et al. (2010) mengevaluasi distribusi suhu, kelembapan, dan CO₂ pada greenhouse dengan ventilasi mekanis. Studi-studi tersebut menunjukkan pentingnya ventilasi dalam pengendalian mikroklimat, tetapi belum secara khusus menjelaskan apakah perubahan RH akibat ventilasi hanya merupakan konsekuensi perubahan suhu atau juga mencerminkan perubahan aktual kandungan uap air dan energi udara di dalam rumah jamur merang.

Keterbatasan tersebut penting karena RH merupakan parameter yang bergantung pada suhu dan tidak secara langsung menunjukkan massa uap air yang terkandung di udara. Oleh karena itu, evaluasi ventilasi hanya berdasarkan suhu dan RH belum dapat menjelaskan secara terpisah proses pelepasan panas, pengeluaran uap air, perubahan kondisi kejenuhan udara, maupun perubahan potensi kondensasi. Penelitian ini mengatasi kesenjangan tersebut dengan mengintegrasikan analisis dinamika mikroklimat 24 jam dan analisis psikrometrik yang mencakup tekanan uap aktual, rasio kelembapan, kelembapan absolut, titik embun, margin kondensasi, entalpi, dan vapor pressure deficit (VPD). Dengan pendekatan ini, respons ventilasi dapat dievaluasi tidak hanya sebagai perubahan suhu dan RH, tetapi juga sebagai proses perpindahan panas, massa uap air, dan energi pada udara lembap di dalam rumah jamur.

Dengan demikian, kontribusi ilmiah penelitian ini terletak pada penggunaan indikator psikrometrik yang saling melengkapi untuk mengidentifikasi mekanisme respons mikroklimat terhadap ventilasi pada rumah jamur merang. Tekanan uap aktual, rasio kelembapan, dan kelembapan absolut digunakan untuk mengevaluasi perubahan kandungan uap air aktual; titik embun dan margin kondensasi digunakan untuk menggambarkan kedekatan udara terhadap kondisi jenuh; entalpi digunakan untuk

mengevaluasi perubahan kandungan energi udara; sedangkan VPD digunakan untuk menggambarkan perubahan potensi pengeringan udara. Selain itu, pembagian pengamatan menjadi empat periode waktu memungkinkan identifikasi kapan ventilasi memberikan respons terbesar dan kapan ventilasi berpotensi menghasilkan kondisi mikroklimat yang terlalu dingin atau terlalu kering bagi budidaya jamur merang.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja ventilasi terhadap dinamika suhu dan kelembapan relatif di rumah jamur merang serta menganalisis perubahan kondisi psikrometrik udara antara kondisi tanpa ventilasi dan dengan ventilasi. Secara khusus, penelitian ini dilakukan untuk menentukan perubahan suhu dan kelembapan relatif selama 24 jam berdasarkan periode waktu serta mengevaluasi perubahan tekanan uap, rasio kelembapan, kelembapan absolut, titik embun, margin kondensasi, entalpi, dan VPD sebagai indikator perubahan kondisi udara lembap di dalam rumah jamur.

METODOLOGI PENELITIAN

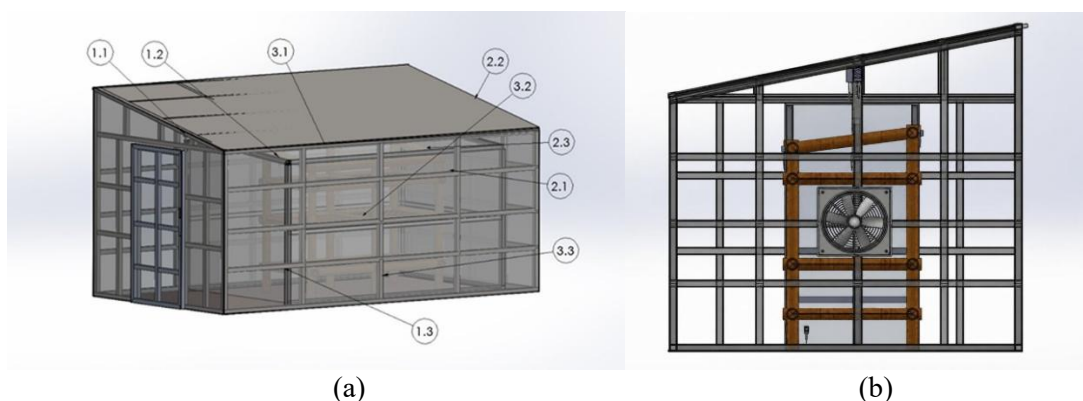
A. Waktu, Kondisi, dan Tempat Percobaan

Penelitian dilaksanakan pada bulan Agustus – September 2025 di rumah budidaya jamur merang yang berlokasi di Laboratorium Teknik dan Konservasi Lingkungan Pertanian, Fakultas Teknologi Pangan dan Agroindustri Universitas Mataram. Berdasarkan pengamatan awal, lingkungan rumah jamur diketahui memiliki suhu minimal 25,8 °C dan suhu maksimal 35,3 °C serta kelembapan minimal 58% dan kelembapan maksimal 98%. Nilai intensitas cahaya minimal 0 lux dan maksimal 1300 lux.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah Sensor DHT22, Arduino Uno, *Shield Data Logger*, LCD 16x2, kabel jumper, *exhaust fan* ukuran 350 mm x 350 mm, dengan spesifikasi: baling-baling yang terdiri dari 5 bilah (daun) berbahan plastik, kapasitas airflow 546 CMH (*Cubic Meters per Hour*), arah aliran udara *reversible*. Adapun bahan yang digunakan untuk media tanam antara lain jerami, dedak, ampas sagu, air beras, air gula, larutan EM4 dan kalsium karbonat, serta bibit jamur merang putih.

B. Rancangan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimental dengan pengambilan data langsung di lapangan melalui pengukuran suhu dan kelembapan menggunakan sensor DHT22 pada rumah jamur merang. Pengambilan data dilakukan pada kondisi sebelum pemasangan ventilasi sebagai kondisi awal, sedangkan kondisi sesudah pemasangan ventilasi digunakan untuk mengevaluasi respons mikroklimat rumah jamur. Ventilasi dengan sebuah *exhaust fan* dipasang pada sisi sebelah timur dengan ketinggian 1,68 meter di atas permukaan tanah dan diletakkan simetris kanan dan kiri. Sketsa rumah jamur merang dan peletakan sensor dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. (a) Sketsa rumah jamur merang, (b) Rumah Jamur tampak belakang dengan *exhaust fan*

Keterangan Gambar 1a:

- Sensor 1.1. Di bagian depan rumah jamur, diatas tengah antara pintu dengan kumbung
- Sensor 1.2. Di bagian atas rak jamur bagian depan (di dalam kumbung jamur)
- Sensor 1.3. Di bagian lantai bawah rak jamur bagian depan (di dalam kumbung jamur)
- Sensor 2.1. Di bagian belakang rumah jamur, disisi luar plastik UV

Sensor 2.2.	Di luar rumah jamur, jarak 30 cm dari kumbung, bagian atas
Sensor 2.3.	Di bagian atas rak jamur bagian belakang (di dalam kumbung jamur)
Sensor 3.1.	Di bagian kiri tengah dan bagian atas (di dalam kumbung jamur)
Sensor 3.2.	Di bagian tengah rumah jamur (rak jamur bagian tengah)
Sensor 3.3.	Di bagian kanan dan bagian tengah lantai bawah (di dalam kumbung jamur)
Sensor LDR	Di luar rumah jamur, bagian belakang

Dalam penelitian ini, kondisi udara dianalisis berdasarkan tekanan uap jenuh, tekanan uap aktual, rasio kelembapan, kelembapan absolut, titik embun, margin kondensasi, entalpi udara, dan defisit tekanan uap (VPD). Parameter tersebut dihitung dari data suhu dan RH untuk memberikan gambaran tentang perubahan kandungan uap air, tingkat kejenuhan, dan kandungan energi udara setelah penggunaan ventilasi. Hal ini sesuai dengan desain analisis dalam penelitian yakni pengamatan 24 jam dibagi menjadi periode malam-pagi, pagi-siang, siang-sore, dan sore-malam sehingga respons ventilasi dapat dilihat berdasarkan dinamika waktu.

C. Parameter Penelitian

Parameter dalam penelitian ini meliputi suhu, kelembapan relatif, dan intensitas cahaya. Data suhu dan kelembapan dicatat secara otomatis menggunakan sensor DHT22 kemudian data tersebut disimpan di dalam *sd card*. Sensor diletakkan di sembilan titik dalam rumah jamur lalu dicatat kondisi suhu dan kelembapan pada kondisi sebelum dan setelah diberikan ventilasi. Pengambilan data dilakukan pada dua hari yang berbeda yaitu sehari saat tanpa ventilasi dan sehari setelah dipasang ventilasi. Parameter suhu sebelum dan sesudah ventilasi dipasang dilakukan selama 24 jam dari pukul 00.00 hingga 23.59 WITA. Begitu pula data kelembapan diambil pada waktu yang sama dengan pengambilan data suhu. Rentang waktu pengambilan data setiap 30 menit, sehingga ada 49 data yang dianalisis.

D. Prosedur Penelitian

Sebelum penelitian dilakukan, terlebih dahulu diukur dimensi rumah jamur merang yang meliputi panjang, lebar, dan tinggi. Selanjutnya, dipersiapkan modul sistem monitoring iklim yang terdiri atas sensor DHT22, mikrokontroler Arduino Uno, Data Logger Shield, dan LCD 16×2. Sistem kemudian diuji untuk memastikan fungsi setiap komponen dan dilakukan kalibrasi sensor. Setelah itu, modul dipasang di dalam rumah jamur pada sembilan titik pengamatan yang telah ditentukan. Komponen yang sensitif terhadap air diberi pelindung karet dan ditutup, sedangkan sensor ditempatkan pada masing-masing titik pengamatan. Data suhu dan kelembapan dicatat setiap 30 menit dan otomatis disimpan pada microSD. Pengamatan dilakukan dalam dua tahap, yaitu sebelum pemasangan ventilasi (tanpa ventilasi) dan setelah pemasangan ventilasi, dengan prosedur pengambilan data yang sama.

E. Analisis Data

1. Analisis dinamika suhu dan kelembapan relative

Analisis dilakukan untuk mengetahui pengaruh ventilasi pada periode yang berbeda, data dibagi menjadi empat periode seperti pada Tabel 1. Pada setiap periode dihitung suhu rata-rata, RH rata-rata, rata-rata penurunan suhu, rata-rata penurunan RH, amplitudo harian, dan standar deviasi.

Tabel 1. Pembagian periode analisis data dinamika suhu dan kelembapan relatif

Periode	Waktu (WITA)
Malam-pagi	00.00–05.30
Pagi-siang	06.00–11.30
Siang-sore	12.00–17.30
Sore-malam	18.00–23.59

2. Analisis psikrometrik

Analisis psikrometrik dilakukan menggunakan data suhu udara dan kelembapan relatif yang diperoleh dari sensor DHT22. Dalam seluruh perhitungan digunakan tekanan atmosfer standar sebesar

101.325 kPa, dan nilai tersebut diasumsikan konstan selama periode pengamatan. Asumsi tekanan yang sama diterapkan pada kondisi tanpa ventilasi dan dengan ventilasi agar perbandingan parameter psikrometrik dilakukan dengan dasar perhitungan yang konsisten. Tekanan uap jenuh dihitung sebagai fungsi suhu udara, sedangkan tekanan uap aktual diperoleh dari tekanan uap jenuh dan kelembapan relatif. Selanjutnya, tekanan uap aktual digunakan untuk menghitung rasio kelembapan dan kelembapan absolut. Titik embun, margin kondensasi, entalpi udara lembap, dan *vapor pressure deficit* (VPD) kemudian dihitung menggunakan hubungan psikrometrik yang sesuai.

a. Tekanan uap jenuh

Merupakan tekanan parsial maksimum yang dapat dihasilkan oleh uap air di udara pada suhu tertentu. Persamaan:

$$P_{ws} = 0,61078 \exp \left(\frac{17,2694T}{T+237,3} \right) \quad (1)$$

Keterangan:

P_{ws} = tekanan uap air jenuh (KPa)

T= suhu udara (°C)

b. Tekanan uap aktual

Merupakan tekanan parsial sebenarnya yang diberikan oleh molekul uap air yang saat ini berada di udara. Persamaan:

$$P_v = \frac{RH}{100} P_{ws} \quad (2)$$

Keterangan:

P_v = tekanan parsial uap air aktual (kPa)

RH= kelembapan relative (%)

c. Rasio kelembapan

Merupakan rasio massa uap air terhadap massa udara kering dalam suatu campuran. Biasanya diukur dalam satuan gram air per kilogram udara kering. Persamaan:

$$W = 0,62198 \frac{P_v}{P - P_v} \quad (3)$$

Keterangan:

W=rasio kelembapan (kg/kg udara kering)

P= tekanan udara total (101,325 kPa)

P_v = tekanan uap aktual, kPa

d. Kelembapan absolut

Merupakan total massa uap air yang terkandung dalam satu satuan volume udara, dinyatakan dalam g/m³. Persamaan:

$$\rho_v = \frac{P_v}{R_v T_K} \quad (4)$$

Keterangan:

ρ_v = masa uap air per satuan volume udara (g/m³)

T_K = suhu udara absolut (K) = T (°C) + 273,15

R_v = konstanta gas spesifik untuk uap air = 0,4615 kPa m³/(kg K)

e. Titik embun

Merupakan suhu di mana udara harus didinginkan (pada tekanan konstan) agar kelembapan relatifnya mencapai 100%. Persamaan:

$$T_{dp} = \frac{237,3\gamma}{17,2694 - \gamma} \quad (5)$$

dengan:

$$\gamma = \ln \left(\frac{RH}{100} \right) + \frac{17,2694T}{237,3 + T} \quad (6)$$

Keterangan:

T_{dp} = suhu titik embun ($^{\circ}\text{C}$)

f. Margin kondensasi

Nilai margin kondensasi (M_c) yang kecil menunjukkan bahwa udara mendekati kondisi jenuh. Sebaliknya, nilai yang lebih besar menunjukkan bahwa suhu udara semakin jauh dari titik embun. Persamaan:

$$M_c = T - T_{dp} \quad (7)$$

g. Entalphi Udara

Merupakan total kandungan energi panas dalam campuran udara dan uap air, yaitu gabungan dari panas sensibel (energi dari suhu udara kering) dan panas laten (energi yang tersimpan dalam uap air). Persamaan:

$$h = 1,006T + W(2501 + 1,86T) \quad (8)$$

Keterangan:

h = entalphi udara lembab (kJ/kg udara kering)

h. Vapor Pressure Deficit (VPD)

Merupakan selisih antara tekanan uap jenuh dan tekanan uap actual. Semakin tinggi VPD, semakin cepat udara menarik kelembapan. Persamaan:

$$VPD = P_{ws} - P_v \quad (9)$$

Dapat ditulis:

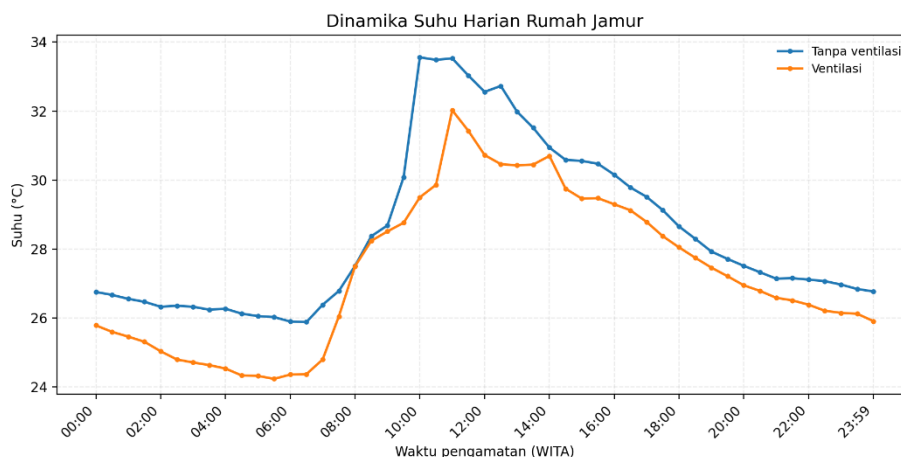
$$VPD = P_{ws} \left(1 - \frac{RH}{100}\right) \quad (10)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Dinamika Suhu dan Kelembapan Relatif

Suhu dan kelembapan relatif merupakan parameter mikroklimat yang berperan penting dalam menciptakan kondisi lingkungan yang sesuai bagi pertumbuhan jamur merang. Secara keseluruhan, kondisi mikroklimat lingkungan di luar sekitar rumah jamur pada saat sebelum dan setelah dipasang ventilasi tidak menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan baik pada parameter suhu maupun kelembapan relatif (RH). Nilai rata-rata suhu udara di luar sekitar rumah jamur pada saat sebelum terdapat ventilasi tercatat sebesar $26,81^{\circ}\text{C}$, hampir identik dengan rata-rata suhu pada saat setelah ada ventilasi sebesar $26,75^{\circ}\text{C}$ dengan selisih rata-rata yang sangat kecil yaitu sebesar $0,06^{\circ}\text{C}$. Begitu juga pada parameter kelembapan relatif di luar rumah jamur, rata-rata RH di saat sebelum terpasang ventilasi berada di angka $77,42\%$ dan kondisi setelah terpasang ventilasi sebesar $75,83\%$ dengan perbedaan rata-rata hanya sebesar $1,59\%$, sehingga kedua hari tersebut berada pada profil kondisi suhu dan kelembapan udara yang relatif seragam dan konsisten.

Berdasarkan data yang telah dianalisis, pemasangan ventilasi menunjukkan adanya perubahan pola suhu dan kelembapan relatif di dalam rumah jamur merang. Secara keseluruhan, suhu rata-rata tanpa ventilasi sebesar $28,49^{\circ}\text{C}$ dan menurun menjadi $27,33^{\circ}\text{C}$ setelah adanya ventilasi, dengan penurunan rata-rata sebesar $1,16^{\circ}\text{C}$. Kelembapan relatif juga mengalami penurunan dari rata-rata $93,27\%$ menjadi $89,09\%$, dengan penurunan sebesar $4,19\%$. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa ventilasi mampu meningkatkan pertukaran udara sehingga sebagian panas dan uap air yang terakumulasi di dalam rumah jamur dapat dikeluarkan ke lingkungan. Fenomena serupa juga terjadi pada lingkungan *greenhouse* yang mengindikasikan penggunaan ventilasi mekanis melalui *exhaust fan* dapat memengaruhi distribusi suhu dan kelembapan udara di dalam bangunan (Cesar et al., 2021; Siskandar et al., 2022). Pertukaran udara melalui ventilasi juga berperan dalam pengendalian kelembapan dengan mengeluarkan udara lembab dari bangunan pertanian (Rahman et al., 2023).



Gambar 2. Dinamika suhu harian pada kondisi tanpa ventilasi dan ventilasi

Perubahan suhu terlihat antara kondisi tanpa ventilasi dan dengan ventilasi pada nilai minimum dan maksimum harian. Tanpa ventilasi, suhu berada pada kisaran 25,89-33,56 °C, sedangkan setelah ventilasi dipasang berada pada kisaran 24,24-32,03 °C. Suhu maksimum berkurang sekitar 1,53 °C, yang menunjukkan kemampuan ventilasi dalam mengurangi akumulasi panas pada periode dengan beban panas yang relatif tinggi. Standar deviasi suhu juga mengalami sedikit penurunan dari 2,37 °C menjadi 2,22 °C, yang mengindikasikan distribusi suhu harian setelah pemasangan ventilasi relatif lebih stabil. Meskipun demikian, amplitudo suhu harian tidak mengalami penurunan, yaitu dari 7,67 °C menjadi 7,79 °C. Hal ini menunjukkan bahwa ventilasi mampu menurunkan suhu secara umum, tetapi belum sepenuhnya mengurangi pola fluktuasi suhu akibat perubahan kondisi lingkungan sepanjang hari. Hasil tersebut sejalan dengan hasil penelitian Villagran et al. (2019) yang menyatakan bahwa adanya peningkatan laju ventilasi pada bangunan pertanian dapat menurunkan suhu di dalam *greenhouse* lebih tinggi.

Pola tersebut sesuai dengan prinsip ventilasi mekanis, yaitu udara panas di dalam ruang dikeluarkan dan digantikan oleh udara dari lingkungan melalui perbedaan tekanan yang dibentuk oleh *exhaust fan*. Efektivitas ventilasi dalam mengendalikan suhu sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan luar dan beban radiasi pada bangunan. Teitel et al. (2010) menunjukkan bahwa gradien suhu pada bangunan budidaya dengan ventilasi mekanis cenderung mencapai nilai tertinggi pada periode sekitar tengah hari, ketika intensitas radiasi matahari meningkat.

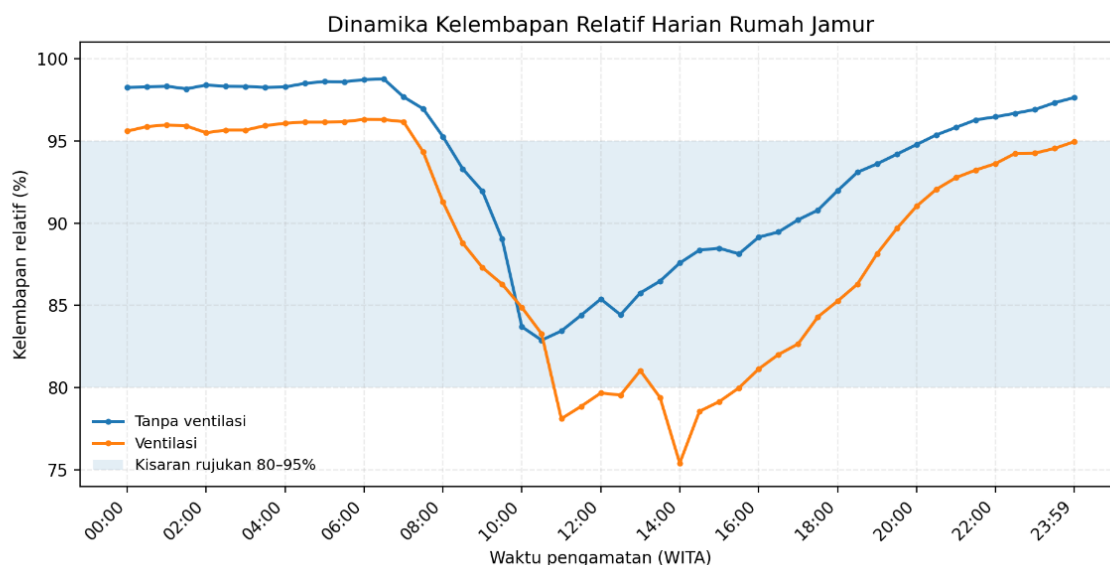
Analisis berdasarkan periode waktu menunjukkan bahwa penurunan suhu terbesar terjadi pada periode pagi–siang (06.00-11.30 WITA). Suhu rata-rata pada periode tersebut menurun dari 29,43 °C menjadi 27,95 °C, atau sebesar 1,48 °C. Penurunan yang hampir sama ditemukan pada periode malam–pagi, yaitu dari 26,35 °C menjadi 24,90 °C atau sebesar 1,45 °C. Pada periode siang–sore, suhu menurun dari 30,83 °C menjadi 29,75 °C dengan penurunan rata-rata 1,07 °C, sedangkan penurunan paling kecil terjadi pada sore–malam, yaitu sebesar 0,65 °C, dari 27,42 °C menjadi 26,78 °C. Pada pengamatan pukul 10.00 WITA, penurunan suhu bahkan mencapai sekitar 4,06 °C, dari 33,56 °C tanpa ventilasi menjadi 29,50 °C setelah pemasangan ventilasi. Hal tersebut menunjukkan bahwa ventilasi mampu mengurangi akumulasi panas saat suhu di rumah jamur meningkat.

Hasil tersebut dapat dibandingkan dengan penelitian Triyono et al. (2019) pada budidaya jamur merang. Rumah jamur pada penelitian tersebut menggunakan kipas pemasukan dan pembuangan udara berdiameter 35 cm, serta mempertahankan kondisi ruang pada suhu sekitar 28-33 °C dan RH 80-95%. *Exhaust fan* terutama digunakan ketika suhu meningkat pada sekitar tengah hari dan ketika RH meningkat pada malam hingga pagi hari. Kondisi rata-rata yang diperoleh pada penelitian tersebut adalah $28,07 \pm 2,25$ °C dan RH $93,89 \pm 7,06\%$. Kondisi budidaya *Volvariella volvacea* dengan suhu tinggi dan kelembapan tinggi juga ditemukan oleh Wang et al. (2025), yang menggunakan suhu ruang sekitar 34 °C dan kelembapan 90% dalam sistem budidaya terkontrol.

Penurunan suhu setelah penggunaan ventilasi menunjukkan bahwa *exhaust fan* meningkatkan perpindahan panas dari ruang budidaya ke lingkungan luar melalui pertukaran udara. Respons ini paling nyata pada periode ketika beban panas internal meningkat, terutama pagi hingga siang hari. Namun,

ventilasi tidak sepenuhnya menstabilkan suhu sepanjang hari karena kondisi termal rumah jamur tetap dipengaruhi oleh perubahan lingkungan luar dan beban radiasi matahari. Oleh karena itu, fungsi utama ventilasi dalam sistem ini lebih tepat dipahami sebagai mekanisme pengurangan akumulasi panas daripada sebagai pengendali suhu yang mempertahankan kondisi konstan.

Dari sudut pandang budidaya jamur, efek ventilasi bersifat menguntungkan ketika suhu ruang mendekati atau melebihi kisaran yang dibutuhkan jamur merang, tetapi pengoperasian terus-menerus dapat menjadi kurang sesuai pada periode malam-pagi. Pada periode tersebut, suhu setelah ventilasi berada di bawah kisaran budidaya yang dilaporkan pada penelitian sebelumnya. Hal ini menunjukkan bahwa kebutuhan ventilasi bersifat *time-dependent* dan sebaiknya dikendalikan berdasarkan kondisi aktual suhu ruang, bukan hanya berdasarkan jadwal operasi tetap.



Gambar 3. Dinamika kelembapan relatif harian pada kondisi tanpa ventilasi dan ventilasi

Perubahan yang lebih jelas terlihat pada kelembapan relatif. Sebelum pemasangan ventilasi, RH berada pada kisaran 82,89-98,76%, sedangkan setelah pemasangan ventilasi kisarannya berubah menjadi 75,41-96,30%. Nilai RH maksimum mengalami penurunan sebesar 2,46 persentase, tetapi penurunan RH minimum lebih besar sehingga rentang fluktuasi RH justru meningkat. Hal tersebut terlihat dari standar deviasi RH yang meningkat dari 5,13% menjadi 6,74%, sedangkan amplitudo harian meningkat dari 15,87 menjadi 20,89%. Dengan demikian, ventilasi efektif dalam menurunkan RH rata-rata, tetapi pada saat yang sama menyebabkan kelembapan relatif menjadi lebih dinamis sepanjang hari.

Perubahan RH menunjukkan respons yang lebih kompleks. Ventilasi menurunkan akumulasi uap air, tetapi pada saat yang sama meningkatkan amplitudo harian RH. Dengan demikian, ventilasi berhasil mengurangi kondisi udara yang terlalu lembap, tetapi belum mampu menciptakan kelembapan yang stabil sepanjang hari. Kondisi ini menjadi penting karena rumah jamur merang membutuhkan kelembapan tinggi, namun RH yang terlalu rendah pada siang hari dapat meningkatkan potensi pengeringan media dan tubuh buah, sedangkan RH yang terlalu tinggi pada malam hari dapat meningkatkan kedekatan udara terhadap kondisi jenuh dan potensi kondensasi.

Ventilasi mekanis pada dasarnya berfungsi meningkatkan laju pertukaran massa udara antara lingkungan dalam dan lingkungan luar bangunan. Oleh karena itu, udara dengan kandungan uap air tinggi di dalam rumah jamur dapat dikeluarkan dan digantikan dengan udara luar. Pada penelitian budidaya jamur merang oleh Triyono et al. (2019), *exhaust fan* juga digunakan untuk mengendalikan RH yang tinggi pada periode tengah malam hingga pagi hari, sedangkan sistem penyemprotan digunakan untuk mempertahankan RH ketika kelembapan terlalu rendah. Pada penelitian berbasis kontrol iklim rumah jamur, Hamid et al. (2025) juga menggunakan *exhaust fan* bersama sistem penambahan kelembapan (*humidifikasi*), dengan pengoperasian aktuator berdasarkan batas suhu dan

RH yang telah ditentukan. Pendekatan tersebut menunjukkan bahwa ventilasi dan humidifikasi perlu bekerja secara terintegrasi untuk menjaga keseimbangan suhu dan kelembapan di dalam ruang budidaya, sebagaimana penerapan aktuator *ventilation fan* dan *fogger* dalam sistem pengendalian mikroklimat *Volvariella volvacea* yang dilaporkan oleh Hamza et al. (2026).

Tabel 1. Analisis dinamika suhu dan kelembapan relative rumah jamur merang

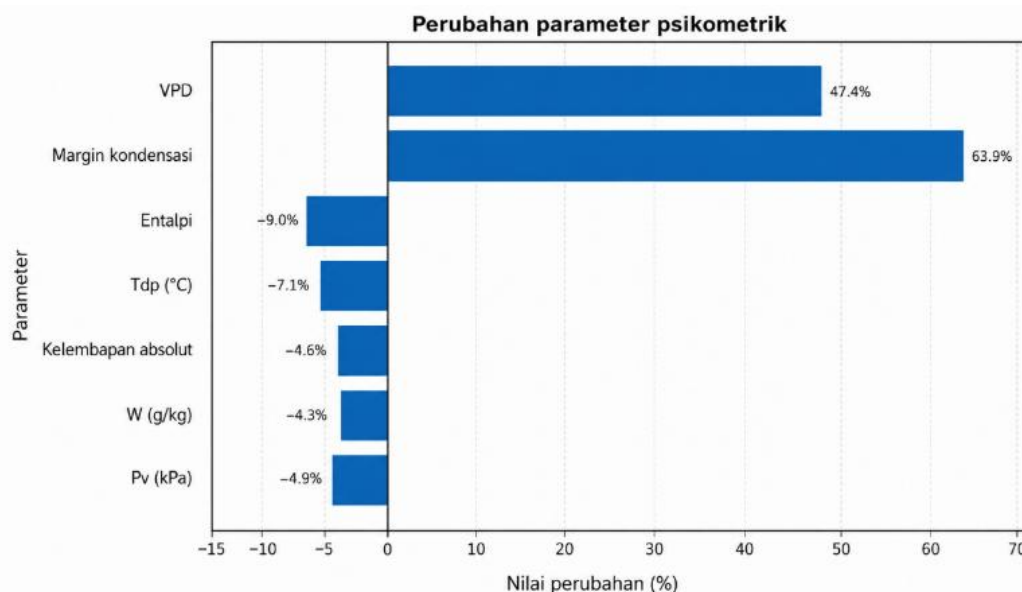
Parameter	Tanpa ventilasi	Ventilasi	Perubahan
Suhu rata-rata (°C)	28,49	27,33	-1,15
Suhu min–mak (°C)	25,89-33,56	24,24-32,03	
SD suhu (°C)	2,37	2,22	-0.15
Ampitudo suhu (°C)	7,67	7,79	0.12
RH rata-rata (%)	93,27	89,09	-4,19
RH min-mak (%)	82,89-98,76	75,41-96,30	
SD RH (%)	5,13	6,74	1.61
Amplitudo RH (%)	15,87	20,89	5.02

Nilai RH rata-rata menggunakan ventilasi sebesar 89,09% masih berada dalam kisaran 80-95% yang masih sesuai untuk budidaya jamur merang pada penelitian Triyono et al. (2019). Namun demikian, nilai minimum sebesar 75,41% menunjukkan bahwa pada periode tertentu ventilasi dapat menyebabkan kondisi ruang lebih kering daripada kisaran tersebut. Sebaliknya, pada malam-pagi RH rata-rata ventilasi masih mencapai 95,88%, sehingga kondisi udara mendekati kondisi jenuh. Dengan demikian, pemasangan ventilasi berhasil menurunkan tingkat kelembapan secara umum, tetapi belum menghasilkan kestabilan RH yang seragam sepanjang hari. Kondisi tersebut menjelaskan peningkatan standar deviasi dan amplitudo RH setelah pemasangan ventilasi.

Secara keseluruhan, pada Tabel 1 menunjukkan adanya dinamika suhu dan RH akibat adanya ventilasi dapat menurunkan suhu dan kelembapan. Ventilasi menurunkan suhu rata-rata sebesar 1,16 °C dan RH rata-rata sebesar 4,19% serta efektif mengurangi suhu tinggi pada pagi–siang dan kelebihan kelembapan pada siang–sore. Namun, meningkatnya amplitudo RH dan ditemukannya suhu malam yang relatif rendah serta RH siang yang mencapai 75,41% menunjukkan perlunya pengaturan operasi *exhaust fan* berdasarkan kondisi aktual iklim. Penggunaan nilai ambang suhu dan RH atau pengoperasian ventilasi secara periodik berpotensi memberikan kondisi yang lebih sesuai dibandingkan dengan pengoperasian ventilasi secara konstan. Secara psikrometrik, RH tidak hanya dipengaruhi oleh jumlah uap air tetapi juga oleh suhu udara. Oleh karena itu, penurunan RH yang terjadi bersamaan dengan penurunan suhu mengindikasikan bahwa ventilasi kemungkinan tidak hanya mengubah kondisi termal, tetapi juga mengeluarkan sebagian kandungan uap air dari rumah jamur.

B. Analisis Psikrometrik

Analisis psikrometrik digunakan untuk menjelaskan perubahan kondisi udara lembap di dalam rumah jamur secara lebih komprehensif. Kelembapan relatif menunjukkan tingkat kejenuhan udara pada suhu tertentu, sedangkan parameter psikrometrik seperti tekanan uap aktual, rasio kelembapan, titik embun, entalpi, dan *vapor pressure deficit* (VPD) dapat memberikan informasi mengenai jumlah aktual uap air, kandungan energi, serta potensi udara untuk menerima atau melepaskan uap air. Menurut ASHRAE (2025), parameter suhu, tekanan uap, rasio kelembapan, kelembapan relatif, dan titik embun saling berkaitan dalam menentukan kondisi termodinamika udara lembap. Secara ringkas perubahan parameter psikometrik dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Perubahan psikometrik pada rumah jamur merang

Berdasarkan perhitungan, pemasangan ventilasi menyebabkan perubahan pada seluruh parameter psikrometrik. Tekanan uap aktual, rasio kelembapan, kelembapan absolut, titik embun, dan entalpi mengalami penurunan, sedangkan margin kondensasi dan VPD mengalami peningkatan. Ventilasi memang meningkatkan VPD dan mengurangi kondisi mendekati jenuh, namun VPD yang berlebihan dapat mengindikasikan pengeringan yang berlebihan, oleh karena itu, VPD harus diinterpretasikan bersama dengan suhu dan RH dalam budidaya jamur merang. Perubahan tersebut sejalan dengan prinsip pengendalian mikroklimat *greenhouse* yang menunjukkan ventilasi menyebabkan pertukaran udara lembap di dalam ruang dengan udara luar sehingga memengaruhi kondisi kelembapan dan VPD (Çaylı & Baytorun, 2021). Tabel 2 memperlihatkan parameter psikrometrik di dalam rumah jamur.

Tabel 2. Psikrometrik udara rumah jamur merang

Parameter	Tanpa ventilasi	ventilasi	Perubahan
Tekanan uap jenuh, Pws (kPa)	3,921	3,662	-0,259
Tekanan uap aktual, Pv (kPa)	3,629	3,231	-0,397
Rasio kelembapan, W (kg/kg udara kering)	0,02311	0,02049	-0,00262
Rasio kelembapan (g/kg udara kering)	23,11	20,49	-2,62
Kelembapan absolut (g/m ³)	26,05	23,29	-2,76
Titik embun (°C)	27,25	25,31	-1,94
Margin kondensasi (°C)	1,24	2,02	0,79
Entalpi (kJ/kg udara kering)	87,68	79,79	-7,89
VPD (kPa)	0,292	0,431	0,139

C. Tekanan Uap Jenuh dan Tekanan Uap Aktual

Tekanan uap jenuh merupakan kemampuan maksimum udara untuk menampung uap air pada suhu tertentu. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa rata-rata tekanan uap jenuh tanpa ventilasi sebesar 3,921 kPa, kemudian menurun menjadi 3,662 kPa setelah ventilasi dipasang. Penurunan sebesar 0,259 kPa (6,60%) tersebut berkaitan dengan penurunan suhu udara rata-rata setelah pemasangan ventilasi. Tekanan uap jenuh memiliki hubungan yang kuat dengan suhu udara dan meningkat secara nonlinier seiring dengan meningkatnya suhu (Shamshiri et al., 2018). Dengan demikian, penurunan tekanan uap jenuh setelah pemasangan ventilasi merupakan akibat dari berkurangnya kondisi termal udara di dalam rumah jamur merang.

Analiss rata-rata tekanan aktual menurun dari 3,629 kPa menjadi 3,231 kPa, atau sebesar 0,397 kPa (10,95%). Tekanan uap aktual menunjukkan tekanan parsial yang dihasilkan oleh uap air yang benar-benar terdapat di udara. Oleh karena itu, penurunan tekanan uap aktual mengindikasikan bahwa

setelah pemasangan ventilasi, kandungan uap air di dalam rumah jamur berkurang, tidak hanya karena adanya perubahan nilai RH dan suhu.

Penurunan tekanan uap aktual paling tinggi terjadi pada periode siang–sore, yaitu dari rata-rata 3,909 kPa menjadi 3,356 kPa atau sebesar 0,553 kPa. Kondisi ini terjadi juga saat penurunan RH terbesar pada periode tersebut. Peningkatan pertukaran udara akibat penggunaan *exhaust fan* memungkinkan udara lembap di dalam rumah yang mengandung jamur dikeluarkan dan digantikan oleh udara dengan kondisi termodinamika yang berbeda dari lingkungan luar. Teitel et al. (2010) menunjukkan bahwa aliran udara pada bangunan budidaya dengan ventilasi mekanis menyebabkan perubahan suhu dan rasio kelembapan sepanjang arah aliran udara, sehingga ventilasi berperan dalam perpindahan panas sekaligus massa uap air.

D. Rasio Kelembapan dan Kelembapan Absolut

Rasio kelembapan menunjukkan massa uap air yang terdapat dalam udara dibandingkan dengan kelembapan relatif. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa rasio kelembapan rata-rata sebelum pemasangan ventilasi adalah 0,02311 kg/kg udara kering atau 23,11 g/kg udara kering, sedangkan setelah pemasangan ventilasi nilainya menurun menjadi 0,02049 kg/kg udara kering atau 20,49 g/kg udara kering. Dengan demikian, pemasangan ventilasi diikuti oleh penurunan rasio kelembapan sebesar 2,62 g uap air/kg udara kering atau sekitar 11,32%.

Kelembapan absolut juga mengalami penurunan, yaitu dari 26,05 g/m³ pada kondisi tanpa ventilasi menjadi 23,29 g/m³ setelah ventilasi digunakan. Penurunan sebesar 2,76 g/m³ atau sekitar 10,59% ini menunjukkan bahwa jumlah uap air yang terkandung di dalam udara rumah jamur turut berkurang. Kondisi ini juga terjadi pada penurunan tekanan uap aktual, *humidity ratio*, dan *absolute humidity* secara bersamaan menunjukkan bahwa perubahan RH setelah ventilasi tidak semata-mata disebabkan oleh penurunan suhu, tetapi juga oleh berkurangnya kandungan uap air aktual di dalam rumah jamur. Temuan ini penting karena RH sendiri merupakan parameter yang bergantung pada suhu. Dengan demikian, penggunaan indikator psikrometrik memberikan bukti yang lebih kuat bahwa ventilasi berperan dalam proses pelepasan massa uap air, bukan hanya dalam pendinginan ruang.

Perubahan rasio kelembapan paling tinggi terjadi pada periode siang–sore. Pada periode tersebut, rasio kelembapan menurun dari 24,96 menjadi 21,31 g/kg udara kering, atau sebesar 3,65 g/kg udara kering. Kelembapan absolut juga menurun dari 27,86 menjadi 24,01 g/m³. Sebaliknya, penurunan paling kecil ditemukan pada periode sore–malam, ketika rasio kelembapan hanya menurun sebesar 1,75 g/kg udara kering. Hal ini menunjukkan bahwa kemampuan ventilasi dalam mengeluarkan uap air berubah sepanjang hari.

Hasil tersebut sesuai dengan penelitian Teitel et al. (2010), yang menunjukkan bahwa *humidity ratio* merupakan salah satu parameter yang berubah sepanjang arah aliran udara pada bangunan budidaya dengan ventilasi menggunakan kipas. Udara yang bergerak melalui ruang budidaya mengalami pertukaran panas dan massa sehingga kandungan uap airnya dapat berubah sesuai dengan sumber kelembapan di dalam bangunan dan kondisi udara yang masuk.

E. Titik Embun dan Margin Kondensasi

Rata-rata titik embun tanpa ventilasi sebesar 27,25 °C, kemudian menurun menjadi 25,31 °C setelah pemasangan ventilasi. Penurunan sekitar 1,94 °C menunjukkan berkurangnya kandungan uap air dalam udara setelah ventilasi dipasang. Secara psikrometrik, pada kandungan uap air yang lebih rendah, udara harus didinginkan hingga mencapai suhu jenuh.

Perubahan titik embun tersebut menyebabkan margin kondensasi meningkat dari rata-rata 1,24 °C menjadi 2,02 °C. Margin kondensasi merupakan selisih antara suhu udara dan suhu titik embun. Semakin kecil selisih tersebut, semakin dekat kondisi udara terhadap kejenuhan, dan semakin besar kemungkinan terbentuknya kondensasi ketika permukaan bangunan atau material memiliki suhu yang lebih rendah daripada suhu udara. Sebaliknya, meningkatnya margin kondensasi menunjukkan bahwa kondisi udara menjadi lebih jauh dari titik jenuh setelah ventilasi dipasang.

Perbedaan yang cukup jelas terlihat berdasarkan periode waktu. Pada malam–pagi, margin kondensasi tanpa ventilasi hanya sebesar 0,28 °C dan meningkat menjadi 0,70 °C dengan ventilasi. Nilai yang relatif kecil pada kedua kondisi menunjukkan bahwa udara dari malam hingga pagi berada sangat dekat dengan kondisi jenuh. Sebaliknya, pada periode siang–sore margin kondensasi meningkat

dari 2,26 °C menjadi 3,78 °C. Nilai maksimum menggunakan ventilasi mencapai 4,86 °C pada pukul 14.00 WITA. Hal ini menunjukkan bahwa pada siang hari ventilasi mampu menjauhkan kondisi udara dari titik jenuh dengan lebih kuat dibandingkan dengan malam hari.

Penurunan titik embun dan peningkatan margin kondensasi menunjukkan bahwa ventilasi menjauhkan kondisi udara dari keadaan jenuh. Kondisi ini berpotensi mengurangi risiko kondensasi pada permukaan bangunan atau media ketika suhu permukaan mendekati titik embun. Namun, respon ini tidak selalu bersifat menguntungkan apabila terjadi secara berlebihan. Pada periode siang–sore, meningkatnya VPD dan turunnya RH menunjukkan bahwa ventilasi dapat menghasilkan kondisi udara yang lebih kering daripada yang dibutuhkan jamur merang.

F. Entalpi Udara

Entalpi udara menggambarkan total energi yang terkandung dalam campuran udara kering dan uap air, yang mencakup panas sensibel dan panas laten. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa rata-rata entalpi sebelum pemasangan ventilasi sebesar 87,68 kJ/kg udara kering dan menurun menjadi 79,79 kJ/kg udara kering setelah pemasangan ventilasi. Penurunan sebesar 7,89 kJ/kg udara kering atau sekitar 9,00% menunjukkan bahwa kondisi setelah pemasangan ventilasi memiliki kandungan energi udara yang lebih rendah. Penggunaan entalpi dan rasio kelembapan sebagai parameter untuk menggambarkan kondisi udara juga diterapkan oleh Linker et al. (2011) dalam pengendalian mikroklimat *greenhouse* karena kedua parameter tersebut dapat merepresentasikan kondisi energi dan kandungan uap air.

Penurunan entalpi terjadi karena kedua komponen penyusunnya mengalami penurunan secara bersamaan. Suhu yang lebih rendah mengurangi komponen panas sensibel, sedangkan penurunan rasio kelembapan mengurangi energi laten yang terkandung dalam uap air. Dengan demikian, hasil entalpi menunjukkan bahwa fungsi ventilasi tidak hanya sebagai mekanisme pengurangan panas, tetapi juga sebagai mekanisme perpindahan energi yang berkaitan dengan pengeluaran udara lembap dari rumah jamur.

Penurunan entalpi terbesar terjadi pada periode siang–sore, yaitu dari rata-rata 94,87 menjadi 84,40 kJ/kg udara kering, atau sebesar 10,47 kJ/kg udara kering. Pada pagi–siang entalpi menurun sebesar 8,74 kJ/kg udara kering, sedangkan pada malam–pagi dan sore–malam masing-masing turun sebesar 7,44 dan 5,15 kJ/kg udara kering. Besarnya penurunan pada siang–sore menunjukkan bahwa pengaruh ventilasi paling nyata dalam membuang kombinasi panas sensibel dan panas laten ketika beban panas dan kandungan uap air ruang relatif tinggi.

Fenomena tersebut sejalan dengan mekanisme ventilasi pada bangunan budidaya, di mana pertukaran udara menyebabkan perpindahan energi dan massa antara lingkungan dalam dan lingkungan luar. Oleh karena itu, perubahan suhu saja belum sepenuhnya menggambarkan perubahan energi yang terjadi akibat ventilasi. Muñoz-Liesa et al. (2022) menunjukkan pentingnya mempertimbangkan perbedaan entalpi udara karena evaluasi yang hanya didasarkan pada perbedaan panas sensibel dapat mengabaikan kontribusi panas laten. Penggunaan entalpi bersama dengan rasio kelembapan memberikan gambaran yang lebih baik mengenai besarnya perubahan kondisi energi udara lembap setelah ventilasi diterapkan.

G. Vapor Pressure Deficit (VPD)

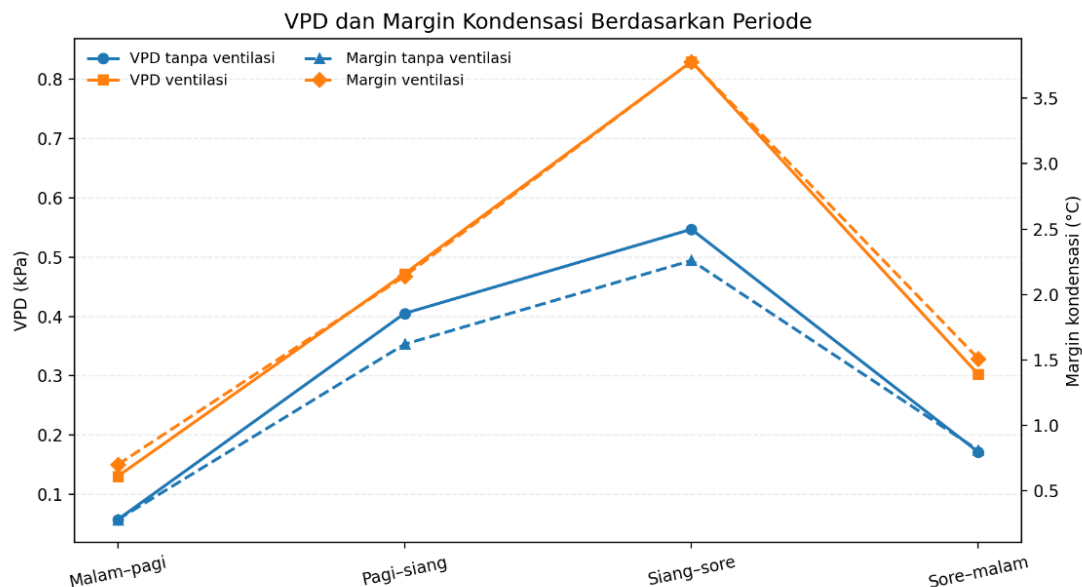
VPD menggambarkan perbedaan antara tekanan uap jenuh dan tekanan uap aktual dan dapat digunakan sebagai indikator potensi udara untuk menerima tambahan uap air. Namun, peningkatan VPD tidak selalu menunjukkan kondisi mikroklimat yang lebih baik bagi jamur merang. *Volvariella volvacea* umumnya dibudidayakan pada kondisi kelembapan tinggi. Triyono et al. (2019) menggunakan kisaran RH 80–95%, sedangkan Wang et al. (2025) melaporkan kondisi budidaya pada kelembapan sekitar 90%. Oleh karena itu, interpretasi VPD perlu dilakukan bersama dengan suhu dan RH, bukan sebagai indikator tunggal kualitas mikroklimat.

Perubahan VPD menunjukkan pola yang berbeda antarperiode (Tabel. 3). Pada malam–pagi, VPD meningkat dari 0,057 menjadi 0,130 kPa, sedangkan pada pagi–siang meningkat dari 0,405 menjadi 0,472 kPa. Peningkatan paling besar ditemukan pada periode siang–sore, yaitu dari 0,547 menjadi 0,830 kPa. Pada periode sore–malam, VPD meningkat dari 0,171 menjadi 0,302 kPa. Nilai VPD maksimum setelah pemasangan ventilasi mencapai 1,086 kPa pada pukul 14.00 WITA, bersamaan dengan kondisi RH minimum setelah pemasangan ventilasi.

Tabel 3. Nilai VPD pada masing-masing periode waktu rumah jamur

Periode	VPD (kPa)		Margin kondensasi (°C)	
	Tanpa ventilasi	Ventilasi	Tanpa ventilasi	Ventilasi
Malam-pagi	0,057	0,130	0,28	0,70
Pagi-siang	0,405	0,472	1,62	2,14
Siang-sore	0,547	0,830	2,26	3,78
Sore-malam	0,171	0,302	0,81	1,51

Pada penelitian ini, ventilasi meningkatkan VPD rata-rata yang menunjukkan bahwa udara menjadi lebih jauh dari kondisi jenuh dan memiliki potensi pengeringan yang lebih besar. Kondisi ini dapat menguntungkan ketika kelembapan udara terlalu tinggi karena membantu mengurangi kejenuhan dan potensi kondensasi. Namun, respons yang terlalu besar dapat menghasilkan kondisi yang terlalu kering. Hal ini terlihat pada pukul 14.00 WITA, ketika VPD mencapai 1,086 kPa dan RH turun menjadi 75,41%, yaitu lebih rendah daripada kisaran RH 80–95% yang digunakan dalam budidaya jamur merang pada penelitian Triyono et al. (2019).



Gambar 5. VPD dan margin kondensasi berdasarkan periode pengamatan.

Jamur merang merupakan spesies tropis yang umumnya dibudidayakan pada kondisi suhu dan kelembapan yang tinggi. Triyono et al. (2019) menggunakan kisaran RH 80–95%, sedangkan Wang et al. (2025) mempertahankan ruang budidaya jamur merang pada suhu 34 °C dengan kelembapan udara 90%. Oleh karena itu, peningkatan VPD melalui ventilasi menunjukkan perbaikan dalam mengurangi kejenuhan udara, namun VPD yang terlalu tinggi pada periode siang perlu dikendalikan agar tidak menyebabkan potensi pengeringan udara berlebihan pada media dan tubuh jamur.

Pada pukul 14.00 WITA, RH menggunakan ventilasi turun hingga 75,41% dan menghasilkan VPD tertinggi sebesar 1,086 kPa. Nilai RH tersebut berada di bawah kisaran 80-95% yang digunakan Triyono et al. (2019) untuk rumah jamur merang. Dengan demikian, peningkatan VPD akibat ventilasi membantu menurunkan kelembapan berlebih dan mengurangi kondisi udara yang terlalu jenuh serta mengakibatkan peningkatan potensi pengeringan. Ventilasi yang terlalu rendah dapat mempertahankan kondisi udara sangat dekat dengan kejenuhan, sedangkan ventilasi yang terlalu intensif pada periode siang dapat meningkatkan potensi kehilangan kelembapan dari media dan tubuh buah. Karena kisaran VPD optimum spesifik untuk jamur merang belum ditetapkan berdasarkan referensi yang digunakan dalam penelitian ini, VPD lebih tepat digunakan sebagai indikator pendukung bersama suhu, RH, dan margin kondensasi dalam menentukan strategi pengoperasian ventilasi.

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan ventilasi diikuti oleh penurunan suhu rata-rata sebesar 1,16 °C dan kelembapan relatif sebesar 4,19%, serta penurunan tekanan uap aktual, rasio kelembapan, kelembapan absolut, titik embun, dan entalpi, disertai peningkatan margin kondensasi dan vapor pressure deficit (VPD). Analisis psikrometrik menunjukkan bahwa perubahan akibat ventilasi tidak hanya terlihat pada suhu dan RH, tetapi juga pada kandungan uap air, kondisi kejenuhan, dan energi udara di dalam rumah jamur merang. Respons ventilasi berbeda menurut periode waktu, dengan penurunan suhu terbesar terjadi pada pagi–siang, sedangkan penurunan RH dan peningkatan VPD paling nyata terjadi pada siang–sore; pada pukul 14.00 WITA, RH turun hingga 75,41% dan VPD meningkat hingga 1,086 kPa, sementara pada malam–pagi suhu rata-rata dengan ventilasi mencapai 24,90 °C. Temuan ini menunjukkan bahwa pengoperasian ventilasi secara terus-menerus tidak selalu sesuai pada seluruh periode waktu, sehingga sistem ventilasi lebih tepat dioperasikan secara adaptif berdasarkan kondisi aktual suhu dan kelembapan, yaitu diprioritaskan ketika terjadi akumulasi panas atau kelembapan berlebih dan dikurangi atau dihentikan ketika suhu menjadi terlalu rendah atau kelembapan menurun di bawah kisaran yang sesuai untuk budidaya jamur merang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Mataram atas fasilitas dan dana yang diberikan melalui PNPB dengan kontrak Nomor 2349/UN18.L1/PP/2025.

DAFTAR PUSTAKA

- Amaliah, A., Putra, G. M. D., Khalil, F. I., Dewi, E. P., Sholihin, I., Hidayat, T. (2025). Rancang bangun sistem pemantauan suhu dan kelembapan udara berbasis Arduino Uno pada kumbung jamur merang. *Jurnal Sains Teknologi & Lingkungan*, 11(1), 91-102.
- ASHRAE. (2025). *ASHRAE Handbook—Fundamentals: Chapter 1 Psychrometrics*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- Çayli, A., & Baytorun, A. N. (2021). Analysis of climate and vapor pressure deficit (VPD) in a heated multi-span plastic greenhouse. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 31(6), 1632-1644. <https://doi.org/10.36899/JAPS.2021.6.0367>
- Cesar, T. Q. Z., Leal, P. A. M., Branquinho, O. C., Miranda, F. A. M. (2021). Wireless sensor network to identify the reduction of meteorological gradients in greenhouse in subtropical conditions. *Journal of Agricultural Engineering*, 52(1). <https://doi.org/10.4081/jae.2020.1105>
- Hamid, A. M., Sumarsono, J., Widhiantari, I. A., & Wardatullatifah S., I. S. (2025). Internet of things (IoT) usage for automatic monitoring and control of air temperature and humidity in an oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) house. *J-AGENT (Journal of Agricultural Engineering and Technology)*, 3(3), 298–304.
- Hamza, H., Rusli, J. R., Amran, A. H. B., Saad, M. S. B., Ahmad, I., Hussain, R., Ramli, N. A., Purnama, I. B. I., Wardana, I. N. K. (2026). An IoT-enabled growth management system with deep learning-based monitoring for *Volvariella volvacea* mushroom cultivation in controlled environments. *Applied Research*, 5(4), 1-19. <https://doi.org/10.1002/appl.70165>
- Hung N. V., Maguyon-Detras M. C., Migo M. V., Quilloy R., Balingbing C., Chivenge P., Gummert M. (2020). *Rice straw overview: availability, properties, and management practices. Sustainable Rice Straw Management*. Springer: Switzweland. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-32373-8>
- Linker, R., Kacira, M., Arbel, A. (2011). Robust climate control of a greenhouse equipped with variable-speed fans and a variable-pressure fogging system. *Biosystem Engineering*, 110(2), 153-167. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2011.07.010>
- Muñoz-Liesa, J., Royapoor, M., Cuerva, E., Gasso-Domingo, S., Gabarrel, X., Josa, A. (2022). Building-integrated greenhouses raise energy co-benefits through active ventilation systems. *Building and Environment*, 208, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108585>

- Rahman, Md. S., Han, J., Ge, G., Ahamed, Md. S. (2023). Experimental evaluation of three different dehumidifiers for greenhouses in cold regions. *Applied Thermal Engineering*, 234, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2023.121324>
- Shamshiri, R. R., Jones, J. W., Thorp, K. R., Ahmad, D., Man, H. C., Taheri, S. (2018). Review of optimum temperature, humidity, and vapour pressure deficit for microclimate evaluation and control in greenhouse cultivation of tomato: a review. *International Agrophysics*, 32, 287-302. doi: 10.1515/intag-2017-0005
- Siskandar, R., Santosa, S. H., Wiyoto, Kusumah, B. R., Hidayat, A. P. (2022). Control and automation: Insmoaf (integrated smart modern agriculture and fisheries) on the greenhouse model. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia (JIPi)*. 27(1), 141-152. DOI: 10.18343/jipi.27.1.141.
- Sunandar, B. (2010) Budidaya jamur merang. Kementerian Pertanian: Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Jawa Barat.
- Teitel, M., Atias, M., & Barak, M. (2010). Gradients of temperature, humidity and CO₂ along a fan-ventilated greenhouse. *Biosystems Engineering*, 106(2), 166–174. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2010.03.007>.
- Triyono, S., Haryanto, A., Telaumbanua, M., Dermiyati, Lumbanraja, J., & To, F. (2019). Cultivation of straw mushroom (*Volvariella volvacea*) on oil palm empty fruit bunch growth medium. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 8, 381–392. <https://doi.org/10.1007/s40093-019-0259-5>
- Villagran, E. A., Romero, E. J. B., Bojaca, C. R. (2019). Transient CFD analysis of the natural ventilation of three types of greenhouses used for agricultural production in a tropical mountain climate. *Biosystems Engineering*, 188, 299 – 204. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.10.026>
- Wahab, H. A., Manap, M. Z. I. A., Ismail, A. E., Pauline, O., Ismon, M., Zainulabidin, M. H., Noor, F. M., Mohamad, Z. (2019). Investigation of temperatur and humidity control system for mushroom house. *The International Journal of Integrated Engineering*, 11(6), 027-037. DOI: <https://doi.org/10.30880/ijie.2019.11.06.004>
- Wang, L., Dong, Q., Guo, Q., Zha, L., Yang, L., Yu, C., & Zhao, Y. (2025). Dynamics of nutrient components and microbial communities in substrates during the development of the fruiting bodies of *Volvariella Volvacea*. *Journal of Fungi*, 11(7), 479. <https://doi.org/10.3390/jof11070479>