

UJI PERFORMANSI *EVAPORATIVE COOLING SYSTEM* PADA KUMBUNG JAMUR MERANG DENGAN VARIASI TEKANANNYA

Ahmad Maulana K¹, Sunanto², Ade S. Margana³

^{1,2}Jurusan Teknik Pendingin dan Tata Udara, Politeknik Negeri Indramayu

³Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung

Email: ¹ahmadmaulana@polindra.ac.id, ²sunanto@polindra.ac.id

Abstrak

Proses budidaya jamur merang yang dilakukan oleh petani biasanya berada pada sebuah kumbung yang berukuran panjang 7 meter, lebar 5 meter, dan tinggi sekitar 3 meter. Menurut pengakuan petani, pada musim kemarau atau saat cuaca cerah (kondisi siang hari) temperatur di dalam kumbung tersebut relatif tinggi dan dapat mencapai temperatur hingga 40 °C. Kondisi tersebut jelas tidak sesuai dengan kondisi optimum dari pertumbuhan jamur merang, dimana temperatur yang optimum dari pertumbuhan jamur merang tersebut berkisar antara 30 °C - 35 °C. Untuk itu perlu diterapkan sistem pendingin udara yang ada di dalam kumbung jamur merang tersebut agar pertumbuhannya dapat optimal. Metode yang digunakan untuk mendinginkan kumbung jamur merang tersebut adalah dengan memanfaatkan prinsip evaporative cooling dari spray bertekanan dengan bantuan kompresor. Tekanan water spray pada pengujian ini akan divariasikan pada nilai 5 psi, 10 psi, dan 15 psi. Dari percobaan yang telah dilakukan, didapat hasil pengujian pada tekanan 5 psi memiliki efisiensi paling rendah yaitu sekitar 19,2% sedangkan pada tekanan 10 dan 15 psi memiliki efisiensi sekitar 34,2 % dan 38,7%. Untuk temperatur rata - rata ruang kumbung pada tekanan 5 psi sekitar 34,8 °C, sedangkan untuk tekanan 10 dan 15 psi masing - masing memiliki temperatur rata - rata ruangan sekitar 33,7 °C dan 33,4 °C. Selanjutnya untuk biaya operasional penggunaan evaporative cooling pada tekanan 5 psi, 10 psi, dan 15 psi masing - masing sebesar Rp 18.860,- ; Rp 29.741,- dan Rp 40.662,- per bulannya..

Kata Kunci: water spray, evaporative cooling, efisiensi, biaya operasional

Abstract

The mushroom cultivation process carried out by farmers is usually in a kumbung measuring 7 meters long, 5 meters wide, and about 3 meters high. According to farmers' confessions, during the dry season or when the weather is sunny (daytime conditions) the temperatur inside the kumbung is relatively high and can reach temperatures of up to 40 °C. These conditions are clearly not in accordance with the optimum conditions of mushroom growth, where the optimum temperature of the mushroom growth ranges from 30 °C - 35 °C. For this reason, it is necessary to apply an air conditioning system in the mushroom room so that its growth can be optimally as expected. The method used to cool the mushroom room is to use high-pressure spray cooling, where the cooling method of the spray cooling is to utilize the evaporative cooling principle of pressurized water spray with the help of a compressor. The water spray pressure in this test will be varied at 5 psi, 10 psi, and 15 psi. From the experiments that have been carried out, the results of the test at a pressure of 5 psi have the highest efficiency, which is about 19,2%, while at a pressure of 10 and 15 psi it has an efficiency of about 34,2 % and 38,7%, respectively. The average room temperature for a pressure of 5 psi is about 34.8 °C, while for a pressure of 10 and 15 psi each has an average room temperature of about 33.7 °C and 33,4 °C. Furthermore, the cost operational for the 5 , 10 , and 15 psi tests have values of about Rp 18.860,- Rp 29.741,- and Rp 40.662,- montly.

Keywords: water spray, evaporative cooling, efisiensi, cost operational

I. PENDAHULUAN

Proses budidaya jamur merang biasanya dilakukan oleh petani pada sebuah kumbung yang berukuran panjang 7 meter, lebar 5 meter, dan tinggi sekitar 3 meter. Umumnya, kumbung tersebut terbuat dari rangka bambu dan dinding yang terbuat dari plastik mulsa serta atap yang terbuat dari aluminium foil. Dengan kondisi ruangan seperti itu, temperatur udara di dalam kumbung jamur merang tersebut menjadi tidak stabil. Menurut pengakuan petani, pada musim kemarau atau saat cuaca cerah (kondisi siang hari) temperatur di dalam kumbung tersebut relatif tinggi dan dapat mencapai temperatur hingga 40 °C. Hal ini dikarenakan besarnya panas radiasi matahari yang masuk ke kumbung mengingat tidak ada insulasi dari dinding dan atap pada kumbung jamur merang tersebut. Kondisi tersebut jelas tidak sesuai dengan kondisi optimum dari pertumbuhan jamur merang. Setiap jamur mempunyai suhu optimum, minimum dan maksimum yang berbeda untuk pertumbuhannya. Pertumbuhan pada suhu di bawah suhu optimum dapat menurunkan rata-rata metabolisme selnya. Suhu di atas optimum, menyebabkan pertumbuhan menurun dan dimungkinkan terjadinya kematian jika melampaui suhu maksimumnya (Hossain, dan Anantharaman, 2008). Sedangkan temperatur yang optimum dari pertumbuhan jamur merang tersebut berkisar antara 30 °C - 35 °C (widiastuti, 2007); Thuc, L.V. et al. (2020). Mengingat temperatur udara lingkungan pada saat siang hari berkisar antara 30 °C hingga 38 °C, maka untuk itu perlu diterapkan sistem pendingin udara yang ada di dalam kumbung jamur merang tersebut agar pertumbuhannya dapat optimal sesuai dengan harapan.

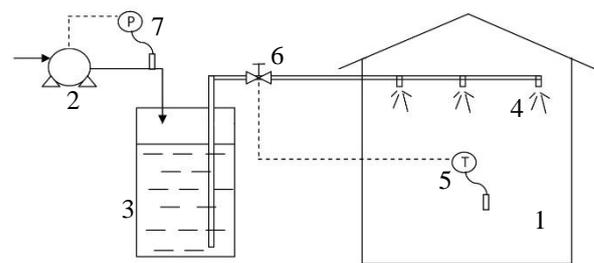
Selain kondisi temperatur yang tinggi akibat panas radiasi matahari yang cukup besar, kondisi di dalam kumbung juga biasanya memiliki kelembaban relatif (RH) yang cukup rendah sekitar 40% - 50% RH. Sedangkan kondisi RH yang disarankan untuk kumbung jamur merang tersebut adalah sekitar 70-90% RH (Karsid, 2015). Untuk mengatasi kondisi RH yang rendah tersebut, biasanya petani jamur merang menyiram lantai dan dinding kumbung dengan spray air (*water spray*) agar dapat meningkatkan kelembaban kumbung jamur merang tersebut.

Untuk mengatasi kedua masalah tersebut diatas, maka perlu di terapkan sistem pendinginan otomatis menggunakan spray air bertekanan (*water spray pressurized*). Prinsip kerja dari sistem tersebut adalah dengan memanfaatkan pendinginan evaporatif (*evaporative cooling*) akibat adanya titik

- titik air / spray pada kumbung tersebut. Dengan cara tersebut maka akan terjadi penurunan temperatur udara ruangan sekaligus dapat meningkatkan kelembaban relatifnya.

II. METODE

Tahapan awal yang akan dilakukan dalam pelaksanaan penelitian ini adalah terlebih dahulu membuat desain (rancangan) dari alat evaporative cooling yang akan dibuat. Rancangan tersebut disesuaikan dengan ukuran kumbung jamur merang yang ada di lapangan, mengingat alat tersebut akan langsung diterapkan pada kumbung jamur merang yang ada pada salah satu petani jamur di Indramayu. Adapun rancangan dari evaporative cooling system sebagai objek penelitian tersebut adalah seperti pada gambar berikut ini.



Gambar 1. Desain pengujian evaporative cooling system pada kumbung jamur merang

Keterangan gambar 1:

1. Kumbung jamur merang
2. Kompresor
3. Tangki air
4. *Spray nozel*
5. *Thermostat*, pengatur temperatur ruang
6. *Solenoid valve*
7. *Pressure switch*, pengatur tekanan tangki / *spray*

Cara kerja dari alat tersebut adalah dengan cara memberi tekanan pada tangki air menggunakan kompresor pada kondisi tekanan tertentu. Akibat dari tekanan tersebut maka air akan mengalir melewati selang menuju *spray nozel* yang ada di dalam kumbung sehingga temperatur udara ruangan akan mengalami penurunan sebagai akibat adanya proses *evaporative cooling*. Jika tekanan tangki sudah mencapai batas maksimal, maka *pressure switch* akan mematikan kompresor sehingga tidak terjadi tekanan berlebih pada sistem. Begitu juga jika temperatur ruangan sudah tercapai pada kondisi tertentu, maka *thermostat* akan mematikan aliran *spray* tersebut sehingga tidak terjadi pendinginan berlebih pada sistem. Untuk memudahkan dalam

pengambilan data temperatur dan RH ruangan, maka pada alat tersebut dilengkapi dengan alat ukur data akuisisi menggunakan sensor DHT22 dan berbasis mikrokontroler arduino uno. Proses pengambilan data dilakukan hanya pada saat pagi hingga sore hari saja mengingat kondisi alat pendingin tersebut memang hanya di butuhkan pada saat siang hari saja. Sedangkan pada malam hari, unit pendingin tersebut tidak beroperasi. Adapun alat uji *system evaporative cooling* yang telah selesai dibuat tersebut dapat dilihat pada gambar 2 berikut ini.



Gambar 2. Alat uji *evaporative cooling* yang telah selesai dibuat

Keterangan gambar 1:

1. Kompresor
2. Tangki air
3. Control box panel
4. Data acquisition arduino uno

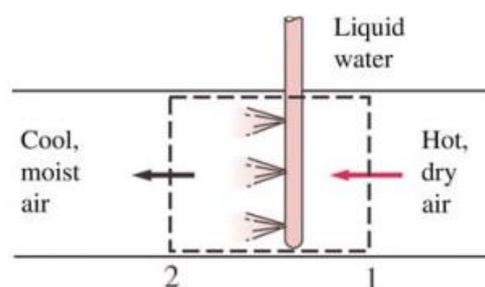
Adapun tampilan dari kumbung jamur merang yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3 berikut ini.



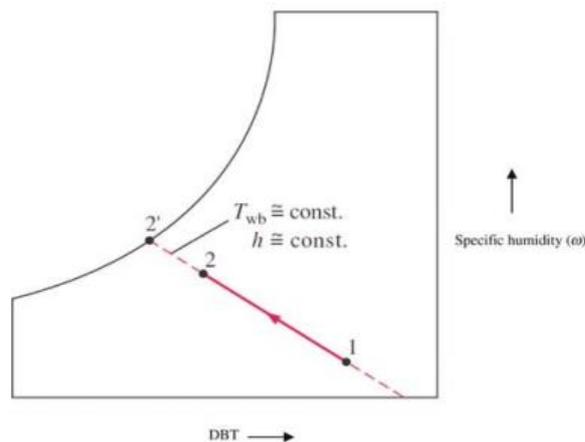
Gambar 3. Kumbung jamur merang tampak dari luar dan dalam serta contoh hasil produksi jamur merangnya

Berlangsungnya proses pendinginan evaporative ini dapat dijelaskan dengan melihat pada gambar 4 dan 5 di bawah ini. Saat udara mengalami kontak

langsung dengan spray air (butiran air halus), pendinginan evaporatif udara terjadi. Pendinginan evaporatif didasarkan pada prinsip sederhana: Saat air menguap, panas laten penguapan diserap dari udara sekitarnya. Akibatnya, udara didinginkan selama proses seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Proses pendinginan evaporatif pada grafik psikometrik ditunjukkan pada Gambar 5. Udara panas dan kering pada titik 1 memasuki pendingin evaporatif, di mana pada titik tersebut juga terdapat spray air sehingga sebagian air menguap selama proses ini dengan menyerap panas dari aliran udara. Akibatnya, suhu aliran udara menurun dan kelembabannya meningkat (titik 2) (Bansal, 2009).



Gambar 4. skema proses pendinginan evaporative (sumber <https://www.researchgate.net/publication/245506393>)



Gambar 5. proses pendinginan evaporative pada diagram psikometrik (sumber : <https://www.researchgate.net/publication/245506393>)

Dalam proses pendinginan evaporatif, perpindahan panas antara aliran udara dan lingkungan biasanya dapat diabaikan. Oleh karena itu, proses pendinginan evaporatif mengikuti garis konstan suhu bola basah pada grafik psychrometric. Karena garis suhu bola basah konstan hampir bertepatan dengan garis entalpi konstan, entalpi aliran udara juga dapat diasumsikan tetap konstan (Bansal, 2009).

Pengujian alat *evaporative cooling system* tersebut dilakukan dengan variable tetap berupa : ukuran kumbung jamur 5 x 3 x 3 m, waktu pengujian selama 10 jam (dari jam 08.00 pagi sampai jam 18.00 WIB), dan menggunakan setpoint temperatur yang sama yaitu dari 30 – 35 °C. Pengujian juga dilakukan sebanyak 4 kali dengan variasi tekanan kerja spray sekitar 0, 5, 10, dan 15 psi. Kondisi pengujian dengan tekanan kerja spray 0 psi merupakan kondisi pada saat kumbung jamur merang tersebut tidak dikondisikan dengan *system evaporative cooling*. Pengujian ini perlu dilakukan sebagai pembandingan kondisi awal udara ruangan kumbung jamur merang sebelum di dinginkan oleh *system evaporative cooling*. Sehingga dengan demikian potensi penurunan temperatur ruang pada masing – masing variasi tekanan 5, 10, dan 15 psi tersebut dapat diketahui berdasarkan kondisi awal sebelum didinginkan tersebut.

Pengambilan data dilakukan dengan cara mengukur tiga jenis temperatur pada sisi saluran spray, tangki air, temperatur udara ruangan dan temperatur udara lingkungan. Khusus untuk temperatur ruangan, terdapat 4 titik ukur temperatur pada masing – masing sudut ruang tersebut. Hal ini dilakukan untuk mengetahui distribusi temperatur di dalam ruang tersebut. Keempat titik ukur temperatur dalam ruang tersebut diberi simbol masing – masing adalah T1, T2, T3, dan T4. Selain itu juga terdapat energi meter pada alat tersebut untuk mengetahui seberapa besar energi listrik yang terpakai selama pengujian berlangsung untuk ketiga jenis variasi tekanan tersebut. Sedangkan untuk mengetahui laju aliran air spray pada tiap pengujian, dapat menggunakan cara manual atau mengukur jumlah

air yang terpakai selama pengujian berlangsung dibagi dengan waktu operasioanal alat tersebut.

Setelah melakukan pengujian dan mendapatkan data temperatur *dry bulb* dan *wet bulb* dari udara ruangan, maka selanjutnya dapat dihitung nilai efisiensi dari proses *evaporative cooling* tersebut. Rumus yang digunakan untuk menghitung efisiensi dari proses *evaporative cooling* tersebut adalah sebagai berikut (Stoecker, 1986).

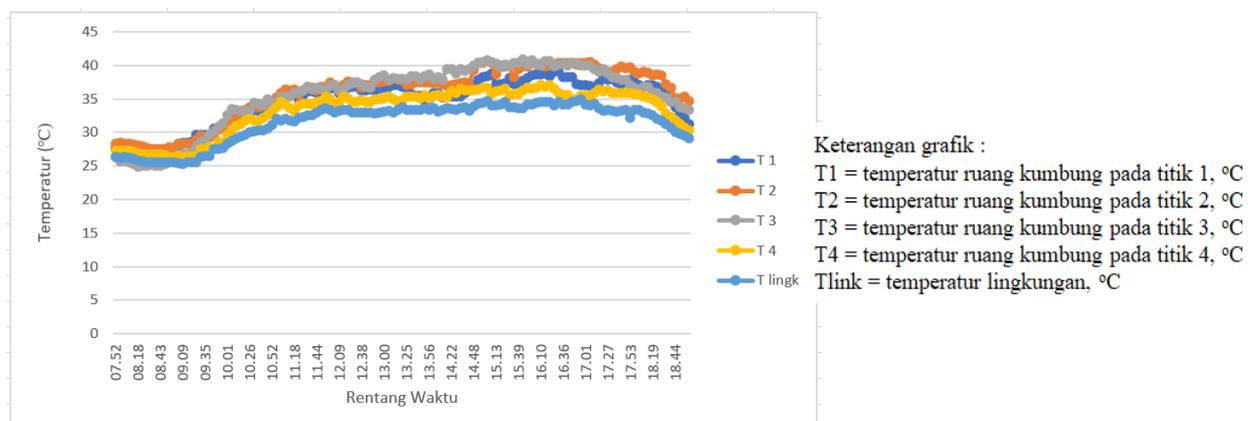
$$\varepsilon = \frac{Tdb_{awal} - Tdb_{akhir}}{Tdb_{awal} - Twb} \times 100\% \dots\dots (1)$$

Dimana :

- ε = efisiensi proses *evaporative cooling*
- Tdb_{awal} = temperatur *dry bulb* udara ruangan awal, (°C)
- Tdb_{akhir} = temperatur *dry bulb* udara ruangan akhir, (°C)
- Twb = temperatur *wet bulb* udara ruangan awal, (°C)

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan pada pengujian yang telah dilakukan, diperoleh beberapa data temperatur dan RH untuk masing – masing variasi tekanan tersebut. Untuk fluktuasi data temperatur pada setiap pengujian dapat dilihat pada gambar 6 hingga gambar 9 berikut. Gambar 6 merupakan grafik data temperatur untuk ruang yang tidak dikondisikan (tekanan 0 psi), gambar 7 untuk grafik temperatur pada tekanan 5 psi, gambar 8 untuk grafik temperatur pada tekanan 10 psi, dan gambar 9 untuk grafik temperatur pada tekanan 15 psi.



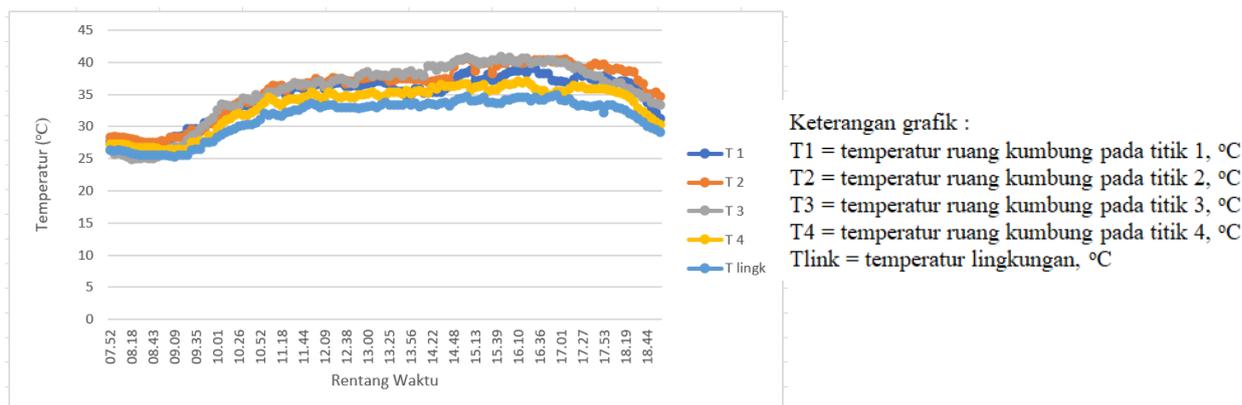
Gambar 6. grafik temperatur hasil pengujian tidak dikondisikan (tekanan 0 psi)

Terlihat pada gambar 6 diatas, masih banyak titik temperatur ruang pada kumbung yang memiliki nilai diatas 40 °C, padahal temperatur lingkungannya berada pada kisaran 36 °C. hal ini

terjadi pada titik temperatur yang mendekati atap ruang kumbung sehingga temperaturnya lebih tinggi dari lingkungan akibat panas radiasi matahari yang mengarah langsung ke atap kumbung jamur merang

tersebut. Kondisi inilah yang menyebabkan produksi jamur merang pada kumbung jamur tersebut tidak optimal mengingat temperatur

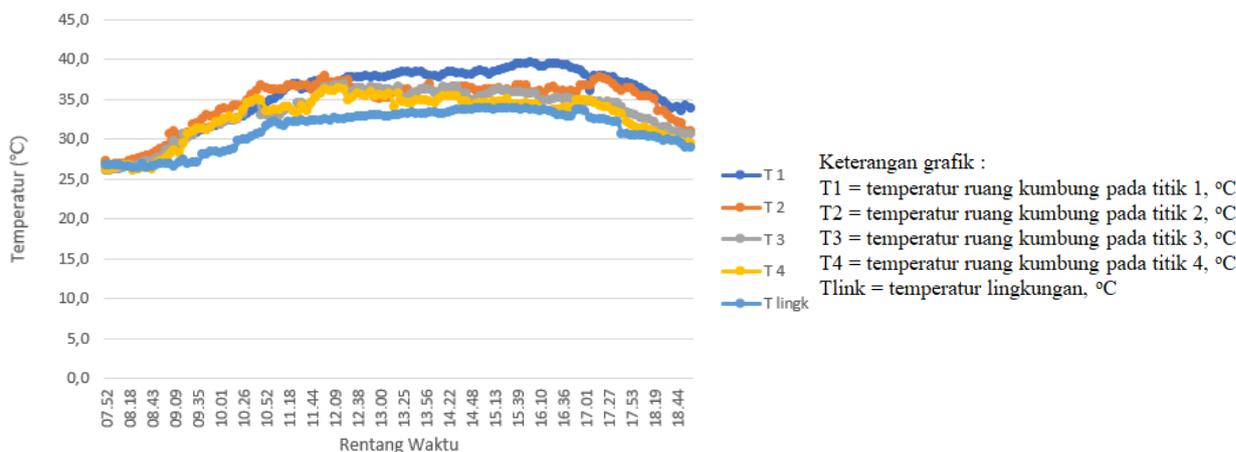
optimal dari pertumbuhan jamur tersebut adalah di bawah 35 °C.



Gambar 7. grafik temperatur hasil pengujian pada tekanan 5 psi

Sedangkan pada gambar 7 diatas (data temperatur pada tekanan 5 psi), titik temperatur ruang pada kumbung yang memiliki nilai diatas 40 °C sudah mulai berkurang sebagai akibat adanya proses pendinginan dari spray air yang dihembuskan

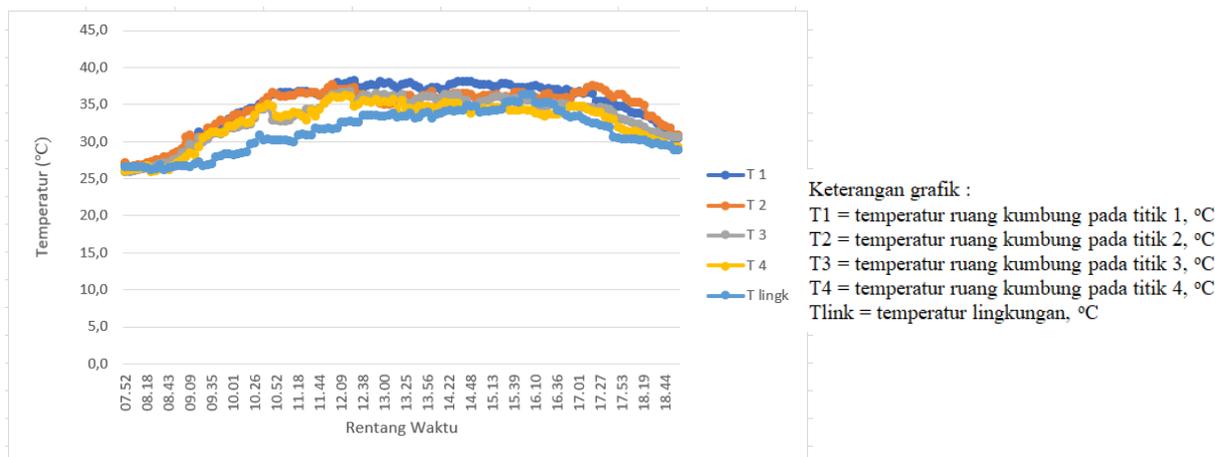
ke dalam ruang kumbung jamur merang tersebut. Namun penurunan temperatur tersebut masih belum optimal mengingat temperatur yang tinggi pada salah satu titik ruang tersebut akan menyebabkan pertumbuhan jamurnya tidak maksimal.



Gambar 8. Grafik temperatur hasil pengujian pada tekanan 10 psi

Untuk temperatur pada tekanan 10 psi (gambar 8), temperatur ruangnya sudah semakin sedikit yang berada pada temperatur 40 °C bila dibandingkan dengan data pada tekanan 5 psi. hal ini menunjukkan bahwa proses *evaporative cooling* dengan tekanan 10 psi tersebut sudah cukup efektif untuk mengurangi panas radiasi matahari yang langsung mengarah pada atap kumbung jamur merang tersebut.

Sedangkan untuk temperatur pada tekanan 15 psi (gambar 9), temperatur ruangnya semakin menurun lagi bila dibandingkan dengan data temperatur pada tekanan 10 psi diatas. Tidak ada temperature yang tinggi (40 °C) pada ruang kumbung jamur merang tersebut. Hal ini menunjukkan bahwa tekanan 15 psi pada *system evaporative cooling* merupakan tekanan yang sesuai dengan kondisi ruang pada kumbung jamur merang tersebut.



Gambar 9. Grafik temperatur hasil pengujian pada tekanan 15 psi

Selain dalam bentuk grafik, analisa lebih lanjut diperlukan untuk mengetahui efektifitas dari *system evaporative cooling* tersebut terutama dilihat dari segi operasionalnya yang dapat menjadi pertimbangan bagi petani apakah biayanya terjangkau atau tidak. Hasil olah data tersebut dirangkum dalam bentuk tabel. Tabel 1 berikut ini merupakan resume dari sekian banyak data temperatur yang telah diukur tersebut.

Tabel 1. Resume Data Hasil Pengukuran

No	Parameter data	Tekanan Uji			
		0 psi	5 psi	10 psi	15 psi
1	Waktu pengujian (jam)	9	9	9	9
2	Temp. rata - rata ruang (°C)	36,3	34,8	33,7	33,4
3	Temp. wetbulb rata - rata ruang (°C)	28,9	28,5	28,7	28,8
4	Temp. rata - rata lingkungan (°C)	31,8	32,2	31,6	31,9
5	Temp. rata - rata air spray (°C)	30,4	31,1	30,3	30,7
6	RH rata - rata ruang (%)	58,2	63,7	68,9	71,3
7	RH rata - rata lingkungan (%)	53,3	54,7	53,8	52,6
8	massa air terpakai (kg)	-	136	169	188
9	Laju aliran massa air spray (kg/jam)	-	15,1	18,8	20,9
10	Efisiensi evaporative cooling (%)	-	19,2%	34,2%	38,7%
11	Selisih temp. ruang awal dan akhir (°C)	-	1,5	2,6	2,9
12	Selisih RH ruang awal dan akhir (%)	-	5,5	10,7	13,1
13	Konsumsi energi listrik per hari, (kWh)	-	0,48	0,76	1,04
14	Biaya operasional dalam 1 bulan, (Rp)	-	18.860	29.741	40.622

Terlihat pada tabel 1 tersebut pada kondisi ruang kumbung jamur merang yang tidak dikondisikan (tekanan 0 psi) memiliki temperatur rata – rata 36,3 °C. Temperatur ruang ini lebih tinggi dari pada temperatur rata – rata lingkungannya, hal ini kemungkinan dikarenakan oleh faktor panas radiasi matahari yang yang memanasi atap kumbung sehingga temperatur ruang tersebut lebih tinggi daripada temperatur lingkungannya. Pada tabel tersebut juga terlihat bahwa temperatur rata – rata ruang terendah pada variasi tekanan 15 psi sekitar 33,4 °C lebih rendah 2,9 °C dari ruang yang tidak dikondisikan (tekanan 0 psi). Untuk tekanan 10 psi

5 psi temperatur rata – rata ruangnya sebesar 33,7 °C dan 34,8 °C, lebih rendah 2,6 °C dan 1,5 °C daripada temperatur ruang sebelum dikondisikan. Hal ini berarti pada ketiga variasi tekanan tersebut dapat menurunkan temperatur ruang kumbung jamur merang pada kondisi standar yang diinginkan yaitu dibawah 35 °C. Pada penelitian pendinginan evaporative pada kumbung jamur sebelumnya pernah dilakukan oleh Anisum didapat nilai penurunan temperature yang tidak jauh berbeda dengan kondisi tekanan 5 psi ini yaitu didapat penurunan temperature sebesar ±1 °C saja (Anisum, dkk, 2016).

Selain itu, efisiensi *system evaporative cooling* pada kumbung jamur merang tersebut memiliki nilai tertinggi pada tekanan 15 psi yaitu sebesar 38,7%. Sedangkan efisiensi untuk tekanan 10 psi dan 5 psi masing – masing adalah 34,2% dan 19,2%. Hal ini berarti semakin tinggi tekanan uji *system evaporative cooling* tersebut maka akan semakin tinggi juga nilai efisiensinya. Namun demikian, nilai efisiensi diatas masih relative rendah bila dibandingkan dengan system direct *evaporative cooling* yang nilai efisiensinya bisa mencapai hingga 92% (Sitopu, 2015). Hal ini kemungkinan disebabkan oleh tidak adanya blower di dalam ruang kumbung untuk mengalirkan aliran udara dengan system konveksi paksa seperti contoh uji *direct evaporative cooling* yang telah dilakukan oleh Sitopu tersebut.

Untuk konsumsi energi listrik pada penggunaan *evaporative cooling* tersebut nilai tertinggi juga didapat pada tekanan 15 psi yaitu sekitar 1,04 kWh/harinya, sedangkan pada tekanan 10 psi dan 5 psi nilainya adalah 0,76 kWh/hari dan 0,48 kWh/hari. Dengan demikian, biaya operasional per bulan yang dibutuhkan system *evaporative cooling* pada kumbung jamur merang tersebut adalah sekitar Rp 40.622,- untuk tekanan 15 psi, Rp 29.741,- untuk tekanan 10 psi, dan Rp 18.860,- untuk tekanan 5 psi.

Biaya operasional untuk ketiga variasi tekanan tersebut masih relatif terjangkau oleh petani, sehingga dapat diterapkan pada setiap kumbung jamur merang yang ada di masyarakat.

IV. PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan pada percobaan yang telah dilakukan tersebut, dapat diambil beberapa kesimpulan seperti berikut ini, yaitu :

1. Tekanan kerja *spray* yang efektif untuk proses *evaporative cooling* pada kumbung jamur merang tersebut adalah pada tekanan 10 – 15 psi karena memiliki temperatur ruangnya rata – rata di bawah 34 °C.
2. Biaya operasional penggunaan sistem *evaporative cooling* pada kumbung jamur merang tersebut masih relatif terjangkau oleh petani sehingga sistem tersebut dapat diterapkan pada kumbung jamur lain yang ada di masyarakat. Diketahui bahwa biaya operasional sistem *evaporative cooling* tersebut adalah sekitar Rp 18.860,- hingga Rp 40.622,- per bulannya untuk ketiga variasi tekanan *evaporative cooling* tersebut.
3. Semakin tinggi tekanan kerja *spray evaporative cooling* maka akan semakin turun temperatur rata – rata ruang kumbungnya namun konsumsi energi listrik dan biaya operasionalnya akan semakin meningkat..

Saran

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang pengaruh penambahan insulasi pada bagian atap kumbung terhadap penurunan temperature ruang kumbung jamur merang dan kaitannya dengan penurunan panas radiasi matahari pada bagian atap kumbung tersebut mengingat temperatur yang paling panas pada kumbung tersebut terdapat pada bagian atap. Selain itu juga, dari hasil perhitungan efisiensi yang ada, nilainya masih relatif rendah efisiensinya yaitu sekitar 19,2% sampai 38,7%. Dengan adanya tambahan insulasi pada bagian atap yang menghalau panas radiasi tersebut diharapkan juga dapat meningkatkan nilai efisiensi dari sistem *evaporative cooling* tersebut.

Ucapan Terima Kasih

Pada kesempatan kali ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak P3M Polindra yang telah menyetujui anggaran penelitian kerjasama antar perguruan tinggi ini. Terima kasih juga penulis ucapkan kepada partner / tim peneliti baik dari internal polindra maupun dari perguruan

tinggi lain (Politeknik Negeri Bandung) yang telah bersedia untuk berkolaborasi dalam pelaksanaan penelitian kerjasama antar perguruan tinggi tahun anggaran 2021 ini. Mudah – mudahan kedepannya pihak dari Politeknik Negeri Bandung tersebut dapat terus menjalin kerjasama dalam hal penelitian antar perguruan tinggi di internal Polindra ini.

V. DAFTAR PUSTAKA

- Anisum, dkk, 2016. ANALISIS DISTRIBUSI SUHU DAN KELEMBABAN UDARA DALAM RUMAH JAMUR(KUMBUNG) MENGGUNAKAN COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD). Jurnal AGRITECH, Vol. 36, No. 1, Februari 2016. Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada. DOI: <https://doi.org/10.22146/agritech.10686>
- Budhi Widiastuti. 2007. Budidaya jamur kompos, jamur merang dan jamur kancing. Penebar Swadaya.
- Bansal, Vikas & Jyotirmay Mathur. 2009. Performance enhancement of earth air tunnel heat exchanger using evaporative cooling. International Journal of Low-Carbon Technologies, August 2009. Mechanical Engineering Department, Malaviya National Institute of Technology, Jaipur India. Available online at : <https://www.researchgate.net/publication/245506393>
- Karsid, Haris Apriyanto, Rofan Aziz. 2015. Aplikasi Kontrol Otomatis Suhu dan Kelembaban untuk Peningkatan Produktivitas Budidaya Jamur Merang. Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan Vol 4 No. 3 tahun 2015. Indonesian food Technologists.
- Sitopu, Feliks LM, Bambang Yunianto. 2015. Pengujian Direct Evaporative Cooling Posisi Vertikal Dengan Aliran Searah. Jurnal Teknik Mesin S-1, Vol. 3, No. 3, Tahun 2015 Universitas Diponegoro. Semarang
- S.M. Hossain, and N. Anantharaman, “Effect of wheat straw powder on enhancement of ligninolytic enzyme activity using *Phanerochate chrysosporium*,” *Indian Journal of Biotechnology*. Vol. 7 (2008) 502-507

- Thuc, L.V. et al. (2020). Rice-Straw Mushroom Production. In: Gummert, M., Hung, N., Chivenge, P., Douthwaite, B. (eds) Sustainable Rice Straw Management. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-32373-8_6
- Wilbert F. Stoecker, Jerold W. Jones, 1986. Refrigeration and Air Conditioning. Mc Graw Hill Company, USA.