

## ANALISIS DISTRIBUSI SUHU PADA RANCANG BANGUN PENETAS TELUR AYAM BERBAHAN KERAMIK

### ANALYSIS OF TEMPERATURE DISTRIBUTION OF CHICKEN EGG HATCHING INCUBATOR MADE FROM CERAMIC

Oleh : Sindhu Madya Z. P.<sup>1</sup>, Agus Purwanto<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Program Studi Fisika FMIPA UNY

<sup>2</sup>Dosen Program Studi Fisika FMIPA UNY

[sindhumadya@gmail.com](mailto:sindhumadya@gmail.com)

#### ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk (1) mengetahui pola distribusi suhu dalam inkubator penetasan telur ayam, (2) mengetahui pemerataan distribusi suhu pada inkubator penetasan telur ayam berbahan keramik, dan (3) mengetahui suhu dinding-dinding inkubator agar distribusi suhu di dalam inkubator penetasan tersebar merata pada *range* (38,5-40,5) °C. Metode untuk mengetahui distribusi suhu inkubator penetasan telur ayam adalah dengan metode analitik dari penyelesaian persamaan difusi panas pada inkubator penetasan. Karena inkubator penetasan berbentuk kotak berukuran 28 cm × 27 cm × 27 cm dengan sumber pemanas kawat nikelin, penyelesaian persamaan difusi panas memanfaatkan persamaan difusi panas pada koordinat kartesian dan menggunakan metode pemisahan variabel. Untuk mendapatkan pola distribusi suhu dan melihat pemerataan distribusi suhu di dalam ruang penetasan telur, maka penyelesaian persamaan difusi panas pada inkubator penetasan divisualisasikan menggunakan *software Matlab R2013a*. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa pola distribusi suhu inkubator berfluktuasi berdasarkan fungsi waktu dan posisi. Pertambahan waktu menunjukkan bahwa suhu mencapai keadaan kesetimbangan (*steady-state*). Perbedaan posisi menunjukkan bahwa suhu memiliki nilai yang berbeda-beda dalam *range* (34,7-41,2) °C. Hasil pemerataan suhu ruang inkubator berdasarkan visualisasi dengan *software Matlab R2013a* menggambarkan bahwa distribusi suhu merata di dalam inkubator penetasan telur ayam dan pada sebagian besar titik diperoleh suhu ruang yang sesuai untuk penetasan telur ayam pada *range* (38,5-40,5) °C.

**Kata kunci:** *difusi panas, inkubator penetasan telur, visualisasi, distribusi suhu.*

#### ABSTRACT

*This research was aimed to (1) know the pattern of distribution of temperature of chicken egg hatching incubator (2) know of the evenness of distribution of temperature in the incubator made from ceramics, and (3) know the temperature of the walls of the incubator so that the distribution of temperature in the incubator spread evenly on the range of (38,5-40,5) °C. The method to find out the distribution of temperature of incubator was by using analytical method to solve heat diffusion equation in Cartesian coordinates using the method of separation of variables. In order to see clearly the distribution of temperature in incubator, the solution of heat diffusion equations was visualized by using Matlab R2013a. The results of this research showed that the pattern of distribution of the temperature of incubator fluctuated as a function of time and position. Increased time indicated that the temperature reached a state of equilibrium (steady-state). The difference of the position indicated that the temperature had different values in the range of (34,7-41,2) °C. Visualization using Matlab R2013a illustrated that the temperature was distributed evenly inside the incubator and at several points the temperature for hatching chicken eggs was on the range of (38,5-40,5) °C.*

**Keywords:** *diffusion of heat, hatching incubator, visualization, distribution of temperature.*

## PENDAHULUAN

Saat ini berkembang dengan cepat teknologi elektronika yang ditandai dengan terciptanya alat dengan sistem otomatisasi. Salah satu contohnya adalah tercipta alat penetas telur ayam berbahan keramik dengan sumber pemanas kawat nikelin. Alat ini bekerja dengan sistem otomatisasi yang mengontrol suhu dan kelembaban di dalam ruang inkubator penetasan telur ayam. Sebagian besar alat penetasan telur ayam memiliki sensor yang terletak pada titik tertentu saja, sehingga pengontrolan hanya tergantung pada kondisi di sekitar titik penempatan sensor. Namun suhu dalam inkubator penetasan tidak dapat diketahui terdistribusi secara merata atau tidak.

Fenomena distribusi suhu pada alat penetasan telur ayam berbahan keramik dapat divisualisasikan dengan menggunakan *software Matlab R2013a*. Ruang penetasan telur ayam merupakan ruang dimensi 3, sehingga dalam visualisasi distribusi suhu memerlukan penyelesaian persamaan difusi panas dimensi 3. Distribusi suhu dalam inkubator penetasan dipengaruhi oleh syarat batas yang digunakan dalam persamaan difusi panas yang diperoleh dari suhu pada dinding-dinding inkubator. Hasil visualisasi menggambarkan distribusi suhu di dalam inkubator penetasan.

Distribusi suhu di dalam ruang inkubator penetasan telur ayam dapat diketahui dengan metode tersebut. Hasil visualisasi dapat diaplikasikan dalam memproduksi alat penetasan telur untuk mengontrol dan mendapatkan distribusi suhu yang baik sesuai dengan *range* suhu untuk penetasan telur ayam. Suhu untuk perkembangan embrio telur ayam adalah pada kisaran  $38,5^{\circ}\text{C}$  sampai dengan  $40,5^{\circ}\text{C}$  (Jutawan, 2005: 2). Jika suhu melebihi atau kurang dari kisaran suhu penetasan telur, kemungkinan telur tidak bisa menetas dengan baik.

## METODE PENELITIAN

### Jenis Penelitian

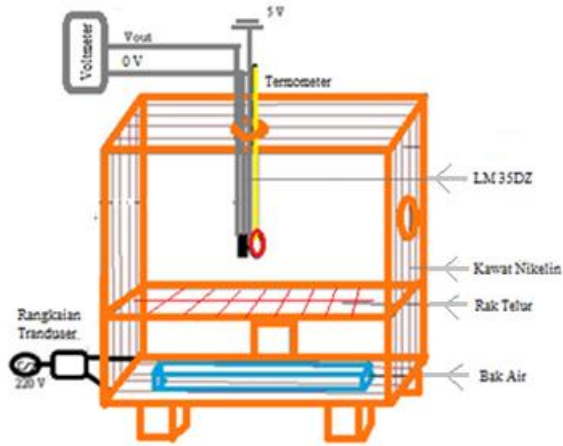
Penelitian ini merupakan jenis penelitian pengembangan (teoritis). Penelitian berdasarkan hasil analisis persamaan difusi panas dimensi 3 pada inkubator penetasan. Solusi difusi panas inkubator selanjutnya divisualisasikan menggunakan *software Matlab R2013a*. Hasil visualisasi tersebut menggambarkan distribusi suhu di ruang inkubator penetasan telur ayam berbahan keramik.

### Waktu dan Tempat Penelitian

Proses eksperimen dilaksanakan selama bulan Oktober 2014 sampai dengan bulan April 2015. Sedangkan proses visualisasi menggunakan *software Matlab R2013a* dilaksanakan pada bulan April 2015 sampai dengan bulan September 2015. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi Jurusan Pendidikan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Yogyakarta.

### Prosedur Penelitian

Tahap pertama dalam penelitian ini adalah perancangan kontruksi inkubator penetasan telur ayam berbahan keramik dengan ukuran  $(28 \times 27 \times 27)\text{cm}^3$ . Sumber pemanas berasal dari lilitan kawat Nikelin sepanjang 5 m dengan hambatan totalnya  $375,6 \Omega$  yang dililitkan pada bagian luar inkubator dan dihubungkan dengan tegangan sumber AC PLN 220 V. Kontruksi inkubator penetasan telur ini ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Inkubator penetasan telur ayam

Tahapan yang kedua adalah pengukuran suhu pada dinding-dinding inkubator penetasan telur ayam berbahan keramik dan distribusi suhu di dalam ruang penetasan. Suhu dari pengukuran tersebut digunakan untuk menyelesaikan persamaan difusi panas dimensi 3 pada inkubator penetasan.

**Teknik Analisis Data**

Analisis yang pertama adalah penyelesaian persamaan difusi panas untuk menentukan distribusi suhu pada inkubator penetas telur ayam. Karena inkubator penetas telur ayam berbentuk kotak, maka persamaan difusi panas menggunakan koordinat kartesian berdimensi 3, yaitu

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \frac{1}{\alpha^2} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1)$$

$\alpha^2$  merupakan nilai difusivitas udara yang berada di ruang inkubator penetasan. Nilai difusivitas udara pada suhu 27°C adalah  $2,2 \times 10^{-5} m^2/s$  ( Lienhard IV, 2003: 714).

Persamaan (1) merupakan persamaan non-homogen yang dapat diselesaikan dengan mengubah persamaan non-homogen menjadi homogen dan selanjutnya dapat diselesaikan dengan metode pemisahan variabel (*separation of variables method*). Proses pengubahan persamaan panas tersebut memanfaatkan kondisi suhu setimbang  $T_E$  ( $E$  dari kata “*Equilibrium*”), sehingga distribusi suhu

inkubator kondisi kesetimbangan (*steady-state*) dinyatakan dengan enam solusi persamaan difusi panas, dimana dari ke enam syarat batas lima batas memiliki nilai nol.

Analisis yang ke dua adalah memvisualisasikan hasil solusi dari persamaan (1) menggunakan *software Matlab R2013a* dalam grafik dimensi 3 yang merupakan distribusi suhu di ruang inkubator penetasan telur. Untuk mendapatkan hasil yang lebih jelas, maka solusi dari penyelesaian difusi panas divisualisasikan satu persatu.

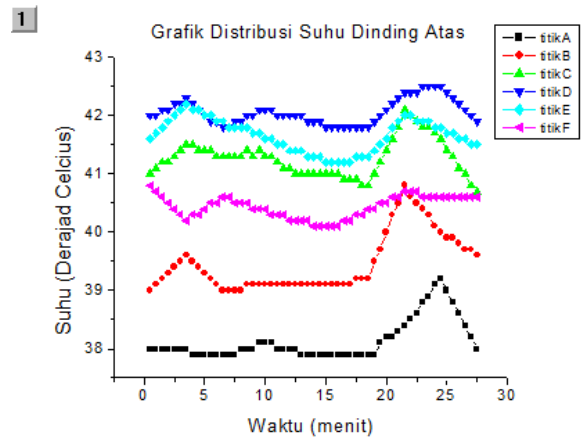
**HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

**A. Eksperimen Pengukuran Suhu Inkubator Penetasan Telur Ayam**

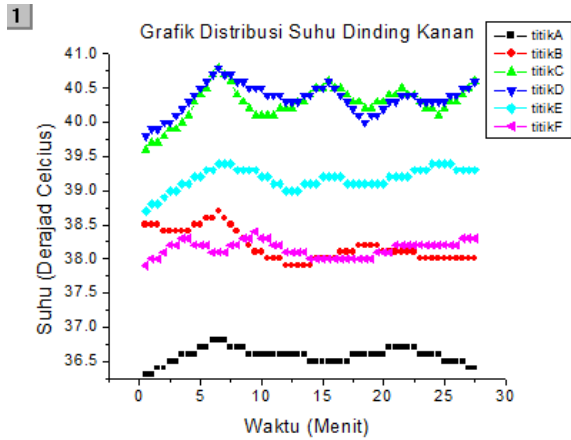
**1. Pengukuran Suhu Dinding Inkubator**

Hasil pengukuran suhu dengan sensor LM 35DZ ditunjukkan oleh grafik distribusi suhu terhadap waktu pada Gambar 2, 3, 4, 5, 6, dan 7. Semua koordinat dinyatakan dalam satuan cm.

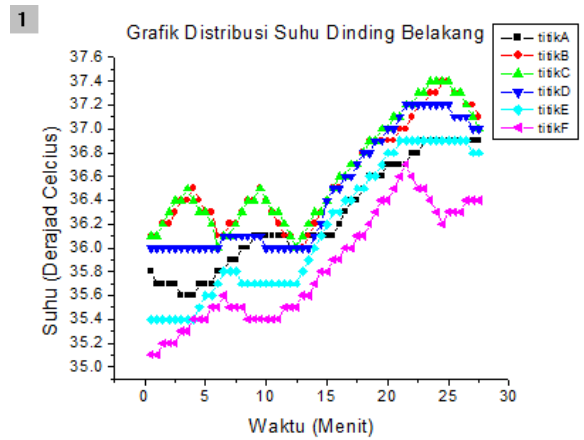
Gambar 2, 3, 4, dan 5 memiliki titik A hingga F. Titik A berada pada koordinat (4, 13,5), diukur dari pojok atas (0, 0). Titik B berkoordinat (8, 13,5), titik C (12, 13,5), titik D (16, 13,5), titik E (20, 13,5) dan titik F (24, 13,5).



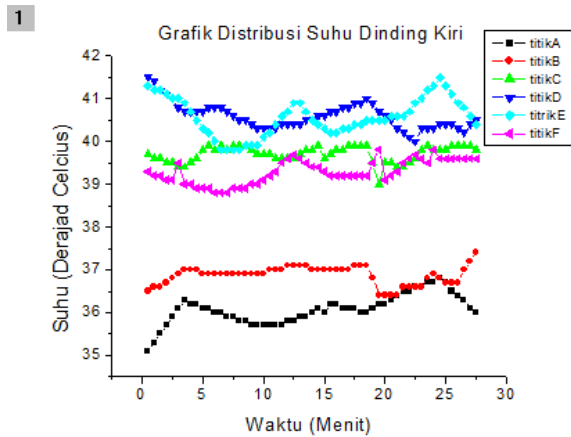
Gambar 2. Grafik distribusi suhu dinding atas



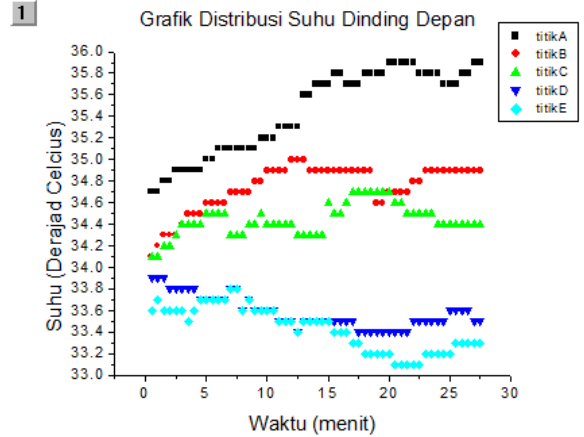
Gambar 3. Grafik distribusi suhu dinding kanan



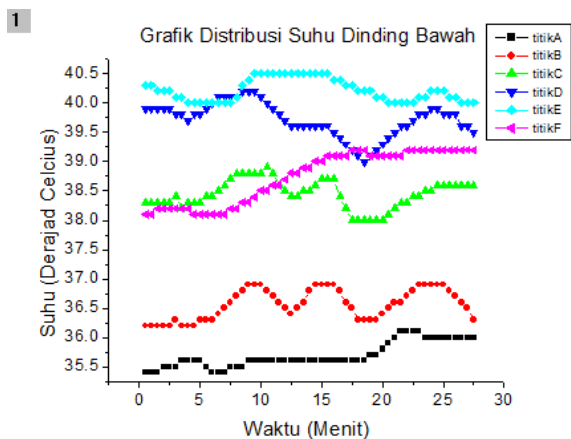
Gambar 6. Grafik distribusi suhu dinding belakang



Gambar 4. Grafik distribusi suhu dinding kiri



Gambar 7. Grafik distribusi suhu dinding depan



Gambar 5. Grafik distribusi suhu dinding bawah

Gambar 6 dan 7 memiliki titik A berada pada koordinat (13,5, 4), diukur dari sudut belakang (0, 0). Titik B berkoordinat (13,5, 8), titik C (13,5, 12), titik D (13,5, 16), titik E (13,5, 20) dan titik F (13,5, 24). Tetapi, Gambar 7 hanya memiliki 5 titik yaitu titik A hingga E.

Suhu yang digunakan sebagai syarat batas pada perhitungan matematis adalah suhu yang konstan, yang dipilih dari salah satu nilai berdasarkan ke enam data pada masing-masing dinding. Pada Gambar 2, 3, 4, 5, dan 6 suhu yang digunakan sebagai syarat batas adalah suhu rata-rata pada titik D dan pada Gambar 7 suhu rata-rata pada titik B.

Titik yang dipilih berada pada titik tengah dari ke enam data, hal ini karena titik tersebut terletak antara kawat yang menghantarkan panas dan kawat yang tidak menghantarkan panas. Sebagai rangkuman, Tabel 1 menyajikan nilai suhu yang digunakan sebagai syarat batas pada ke-enam dinding inkubator,

Tabel 1. Suhu dinding inkubator

Dinding	Suhu (°C)
Belakang	36,6
Depan	34,7
Kiri	40,6
Kanan	40,4
Bawah	39,7
Atas	42,1

2. Pengukuran perubahan suhu ruang inkubator penetasan terhadap waktu

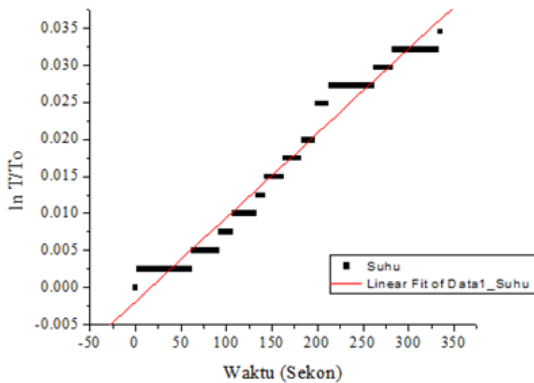
Pengukuran perubahan suhu terhadap waktu bertujuan untuk mengetahui nilai konstanta  $f^2$  dari persamaan difusi panas, yaitu

$$-\frac{1}{\alpha^2} \frac{dT}{T dt} = -f^2 \quad (2)$$

Persamaan (2) dapat diintegrasikan dan menjadi persamaan (3),

$$\ln \frac{T}{T_0} = f^2 \alpha^2 t. \quad (3)$$

Berdasarkan hasil eksperimen diperoleh nilai perubahan suhu ruang inkubator terhadap waktu yang ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik  $\ln T/T_0$  terhadap waktu

Berdasarkan pada persamaan (3) nilai konstanta  $f^2$  diperoleh dari nilai gradien pada grafik perubahan suhu terhadap waktu dan membaginya dengan nilai difusivitas udara pada suhu 27°C. Nilai gradien pada Gambar 8 sebesar  $(1,14 \pm 0,03) 10^{-4}/s$  dan nilai difusivitas udara adalah  $2,2 \times 10^{-5} m^2/s$ , sehingga diperoleh nilai konstanta  $f^2$  sebesar  $(5,1 \pm 0,1)/m^2$ . Nilai tersebut adalah nilai konstanta yang melengkapi nilai perubahan suhu pada kondisi *transient*, dimana nilai tersebut dikalikan dengan nilai difusivitas dan waktu.

**B. Difusi Panas dalam Inkubator Penetas Telur Ayam Berbahan Keramik**

Analisis persamaan difusi panas menghasilkan solusi distribusi suhu pada inkubator penetas telur ayam pada kondisi kesetimbangan (*steady-state*) sebagai berikut.

$$T_E(x, y, z) = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{q=1}^{\infty} \frac{16}{mq\pi^2} \frac{36,6}{\sinh \sqrt{\left(\left(\frac{m\pi}{b}\right)^2 + \left(\frac{q\pi}{c}\right)^2\right) a}} \sinh \sqrt{\left(\left(\frac{m\pi}{b}\right)^2 + \left(\frac{q\pi}{c}\right)^2\right) (a-x)} \sin \frac{m\pi y}{b} \sin \frac{q\pi z}{c} + \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{q=1}^{\infty} \frac{16}{mq\pi^2} \frac{34,7}{\sinh \sqrt{\left(\left(\frac{m\pi}{b}\right)^2 + \left(\frac{q\pi}{c}\right)^2\right) a}} \sinh \sqrt{\left(\left(\frac{m\pi}{b}\right)^2 + \left(\frac{q\pi}{c}\right)^2\right) x} \sin \frac{m\pi y}{b} \sin \frac{q\pi z}{c} + \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{q=1}^{\infty} \frac{16}{nq\pi^2} \frac{40,6}{\sinh \sqrt{\left(\left(\frac{n\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{q\pi}{c}\right)^2\right) b}} \sinh \sqrt{\left(\left(\frac{n\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{q\pi}{c}\right)^2\right) (b-y)} \sin \frac{n\pi x}{a} \sin \frac{q\pi z}{c} + \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{q=1}^{\infty} \frac{16}{nq\pi^2} \frac{40,4}{\sinh \sqrt{\left(\left(\frac{n\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{q\pi}{c}\right)^2\right) b}} \sinh \sqrt{\left(\left(\frac{n\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{q\pi}{c}\right)^2\right) b} \sin \frac{n\pi x}{a} \sin \frac{q\pi z}{c}$$

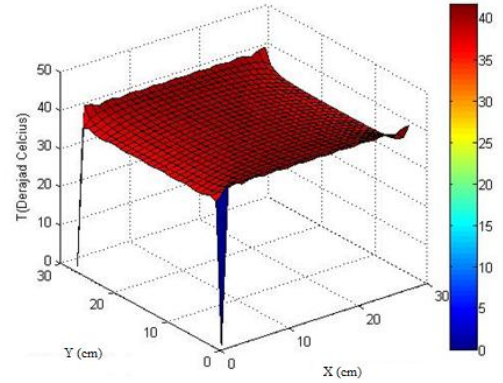
$$\begin{aligned}
 & + \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{16}{nm\pi^2} \frac{39,7}{\sinh \sqrt{\left(\left(\frac{n\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{m\pi}{b}\right)^2\right) c}} \\
 & \sinh \sqrt{\left(\left(\frac{n\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{m\pi}{b}\right)^2\right) (c-z)} \sin \frac{n\pi x}{a} \sin \frac{m\pi y}{b} \\
 & + \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{16}{nm\pi^2} \frac{42,1}{\sinh \sqrt{\left(\left(\frac{n\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{m\pi}{b}\right)^2\right) c}} \\
 & \sinh \sqrt{\left(\left(\frac{n\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{m\pi}{b}\right)^2\right) z} \sin \frac{n\pi x}{a} \sin \frac{m\pi y}{b} \quad (4)
 \end{aligned}$$

Solusi kondisi *transient* memenuhi persamaan (5) yaitu,

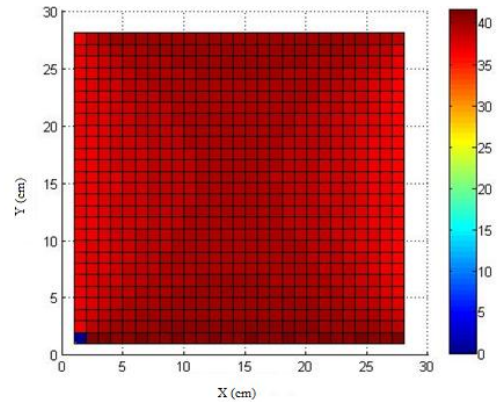
$$\begin{aligned}
 v(x, y, z, t) = & \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{q=1}^{\infty} \frac{8}{nmq\pi^3} \left( 72 - 4 \left( \frac{36,6 + 2 \cdot 34,7}{1 + \left( \frac{a^2}{\pi^2 \pi^2} \left( \left( \frac{m\pi}{b} \right)^2 + \left( \frac{q\pi}{c} \right)^2 \right)} \right) \right. \right. \\
 & \left. \left. + \frac{40,6 + 2 \cdot 40,4}{1 + \left( \frac{b^2}{\pi^2 \pi^2} \left( \left( \frac{n\pi}{a} \right)^2 + \left( \frac{q\pi}{c} \right)^2 \right)} \right)} + \frac{39,7 + 2 \cdot 42,1}{1 + \left( \frac{c^2}{\pi^2 \pi^2} \left( \left( \frac{n\pi}{a} \right)^2 + \left( \frac{m\pi}{b} \right)^2 \right)} \right)} \right) \\
 & \sin \frac{n\pi x}{a} \sin \frac{m\pi y}{b} \sin \frac{q\pi z}{c} e^{-f^2 \alpha^2 t}. \quad (5)
 \end{aligned}$$

Persamaan (4) merupakan solusi dari kondisi kesetimbangan (*steady-state*) dan persamaan (5) merupakan solusi dari kondisi *transient* yang diselesaikan berdasarkan metode menurut Bernatz (2010: 150-154) dengan menerapkan pada kasus dimensi 3 yang sesuai dengan bentuk inkubator penetasan telur ayam.

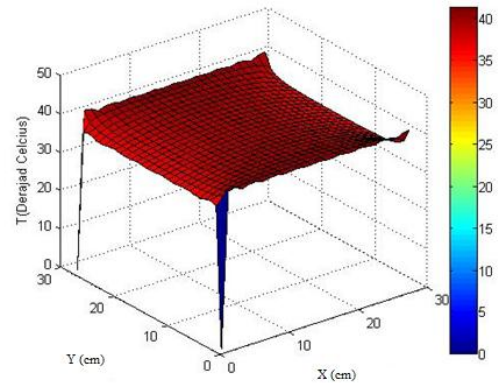
Untuk melihat distribusi suhu pada kondisi kesetimbangan (*steady-state*) solusi pada persamaan (4) di-plotting dalam *software Matlab R2013a* dengan posisi *z* memiliki nilai tertentu, yaitu *z* = 7 cm, *z* = 13 cm, dan *z* = 20 cm sedangkan posisi *x* dan *y* memiliki nilai antara (0-27) cm. Hasil visualisasi distribusi suhu dalam kondisi *steady-state* ditunjukkan pada Gambar 9, 10, 11, 12, 13, dan 14.



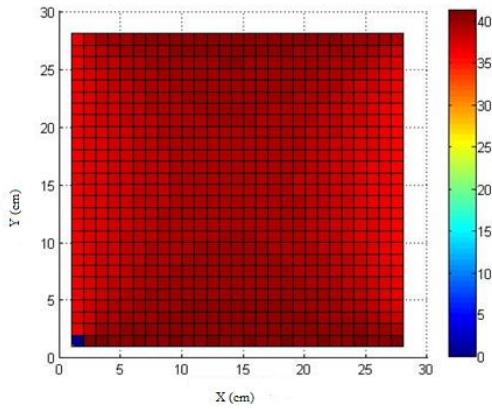
Gambar 9. Distribusi suhu inkubator kondisi *steady-state* pada posisi *z* = 7 cm



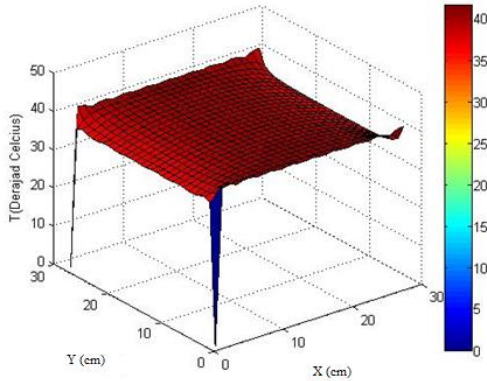
Gambar 10. *Contour* distribusi suhu inkubator *steady-state* pada posisi *z* = 7 cm



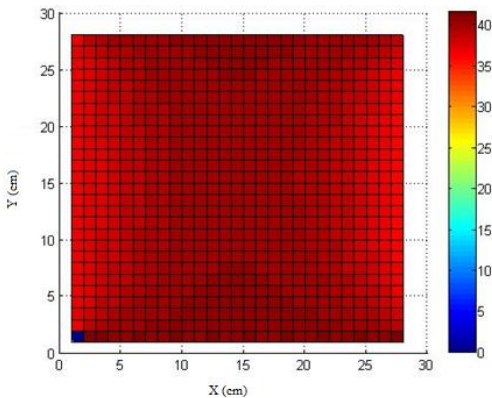
Gambar 11. Distribusi suhu inkubator kondisi *steady-state* pada posisi *z* = 13 cm



Gambar 12. *Contour* distribusi suhu inkubator kondisi *steady-state* pada posisi  $z = 13$  cm



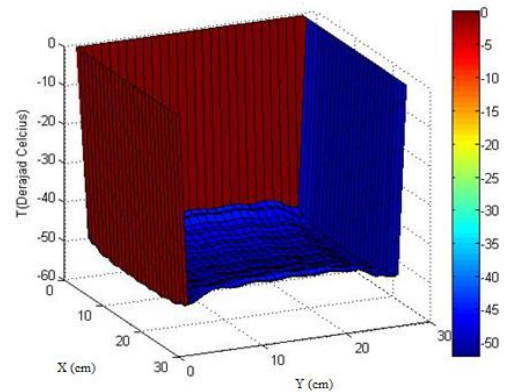
Gambar 13. Distribusi suhu inkubator kondisi *steady-state* pada posisi  $z = 20$  cm



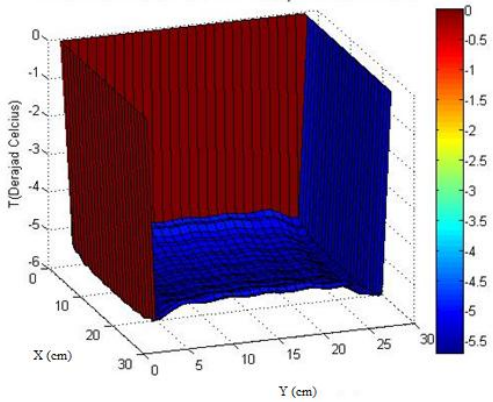
Gambar 14. *Contour* distribusi suhu inkubator kondisi *steady-state* pada posisi  $z = 20$  cm

Gambar 9, 10, 11, 12, 13, dan 14 menjelaskan bahwa panas merambat dari dinding inkubator ke dalam ruangan inkubator. Gambar 10, 12, dan 14 merupakan *contour* distribusi suhu pada posisi  $z = 7$  cm, 13 cm dan 20 cm dimana gambar tersebut memperlihatkan bahwa suhu tersebar dalam ruang inkubator secara merata pada *range* suhu (35,5-41,6) °C. Distribusi suhu di dalam ruang inkubator berada dalam *range* suhu yang sesuai dengan suhu dinding inkubator yang digunakan sebagai syarat batas.

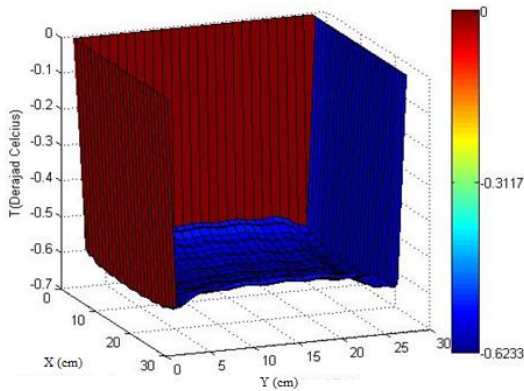
Distribusi suhu kondisi *transient* pada inkubator dapat terlihat lebih jelas dengan mem-*plotting*-nya menggunakan *software Matlab R2013a*, dimana solusi (5) di-*plotting* pada posisi  $z$  dan waktu  $t$  yang memiliki nilai tertentu, yaitu  $z = 13$  cm,  $t = 1$  s,  $t = 19500$  s, dan  $t = 39000$  s, sedangkan posisi  $x$  dan  $y$  memiliki nilai antara (0-27) cm. Hasil visualisasi distribusi suhu dalam kondisi *transient* ditunjukkan pada Gambar 15, 16, dan 17.



Gambar 15. Distribusi suhu inkubator kondisi *transient* pada  $t = 1$  s dan  $z = 13$  cm



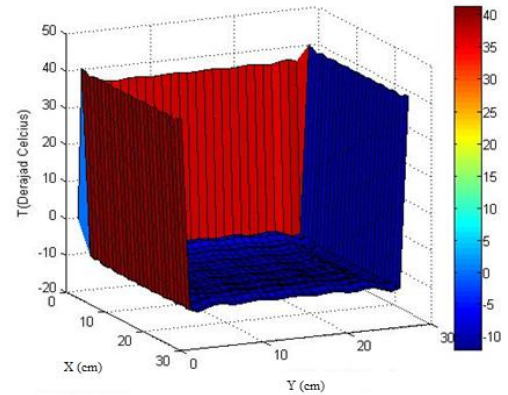
Gambar 16. Distribusi suhu inkubator kondisi *transient* pada  $t = 19500$  s dan  $z = 13$  cm



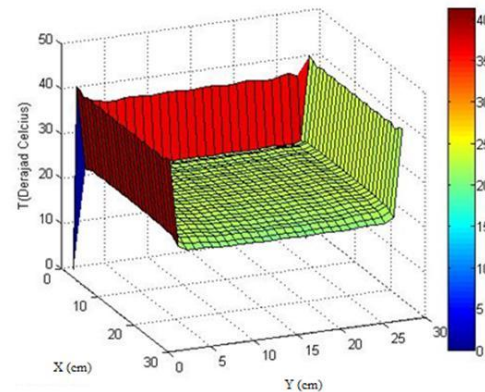
Gambar 17. Distribusi suhu inkubator kondisi *transient* pada  $t = 39000$  s dan  $z = 13$  cm

Gambar 15, 16, dan 17 menjelaskan bahwa panas membutuhkan waktu 39000 s atau 10 jam 50 menit untuk dapat mencapai suhu kesetimbangan (*steady-state*) yang ditunjukkan oleh nilai suhu *transient* yang semakin kecil seiring dengan pertambahan waktu. Hal ini berarti bahwa semakin lama waktu pemanasan solusi *transient* inkubator penetasan telur tidak berpengaruh pada distribusi suhu inkubator karena faktor eksponensial yang berpangkat negatif pada persamaan (5).

Solusi pada persamaan (4) dijumlahkan dengan persamaan (5) yang merupakan kondisi kesetimbangan (*steady-state*) dan *transient*. Ke dua solusi tersebut di-*plotting* menggunakan *software Matlab R2013a* dengan posisi  $z$  dan  $t$  memiliki nilai tertentu, yaitu  $z = 13$  cm,  $t = 1$  s,  $t = 9750$  s,  $t = 19500$  s,  $t = 29250$  s, dan  $t = 39000$  s, sedangkan posisi  $x$  dan  $y$  memiliki nilai antara (0-27) cm. Hasil visualisasi distribusi suhu dalam kondisi *steady-state* dan *transient* ditunjukkan pada Gambar 18, 19, 20, 21, dan 22.



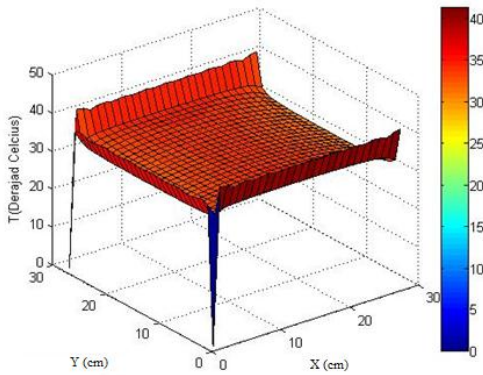
Gambar 18. Distribusi suhu inkubator kondisi *steady-state* dan *transient* pada  $t = 1$  s dan  $z = 13$  cm



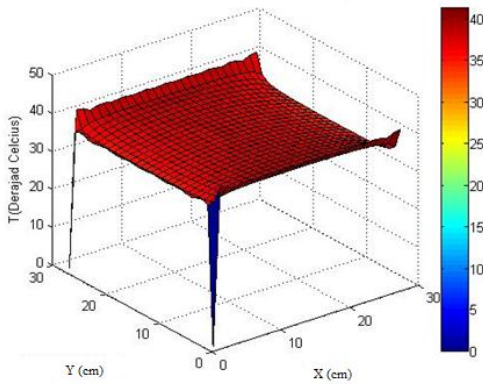
Gambar 19. Distribusi suhu inkubator kondisi *steady-state* dan *transient* pada  $t = 9750$  s dan  $z = 13$  cm



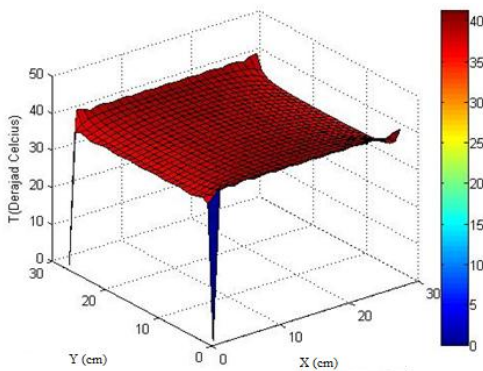
*transient* pada  $t = 39000$  s dan  $z = 13$  cm



Gambar 20. Distribusi suhu inkubator kondisi *steady-state* dan *transient* pada  $t = 19500$  s dan  $z = 13$  cm



Gambar 21. Distribusi suhu inkubator kondisi *steady-state* dan *transient* pada  $t = 29250$  s dan  $z = 13$  cm



Gambar 22. Distribusi suhu inkubator kondisi *steady-state* dan

Gambar 18, 19, 20, 21, dan 22 menjelaskan bahwa semakin lama waktu pemanasan solusi *transient* inkubator penetasan telur tidak berpengaruh pada distribusi suhu inkubator. Hasil distribusi suhu inkubator penetasan telur ayam berkisar pada *range*  $34,7$  °C sampai dengan  $41,2$  °C. Sebagian hasil suhu tersebut masuk dalam *range* suhu menurut Jutawan (2005: 2) yaitu dalam kisaran  $38,5$  °C sampai dengan  $40,5$  °C. Adanya suhu pada beberapa titik yang tidak masuk dalam *range* ( $38,5$ - $40,5$ ) °C adalah karena salah satu dinding (dinding depan) memiliki suhu yang rendah yaitu  $34,7$  °C.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### A. Kesimpulan

1. Pola distribusi suhu inkubator penetasan telur ayam menunjukkan bahwa nilai suhu berfluktuasi berdasarkan fungsi waktu dan posisi. Pola distribusi suhu dengan bertambahnya waktu menunjukkan bahwa suhu berfluktuasi hingga mencapai kondisi kesetimbangan (*steady-state*). Pola distribusi suhu sebagai fungsi posisi menunjukkan bahwa nilai suhu berbeda-beda dalam *range*  $34,7$  °C sampai dengan  $41,2$  °C.
2. Hasil perhitungan suhu inkubator penetasan telur menunjukkan bahwa sebagian nilai suhu sebagai fungsi posisi masuk pada *range* ( $38,5$ - $40,5$ ) °C. Titik-titik dengan suhu yang tidak masuk dalam *range* tersebut karena suhu dinding depan memiliki nilai yang terlalu rendah yaitu  $34,7$  °C.
3. Berdasarkan hasil eksperimen suhu dinding-dinding inkubator yang cocok digunakan sebagai syarat batas agar distribusi di dalam inkubator tersebar

merata pada *range* (38,5-40,5) °C adalah pada dinding bawah bersuhu 39,7 °C, dinding kanan 40,4 °C, dinding kiri 40,6 °C, sedangkan pada dinding depan bersuhu 34,7 °C, belakang 36,6 °C dan atas 42,1 °C tidak cocok digunakan sebagai syarat batas.

## **B. Saran**

Penelitian ini hanya menitikberatkan pada persamaan difusi panas tanpa adanya sumber pemanas. Perlu dilakukan penelitian selanjutnya dengan mengembangkan persamaan panas yang ditambah satu suku yaitu suku sumber pemanas menggunakan persamaan Poisson. Serta dapat dilakukan

penelitian dengan menggunakan metode numerik untuk memvisualisasikan distribusi suhu inkubator penetasan telur ayam berbahan keramik.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Bernatz, Richard A. (2010). *Fourier Series And Numerical Methods For Partial Differential Equations*. New Jersey: John Wiley and Sons, Inc.
- Jutawan, Amat. (2005). *Mesin Tetap Listrik dan Induk Buatan*. Yogyakarta: Kanisius
- Lienhard IV, John H. and Lienhard V, John H. (2003). *A Heat Transfer Text-Book*. 4<sup>th</sup> ed. Massachusetts: Phlogiston Press.