

Simulasi Model Perpindahan Panas Pada Proses Penetasan Telur Menggunakan Software Matlab

Miftahur Ro'ifah^{1)*}

¹Universitas PGRI Argopuro Jember – Jl. Jawa No. 10 Jember, 68121, Jawa Timur, Indonesia

*email: miftah.ikipjember@gmail.id

Diterima : 25 Februari 2025, Direvisi : 07 Maret 2025, Disetujui : 25 Maret 2025

Abstract

This study aims to analyze the heat transfer profile in the artificial egg hatching process that approaches the natural process using interface boundary conditions. Simulations are carried out by varying the temperature and length of the egg axis, with solutions using the θ -method. The steps taken include parameter identification, program creation using Matlab software, simulation, and analysis of results. The results of the study showed that the fastest heat transfer in quail eggs was at a temperature of 37°C, chicken eggs at 38°C or 39°C, and duck eggs at 37°C or 39°C. The fastest heat transfer occurred when the length of the egg axis was below average.

Keywords: Egg; Heat; Matlab; θ -Method.

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis profil perpindahan panas dalam proses penetasan telur buatan yang mendekati proses alami dengan menggunakan kondisi batas antarmuka. Simulasi dilakukan dengan memberikan variasi pada nilai suhu dan panjang sumbu telur, dengan solusi menggunakan metode- θ . Langkah-langkah yang dilakukan meliputi identifikasi parameter, pembuatan program menggunakan software Matlab, simulasi, dan analisis hasil. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perpindahan panas telur puyuh paling cepat pada suhu 37°C, telur ayam pada 38°C atau 39°C, dan telur bebek pada 37°C atau 39°C. Perpindahan panas tercepat terjadi apabila panjang sumbu telur dibawah rata-rata.

Kata Kunci: Panas; Telur; Matlab; Metode- θ

1. PENDAHULUAN

Proses penetasan telur ayam, itik, burung, atau unggas lainnya dapat dilakukan secara alami atau buatan. Penetasan alami dilakukan oleh induk dengan cara mengerami telurnya, sedangkan penetasan buatan dilakukan dengan menggunakan mesin penetas buatan. Meskipun penetasan alami tergolong aman, namun hasilnya sangat terbatas. Misalnya, seekor induk ayam hanya dapat mengerami 10-14 butir telur selama 21 hari dengan daya tetas sekitar 80% (8-12 ekor) [1].

Proses penetasan telur alami jarang digunakan oleh pengusaha/peternak pembibitan unggas dalam skala besar karena tidak efisien lagi dalam memenuhi permintaan/kebutuhan pasar yang terus meningkat dari waktu ke waktu. Di sisi lain, penetasan buatan memungkinkan kita menetas telur dalam jumlah yang diinginkan dengan bantuan mesin penetas. Namun, metode ini memiliki risiko tinggi jika suhu dan kelembaban tidak dikontrol secara ketat dan presisi [2]. Untuk meningkatkan daya tetas, perlu pengontrolan terhadap parameter kritis seperti suhu,

kelembaban, dan distribusi panas selama proses penetasan. Pengetahuan tentang evolusi suhu pada bagian telur yang lambat menerima panas, seperti inti telur, sangat penting [3], [4], [5], [6], [7].

Oleh karena itu, tujuan penelitian ini adalah untuk melakukan simulasi model perpindahan panas selama proses penetasan telur dengan menerapkan kondisi batas antarmuka, sehingga dapat diketahui profil perpindahan panas yang berguna dalam pembuatan mesin penetas telur. Selanjutnya, diberikan pembahasan terkait prinsip perpindahan panas dan persamaan panas pada bola yang menjadi acuan teori pada proses penetasan telur.

Menurut asas Black, jika dua benda dengan suhu berbeda disatukan, kalor akan mengalir dari benda yang lebih panas ke benda yang lebih dingin hingga mencapai kesetimbangan termal. Secara matematis, hal ini dapat dirumuskan sebagai :

$$Q_{\text{lepas}} = Q_{\text{terima}} \quad (1)$$

Kalor dilepaskan oleh materi yang lebih panas dan diterima oleh materi yang lebih dingin. Pada telur, panas mengalir secara simetris dari permukaan ke pusat telur. Perambatan panas pada telur dipengaruhi oleh konduktivitas termal, panas spesifik, dan kepadatan massa [8], [9].

Konduktivitas termal adalah kemampuan materi untuk menghantarkan panas. Materi dengan konduktivitas termal (λ) tinggi merupakan penghantar panas yang baik. Nilai konduktivitas termal dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$k = \lambda = \frac{Q}{t} \times \frac{L}{A \times \Delta T} \quad (2)$$

dengan $\lambda = k$ adalah konduktivitas termal, dengan jumlah kalor Q , yang dihantarkan selama waktu t melalui ketebalan L , dengan arah normal ke permukaan dengan luas A yang disebabkan oleh perbedaan suhu ΔT [10].

Panas spesifik (C) adalah jumlah kalor yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu satu satuan massa benda sebesar satu satuan suhu. Panas spesifik dapat diukur menggunakan kalorimeter dan dirumuskan sebagai :

$$C = \frac{\Delta Q}{m \Delta T} \quad (3)$$

dengan C adalah panas spesifik, Q adalah jumlah kalor, m adalah massa benda, dan ΔT adalah perubahan suhu [11].

Kepadatan massa (ρ) adalah massa per satuan volume. Massa jenis tidak dipengaruhi oleh bentuk atau volume benda. Secara matematis, massa jenis dirumuskan sebagai :

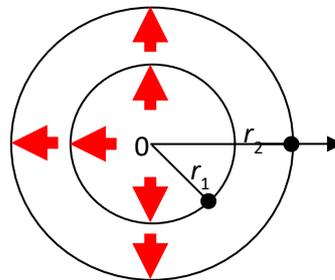
$$\rho = \frac{m}{v} \quad (4)$$

dengan ρ adalah massa jenis, m adalah massa, dan v adalah volume.

Panas bergerak dari area yang memiliki suhu lebih tinggi ke area yang bersuhu lebih rendah. Pada benda berbentuk bola, panas mengalir secara simetris menuju titik pusat bola. Sebagai contoh, suhu $T(r, \theta, \phi, t)$ menggambarkan suhu di dalam benda bulat yang dinyatakan dalam tiga dimensi r , θ , dan ϕ , yang berubah seiring waktu t . Karena suhu T merambat secara simetris, T tidak dipengaruhi oleh sudut θ dan ϕ , melainkan hanya bergantung pada jarak radial r . Dengan demikian, $T = T(r, t)$ mewakili suhu, sedangkan $\Phi = \Phi(r)$ memiliki fluks panas (*heat flux*), yaitu jumlah panas yang melewati suatu permukaan per satuan luas (m^2) per satuan waktu (detik) [12].

Pada Gambar 1, panas yang masuk melalui bagian dalam bola dengan radius r_1 dan luas permukaan $4\pi r_1^2$ adalah $4\pi r_1^2 \cdot \Phi(r_1)$ dan panas yang keluar melalui radius r_2 dengan luas permukaan $4\pi r_2^2$ adalah $4\pi r_2^2 \cdot \Phi(r_2)$. Dengan demikian, panas yang tersimpan di dalam lapisan antara r_1 dan r_2 adalah selisih antara panas yang masuk dan keluar :

$$4\pi r_1^2 \cdot \Phi(r_1) - 4\pi r_2^2 \cdot \Phi(r_2)$$



Gambar 1. Panas Merambat secara Simetri antara r_1 dan r_2

dengan meningkatkan suhu T melalui peningkatan ΔT dalam suatu lapisan, maka $\Delta H = C \cdot \rho \cdot V \cdot \Delta T$, dimana C adalah kalor jenis, ρ adalah massa jenis, V adalah volume $\left(\frac{4}{3}\pi r_2^3 - \frac{4}{3}\pi r_1^3\right)$, ΔH adalah perubahan panas dalam lapisan dan ΔT adalah perubahan suhu. Perubahan panas dalam lapisan dapat dirumuskan sebagai :

$$\frac{\Delta H}{\Delta t} = C \cdot \rho \left(\frac{4}{3}\pi r_2^3 - \frac{4}{3}\pi r_1^3 \right) \frac{\Delta T}{\Delta t}$$

dengan mengambil nilai limit $\Delta t \rightarrow 0$, panas yang dikandung dalam lapisan per detik, diperoleh :

$$\frac{\partial H}{\partial t} = C \cdot \rho \left(\frac{4}{3}\pi r_2^3 - \frac{4}{3}\pi r_1^3 \right) \frac{\partial T}{\partial t} \tag{5}$$

Keseimbangan panas dalam sistem dapat dirumuskan sebagai :

$$4\pi r_1^2 \cdot \Phi(r_1) - 4\pi r_2^2 \cdot \Phi(r_2) = C \cdot \rho \left(\frac{4}{3}\pi r_2^3 - \frac{4}{3}\pi r_1^3 \right) \frac{\partial T}{\partial t} \tag{6}$$

atau

$$-\frac{[4\pi r^2 \cdot \Phi(r)]_{r=r_2} - [4\pi r^2 \cdot \Phi(r)]_{r=r_1}}{r_2 - r_1} = \frac{C \cdot \rho \frac{4}{3} \pi (r_2^3 - r_1^3)}{r_2 - r_1} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (7)$$

Selanjutnya dengan mengambil nilai $r_2 - r_1 = \Delta r$ yang mendekati 0, diperoleh $r_2 = r_1 = r$ dan $(r_2^2 + r_1 \cdot r_2 + r_1^2) = 3r^2$. Dengan menggunakan hukum Fourier, fluks panas $\Phi(r)$ berbanding lurus gradien suhu, yaitu :

$$\Phi(r) = -\lambda A \frac{dT}{dr}$$

Akibatnya, ketika nilai-nilai disubstitusikan tersebut ke persamaan (7) diperoleh differensial parsial untuk sistem bola sebagai berikut:

$$4\pi r_1^2 \cdot \Phi(r_1) - 4\pi r_2^2 \cdot \Phi(r_2) = C \cdot \rho \left(\frac{4}{3} \pi r_2^3 - \frac{4}{3} \pi r_1^3 \right) \frac{\partial T}{\partial t} \quad (8)$$

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini terdiri dari beberapa tahap yaitu identifikasi parameter, pembuatan program menggunakan *software* Matlab [13], [14], simulasi, dan analisis hasil. Parameter yang digunakan meliputi konduktivitas termal (λ), panas spesifik (C), kepadatan massa (ρ), suhu lingkungan (T_{ambient}), jumlah grid points (N), dan panjang sumbu telur. Program dibuat menggunakan Matlab dengan metode- θ untuk menyelesaikan model perpindahan panas. Simulasi dilakukan dengan memvariasikan parameter-parameter tersebut, dan hasilnya dianalisis untuk mengetahui profil perpindahan panas.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam simulasi model perpindahan panas selama proses penetasan telur, terdapat beberapa parameter penting yang perlu ditetapkan sebelumnya. Nilai dari parameter-parameter ini akan memengaruhi pola perpindahan panas yang terjadi selama penetasan. Beberapa parameter yang dimaksud meliputi konduktivitas termal (λ), panas spesifik (C), kepadatan massa (ρ), suhu lingkungan (T_{ambient}), jumlah titik grid dalam lapisan (N), serta panjang sumbu telur. Dalam penelitian ini akan digunakan temperatur lingkungan (T_{ambient}) sebesar 37°C, 38°C, dan 39°C, jumlah grid point dalam lapisan sebesar 10, dan panjang sumbu pada masing-masing sumbu koordinat telur puyuh, ayam, dan bebek antara lain yaitu (5cm;3.2cm;5cm), (4.1cm;5.4cm;4.1cm),

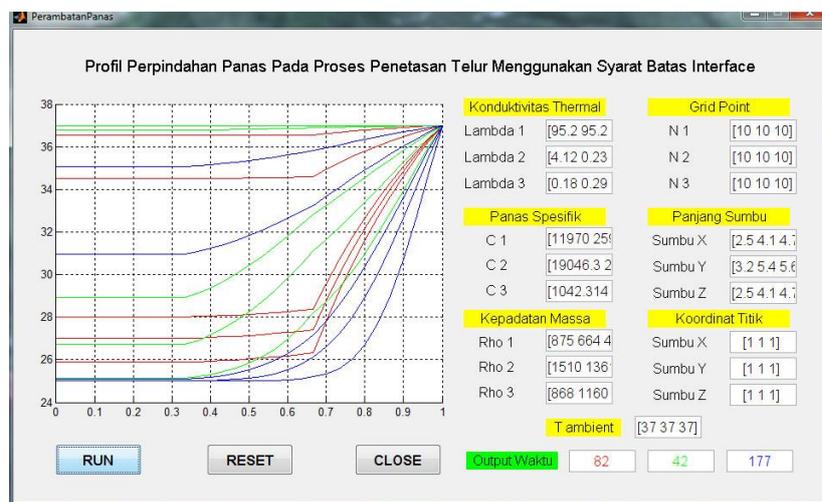
dan (4.7cm;5.6cm;4.7cm). Sedangkan untuk parameter-parameter yang lain menggunakan data yang tersedia dari hasil pengukuran yang disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai-nilai fisik beberapa jenis telur

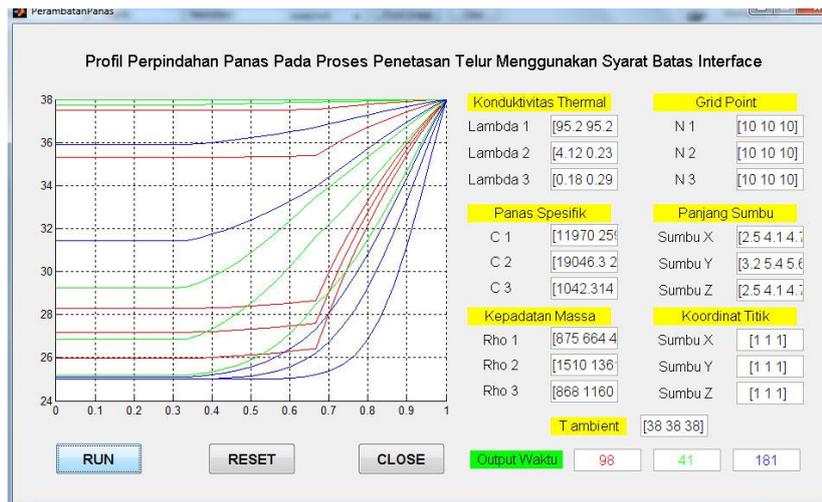
Jenis Telur	Lapisan	Konduktivitas Termal (W/m ² °C)	Panas Spesifik (J/Kg°C)	Kepadatan massa (Kg/m ³)
Puyuh	Cangkang	95.2	11970	875
	Putih Telur	4.12	19046.3	1510
	Kuning Telur	0.18	1042.31	868
Ayam	Cangkang	95.2	2595.32	664
	Putih Telur	0.23	2134.86	1361.87
	Kuning Telur	0.29	2762.76	1160
Bebek	Cangkang	107.1	3851.12	483.5
	Putih Telur	0.11	1423.24	2252.5
	Kuning Telur	0.08	2302.3	997.92

Pembuatan program dalam penelitian ini akan menggunakan *software* Matlab, dimana untuk menyelesaikan model perpindahan panas pada proses penetasan telur akan digunakan metode- θ . Untuk mempermudah dan menganalisis pengaruh dari variasi masing-masing parameter, variasi akan dilakukan secara bergantian. Sebagai contoh, jika suhu lingkungan ($T_{ambient}$) divariasikan, maka panjang sumbu telur untuk puyuh, ayam, dan bebek dianggap konstan. Begitu pula sebaliknya, jika panjang sumbu telur divariasikan, suhu lingkungan ($T_{ambient}$) dianggap tetap.

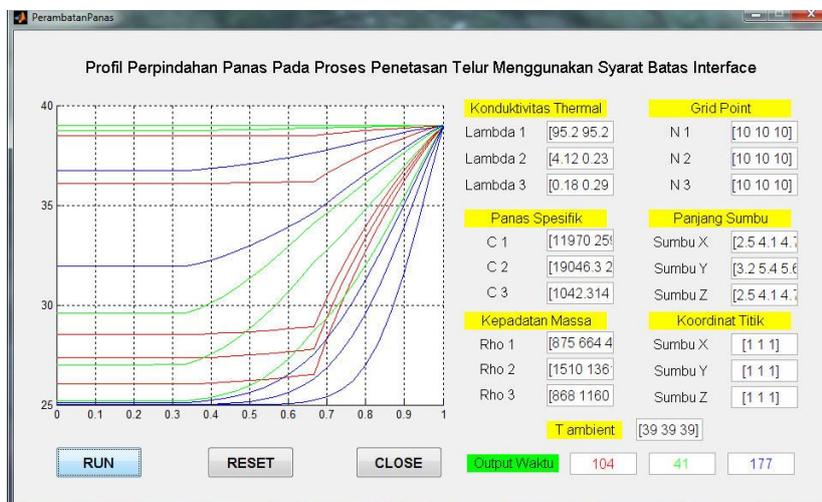
Dalam bagian ini akan diberikan hasil simulasi serta visualisasi perpindahan panas telur puyuh, ayam, dan bebek dengan variasi temperatur lingkungan ($T_{ambient}$) sebesar 37°C, 38°C, dan 39°C. Hasil simulasi serta visualisasi tersebut dapat dilihat pada gambar 2, 3, dan 4 sebagai berikut:



Gambar 2. Profil perpindahan panas pada telur puyuh, ayam, dan bebek dengan temperatur 37°C



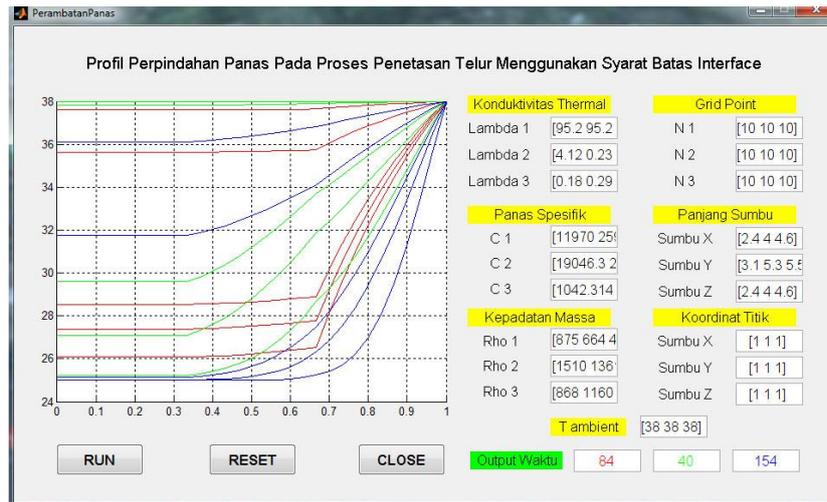
Gambar 3. Profil perpindahan panas pada telur puyuh, ayam, dan bebek dengan temperatur 38°C



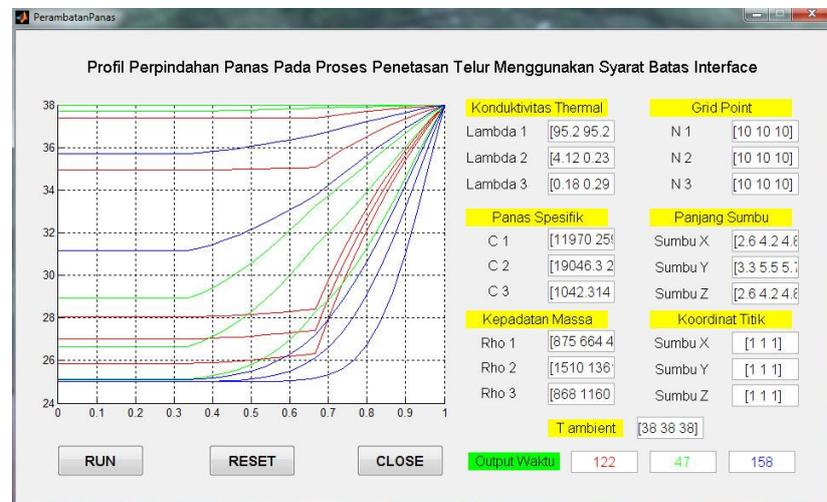
Gambar 4. Profil perpindahan panas pada telur puyuh, ayam, dan bebek dengan temperatur 39°C

Sebagai keterangan, garis atau grafik berwarna merah, hijau, biru masing-masing pada Gambar 2, 3, dan 5 adalah penanda untuk profil perpindahan panas pada telur puyuh, ayam, dan bebek.

Selanjutnya, hasil simulasi serta visualisasi perpindahan panas telur puyuh, ayam, dan bebek dengan variasi temperatur panjang sumbu dibawah rata-rata dan diatas rata-rata disajikan pada gambar 6 dan 7. Dari hasil simulasi serta visualisasi tersebut, kita dapat melihat waktu yang diperlukan telur puyuh, ayam, dan bebek untuk menstabilkan temperatur dengan variasi temperatur lingkungan ($T_{ambient}$) dan variasi panjang sumbu. Secara ringkas hasil tersebut disajikan dalam Tabel 2 dan Tabel 3.



Gambar 5. Profil perpindahan panas pada telur puyuh, ayam dan bebek dengan temperatur 38°C dan panjang sumbu di bawah rata-rata



Gambar 6. Profil perpindahan panas pada telur puyuh, ayam dan bebek dengan temperatur 38°C dan panjang sumbu di atas rata-rata

Tabel 2. Ringkasan hasil simulasi dengan variasi temperatur lingkungan (T_{ambient})

Jenis Telur	37°C	38°C	39°C
Puyuh	82 detik	98 detik	104 detik
Ayam	42 detik	41 detik	41 detik
Bebek	177 detik	181 detik	177 detik

Tabel 3. Ringkasan hasil simulasi dengan variasi panjang sumbu telur

Jenis Telur	Panjang sumbu di bawah rata-rata	Panjang sumbu rata-rata	Panjang sumbu di atas rata-rata
Puyuh	84 detik	98 detik	122 detik
Ayam	40 detik	41 detik	47 detik
Bebek	154 detik	181 detik	158 detik

Jika diamati pada Tabel 2 pada telur puyuh, waktu tercepat untuk menstabilkan temperatur telur yaitu 82 detik dengan temperatur 37°C . Kemudian pada telur ayam, waktu tercepat untuk menstabilkan temperatur telur yaitu 40 detik dengan temperatur 37°C . Sedangkan pada telur bebek, waktu tercepat untuk menstabilkan temperatur telur yaitu 154 detik dengan temperatur 37°C . Temperatur dikatakan stabil apabila temperatur pada cangkang telur, kulit telur, dan kuning telur nilainya sama.

Bila diamati, nilai-nilai fisik telur pada Tabel 1 memiliki karakteristik sebagai berikut :

1. Telur puyuh memiliki rata-rata panas spesifik yang tinggi.
2. Telur bebek memiliki rata-rata konduktivitas termal yang rendah.
3. Ketiga jenis telur memiliki massa jenis dengan rata-rata yang hampir sama besar.

Menurut prinsip fisika [15], telur yang memiliki konduktivitas termal lebih tinggi, kalor jenis lebih rendah, dan massa jenis lebih besar cenderung mengalami perpindahan panas yang lebih cepat. Hasil simulasi yang disajikan dalam Tabel 2 dan Tabel 3 sesuai dengan prinsip ini. Telur ayam, dengan sifat fisik yang mendukung, menunjukkan laju perpindahan panas yang lebih cepat daripada telur puyuh dan telur bebek.

Bila diamati pada Tabel 3, terdapat pengaruh variasi panjang sumbu terhadap lama waktu penstabilan temperatur telur. Pada telur puyuh, ayam, dan bebek perpindahan panas tercepat apabila panjang sumbu mayor dibawah rata-rata. Hal ini kemungkinan disebabkan semakin pendek sumbu telur yang berakibat perpindahan panas pada telur membutuhkan waktu yang singkat.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa : (1) Telur ayam memiliki perpindahan panas yang paling cepat, sedangkan telur bebek memiliki perpindahan panas yang paling lambat. (2) Dilihat dari segi temperatur lingkungan (T_{ambien}), telur puyuh memiliki perpindahan panas yang cepat apabila dipanaskan pada temperatur 37°C , telur ayam memiliki perpindahan panas yang cepat apabila dipanaskan pada temperatur 38°C atau 39°C , dan telur bebek memiliki perpindahan panas yang cepat apabila dipanaskan pada temperatur 37°C atau 39°C , dan (3) dilihat dari segi panjang sumbu telur, telur puyuh, ayam, dan bebek memiliki perpindahan panas yang cepat apabila panjang sumbu telur dibawah rata-rata.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan artikel ini, serta kepada Universitas PGRI Argopuro Jember.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Kartasudjana, *MODUL PROGRAM KEAHLIAN BUDIDAYA TERNAK : PENETASAN TELUR*. 2001.
- [2] D. Jufril, Darwison, B. Rahmadya, and Derisma, "IMPLEMENTASI MESIN PENETAS TELUR AYAM OTOMATIS MENGGUNAKAN METODA FUZZY LOGIC CONTROL," in *Seminar Nasional Sains dan Teknologi 2015*, 2015.
- [3] M. Nur Aziz, "Analisa Laju Aliran Kalor pada Inkubator Penetas Telur Ayam Otomatis menggunakan Thermostat Digital," 2021.
- [4] Nasruddin and Z. Arif, "Analisa Perubahan Temperatur dan Kelembaban Relatif pada Inkubator Penetas Telur yang Menggunakan Fan dan Tidak Menggunakan Fan," *Jurutera : Jurnal Ilmiah*, vol. 01, no. 01, pp. 32–35, 2014, [Online]. Available: www.teknik.unsam.ac.id
- [5] G. Irwan Ragut, "KARATERISTIK PERPINDAHAN PANAS PADA PENETAS TELUR DENGAN MENGGUNAKAN INKUBATOR KAPASITAS 30 BUTIR TELUR," 2023.
- [6] F. Geofanny, "ANALISIS LAJU PERPINDAHAN PANAS RADIASI PADA INKUBATOR PENETAS TELUR AYAM ARAB MENGGUNAKAN PEMANAS KERAMIK," 2020.
- [7] A. Johan F, A. Mufarida, and A. Efan N, "ANALISIS LAJU PERPINDAHAN PANAS RADIASI PADA INKUBATOR PENETAS TELUR AYAM BERKAPASITAS 30 BUTIR," *J-Proteksion : Jurnal Kajian Ilmiah dan Teknologi Teknik Mesin*, vol. 01, no. 01, pp. 28–36, 2016, [Online]. Available: <http://id.wikipedia.org/wiki/>
- [8] Ary Santony, Himsar Ambarita, Andianto Pintoro, Mahadi, Suprianto, and D. M. Nasution, "KAJIAN NUMERIK DAN EKSPERIMENTAL PROSES PERPINDAHAN PANAS DAN PERPINDAHAN MASSA PADA PENGERINGAN," *DINAMIS*, vol. 5, no. 1, Mar. 2017, doi: 10.32734/dinamis.v5i1.7040.
- [9] R. A. Koestoer, *Perpindahan Kalor Untuk Mahasiswa Teknik*. Jakarta: Salemba Teknika, 2002.
- [10] J. Irdiati, "SIMULASI MODEL PERPINDAHAN PANAS PADA PROSES STERILISASI PENGALENGAN IKAN TUNA," 2013.
- [11] F. Fuazen, E. Elandi, and G. Gunarto, "ANALISA EFISIENSI KALOR PADA ALAT PENETAS TELUR," *Suara Teknik: Jurnal Ilmiah*, vol. 10, no. 2, Apr. 2019, doi: 10.29406/stek.v10i1.1541.
- [12] Y. Trisantoro, "Model Perpindahan Panas pada Benda-Benda Ellipsoida," 2002.
- [13] A. Mukhtar, R. Hermana, D. A. Pamungkas, A. Burhanuddin, and H. Ma'mun, "CONTROL OF EGG HATCHER TEMPERATURE AND HUMIDITY WITH AIR AS A MATLAB-BASED CONTROL," *AutoMech : Jurnal Teknik Mesin*, vol. 2, no. 01, Jun. 2022, doi: 10.24269/jtm.v2i01.5351.
- [14] A. Mukhtar, R. Hermana, O. Prio, H. Ma'mun, and A. Burhanudin, "Pemodelan dan Simulasi Perambatan Panas dan Laju Aliran Udara Pada Mesin Penetas Telur Statis Menggunakan Computational Fluid Dynamics Software," *IRA Jurnal Teknik Mesin dan Aplikasinya (IRAJTMA)*, vol. 2, no. 2, pp. 9–18, Aug. 2023, doi: 10.56862/irajtma.v2i2.55.

----- Vol 13(1), Maret 2024, Halaman 39 - 48 -----

- [15] Y. A. Cengel and A. J. Ghajar, *Heat and Mass Transfer: Fundamentals and Applications (5th ed.)*. McGraw-Hill Education. 2015.