

# Pemodelan Matematika untuk Memasak Daging Sapi

Nadilla Defira

Departemen Matematika, Universitas Negeri Padang

## Article Info

### Article history:

Received July 31, 2025

Revised September 09, 2025

Accepted September 09, 2025

### Keywords:

Mathematical Model

Meat Cooking

Finite Difference Method

### Kata Kunci:

Model Matematika

Memasak Daging

Metode Beda Hingga

## ABSTRACT

Cooking meat involves heat transfer, tissue structure changes, and fluid movement. This study presents a mathematical model using a poroelastic medium to simulate the beef cooking process. The model incorporates temperature distribution, fluid flow, porosity changes, and swelling pressure due to heating. The model equations are derived from the principles of mass conservation, momentum balance, and energy conservation. The model is solved numerically using a two-dimensional finite difference method over a  $15 \text{ cm} \times 7 \text{ cm}$  domain at an initial temperature of  $25^\circ\text{C}$  for 60 minutes, showing gradual heat diffusion into the meat as illustrated by temperature distribution heatmaps. The results demonstrate the model's ability to represent temperature distribution and shrinkage within the meat during roasting.

## ABSTRAK

Memasak daging melibatkan perpindahan panas, perubahan struktur jaringan, dan pergerakan fluida. Penelitian ini menyajikan model matematika menggunakan medium poroelastisitas untuk mensimulasikan proses memasak daging sapi. Model ini mencakup distribusi suhu, aliran fluida, perubahan porositas, dan tekanan pembengkakan akibat pemanasan. Persamaan model diturunkan dari prinsip kekekalan massa, keseimbangan momentum, dan kekekalan energi. Model diselesaikan secara numerik menggunakan metode beda hingga dua dimensi dengan domain berukuran  $15 \text{ cm} \times 7 \text{ cm}$  dengan suhu  $25^\circ\text{C}$  selama 60 menit yang menunjukkan difusi panas yang bertahap ke dalam daging, ditunjukkan dengan heatmap distribusi suhu. Hasilnya model dapat menunjukkan distribusi suhu dan penyusutan dalam daging selama proses pemanggangan.

This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.



## Penulis Korespondensi:

Nadilla Defira

Departemen Matematika, Universitas Negeri Padang,

Email: [nnadilladefira0123@gmail.com](mailto:nnadilladefira0123@gmail.com)

## 1. PENDAHULUAN

Daging sapi adalah produk peternakan yang cepat mengalami kerusakan apabila tidak ditangani secepatnya dengan cara yang tepat, karena kandungan gizinya yang tinggi[1]. Komposisi kimia daging sapi yaitu 75% air, 18% protein, 2,5% lemak, 1,2% karbohidrat dan 2,3% zat terlarut bukan protein serta selebihnya adalah vitamin dan unsur organik [2]. Untuk mengolah daging sapi diperlukan keterampilan khusus agar daging sapi memiliki rasa dan tekstur yang diinginkan, Proses memasak daging yang tidak tepat dapat menyebabkan berkurangnya kualitas daging yang

dihasilkan, sehingga dapat mempengaruhi keamanan dan kualitas daging. Salah satu tantangan dalam memasak daging adalah memastikan distribusi panas yang merata keseluruh bagian daging tanpa menghilangkan kualitas daging seperti rasa dan tekstur daging. Selama proses pemanggangan menggunakan oven, gradien suhu yang terjadi dari permukaan daging ke pusat daging dapat menyebabkan perbedaan tingkat kematangan. Menurut Sobral *et al.* [3], suhu oven sebesar 170°C sampai 225°C umum digunakan dalam pemanggangan domestik untuk menjaga nilai gizi dan keamanan mikrobiologis pada daging.

Pendekatan berbasis pemodelan matematika menjadi salah satu cara untuk memahami proses internal selama proses memasak daging. Model matematika yang digunakan berdasarkan media poroelastisitas yang mempertimbangkan interaksi antara matriks padat dan fluida, serta tekanan osmotik yang dihasilkan akibat pemanasan [4]. Dengan menggunakan model matematika dapat memperhitungkan distribusi suhu, medan kecepatan fluida, kadar air, penguapan permukaan, dan penyusutan selama proses memasak [5]. Dengan pemodelan proses memasak dapat disimulasikan dan dianalisis secara numerik menggunakan metode beda hingga dua dimensi.

Pada penelitian sebelumnya tentang pemodelan matematika tentang memasak daging, membahas tentang bagaimana model matematika dapat memprediksi struktur daging dan suhu yang diperlukan selama proses pemasakan [4]. Model yang dikembangkan dalam penelitian ini menggunakan persamaan diferensial parsial, tujuan dari penelitian ini menghasilkan dan menganalisis model untuk memasak daging sapi. Penelitian ini mengembangkan model memasak daging dengan simulasi numerik terhadap variasi suhu oven sebesar 170°C, 225°C, dan 270°C, dengan ukuran potongan daging 15 × 7 cm dengan dua jenis daging sirloin dan tenderloin. Pendekatan ini memberikan kontribusi baru dalam memprediksi perilaku termal dan struktural daging selama pemanggangan.

## 2. METODE

Model ini berbentuk persamaan diferensial parsial, daging dimodelkan sebagai media poroelastisitas, yaitu sebuah medium berpori yang terdiri dari jaringan protein dan cairan yang mengisi pori-pori jaringan tersebut [6]. Model ini berasal dari teori Flory-Rehner, yang biasanya digunakan dalam gel polimer, digabung dengan hukum Darcy untuk menggambarkan aliran fluida melalui pori-pori jaringan. Model diselesaikan dengan simulasi numerik menggunakan metode beda hingga dua dimensi. Metode beda hingga merupakan teknik numerik untuk menyelesaikan persamaan diferensial parsial, dengan mengganti persamaan ke bentuk ekspansi deret Taylor [7]. Menggunakan data hasil eksperimen dari [8] untuk memvalidasi model pada simulasi. Simulasi dilakukan menggunakan software Python, dengan dua jenis daging sapi, yaitu sirloin dan tenderloin, disimulasikan dengan ukuran domain 15 × 7 cm dan dibagi menjadi grid 45 × 44, suhu awal daging sebesar 25°C dengan tiga jenis suhu oven yang digunakan yaitu 170°C, 225°C, dan 260°C selama 60 menit.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebagai bagian dari kajian ini, dilakukan pemodelan matematis terhadap proses memasak daging sapi, yang kemudian dianalisis secara numerik melalui metode beda hingga. Selanjutnya untuk mendukung validasi model yang dikembangkan, disajikan interpretasi hasil simulasi numerik.

### 3.1. Asumsi Model

Penelitian ini menggunakan dua pengertian berbeda namun saling terkait untuk kuantitas cairan dalam daging.

Porositas didefinisikan sebagai fraksi volume

$$1 - \phi(x_0, y_0; t_0) = \lim_{r \rightarrow 0} \frac{V_{f, (x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 \leq r^2}}{\mu r^2} \quad (1)$$

Kadar air didefinisikan sebagai rasio massa

$$n = \frac{(1 - \phi)\rho_f}{(1 - \phi)\rho_f + \phi\rho_s} \quad (2)$$

Asumsi model yang digunakan:

- (1) Daging steak rendah lemak ( $\leq 4\%$  flat)
- (2) Pori-pori terisi penuh dengan cairan
- (3) Kepadatan  $\rho_f$  adalah konstan
- (4) Matriks protein disusun dengan sedikit ikatan silang.

### 3.2. Model Komplek

#### 3.2.1. Kekekalan massa

Pada model proses memasak daging sapi, untuk melacak perubahan fluida pada medium poroelastisitas maka diterapkan prinsi kekalan massa.

$$\phi_t = \nabla \cdot ((1 - \phi)\vec{w}) \quad (3)$$

Dimana  $\phi_t$  adalah laju perubahan porositas,  $\vec{w}$  adalah kecepatan fluida, maka  $\nabla \cdot ((1 - \phi)\vec{w})$  merupakan divergensi aliran fluida yang menggambarkan perubahan distribusi cairan akibat pergerakan fluida.

#### 3.2.2. Keseimbangan momentum

Keseimbangan momentum menggambarkan hubungan antar gaya-gaya yang bekerja pada fluida dalam jaringan daging.

$$(1 - \phi)\vec{w} = k\nabla \cdot \left( (1 - \phi) \frac{\nabla\vec{w} + \nabla\vec{w}^T}{2} \right) - \frac{k}{\mu} \nabla\pi_{sw} \quad (4)$$

Dimana

$$\pi_{sw} = \pi_{mix} + \pi_{el} \quad (5)$$

$$\pi_{el} = \frac{RT\rho_s}{M_c} \left[ \phi^{\frac{1}{2}}\phi_0^{\frac{2}{3}} - \frac{1}{2}\phi \right] \quad (6)$$

$$\pi_{mix} = \frac{RT}{V_f} [\ln(1 - \phi) + \phi + \chi(T, \phi)\phi^2] \quad (7)$$

Parameter interaksi Flory-Huggins  $\chi(T, \phi)$  tergantung pada suhu dan kelembaban:

$$\chi(T, \phi) = \chi_p(T) - (\chi_p(T) - \chi_0)(1 - \phi^2) \quad (8)$$

Dan

$$\chi_p(T) = \chi_{pn} - \frac{\chi_{pd} - \chi_{pn}}{1 + A \exp(\gamma[T - T_e])} \quad (9)$$

Diketahui  $k$  adalah permeabilitas,  $\pi_{sw}$  adalah tekanan pembengkakan,  $\pi_{el}$  adalah tekanan elastisitas,  $\pi_{mix}$  adalah tekanan osmotik pencampuran,  $T$  adalah suhu,  $R$  merupakan konstanta gas,  $\rho_s$  adalah densitas polimer,  $V_f$  adalah volume molar pelarut,  $M_c$  adalah berat molar, dan  $\phi_0$  adalah fraksi volume polimer pada ikatan silang.

#### 3.2.3. Kekekalan Energi

Kekekalan energi menggambarkan perpindahan energi termal dalam sistem pada saat memasak daging.

$$(CT)_t + \nabla \cdot (\rho_f C_f \vec{w}(1 - \phi)T) = \nabla \cdot (K\nabla T) \quad (10)$$

Diketahui

$$C = \phi \rho_s C_s + (1 - \phi) \rho_f C_f \quad (11)$$

$$K = \begin{bmatrix} K_{11} & 0 \\ 0 & K_{22} \end{bmatrix} \quad (12)$$

Dimana

$$K_{22} = \phi K_s + (1 - \phi) K_f, \quad \frac{1}{K_{11}} = \frac{1 - \phi}{K_f} + \frac{\phi}{K_s} \quad (13)$$

Dengan  $\rho_s$  adalah densitas padatan,  $C_s$  adalah kapasitas panas padatan,  $C_f$  adalah kapasitas panas fluida,  $K$  adalah konduktivitas termal,  $(CT)_t$  adalah perubahan energi dalam system terhadap waktu,  $\nabla \cdot (\rho_f C_f \vec{w}(1 - \phi)T)$  adalah energi konveksi, dan  $\nabla \cdot (K \nabla T)$  adalah energi konduksi.

### 3.3. Kondisi Batas

#### 3.3.1. Kondisi Batas Porositas

Dengan mensyaratkan,

$$\pi_{sw} = 0 \quad (14)$$

Pada persamaan (5), nilai porositas ( $\phi$ ) ditentukan dengan mempertimbangkan kondisi batas dipermukaan daging. Selama proses pemasakan, air di dalam daging akan bergerak karena tekanan internal, dan sebagian besar air keluar melalui permukaan daging. Karena permukaan daging tidak ditahan oleh tekanan luar, maka tekanan pembengkakan di permukaan dianggap nol [6].

#### 3.3.2. Kondisi Batas Kecepatan Fluida

Dengan mensyaratkan,

$$\pi_{sw} = 0 \quad (15)$$

Pada persamaan (4), nilai dari kecepatan fluida ( $\vec{w}$ ) ditentukan berdasarkan kondisi batas di permukaan daging. Selama proses pemasakan, air di dalam daging akan bergerak karena tekanan internal, dan sebagian besar air keluar melalui permukaan daging. Karena permukaan daging tidak ditahan oleh tekanan luar, maka tekanan pembengkakan di permukaan dianggap nol [6].

#### 3.3.3. Kondisi Batas Suhu

Dengan mensyaratkan,

$$-k \frac{\partial T}{\partial n} = h_c(T - T_D) + r j_{evap} \quad (16)$$

Pada persamaan (8), kondisi batas suhu ditentukan berdasarkan perpindahan panas di permukaan daging. Dimana  $h_c(T - T_D)$  adalah perpindahan panas secara konveksi, dan  $r j_{evap}$  adalah laju fluks massa fluida akibat evaporasi.

$$rJ_{evap} = h \left( \sqrt[3]{\left(\frac{D_a}{K_a}\right)^2 \frac{1}{\rho_a C_a}} \right) \left[ \frac{\left(1 - \frac{X_m}{X}\right) P_{sat,0} \exp\left(17.27 \frac{T - T_0}{T - 35.85}\right) M_f}{RT} - C_0 \right] \quad (17)$$

Dengan diketahui  $D_a$  adalah difusi air,  $K_a$  adalah konduktivitas termal,  $\rho_a$  adalah densitas udara,  $C_a$  adalah kapasitas panas udara,  $M_f$  adalah massa molar fluida, dan  $\left(1 - \frac{X_m}{X}\right)$  adalah model GAB.

### 3.3.4. Kondisi Batas Bergerak

Penyusutan dihitung berdasarkan perubahan porositas dan suhu. Dimana model penyusutan dinyatakan sebagai berikut:

$$h = h_0 \sqrt{\frac{\phi_{init}}{\phi}} \quad (18)$$

Untuk arah  $x$  dan  $y$ , penyusutan masing-masing diperoleh sebagai berikut ini:

$$h_x = h_0 \sqrt{\frac{\phi_{init} \varepsilon}{\phi}}, \quad h_y = h_0 \sqrt{\frac{\phi_{init}}{\phi \varepsilon}} \quad (19)$$

Dengan diketahui  $h$  adalah koefisien perpindahan panas,  $h_0$  adalah koefisien awal perpindahan panas,  $\phi_{init}$  adalah fraksi volume padatan awal,  $\phi$  fraksi volume padatan saat ini, dan  $\varepsilon$  adalah rasio aspek.

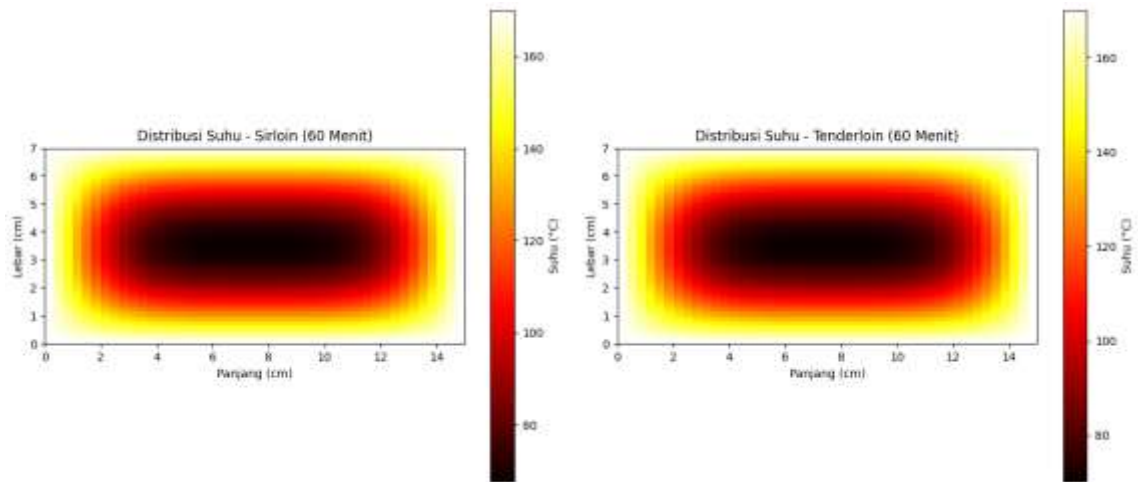
### 3.4. Penyelesaian Model

Untuk penyelesaian model menggunakan metode beda hingga dengan mendiskretisasi persamaan utama pembentukan model ke dalam bentuk domain dua dimensi berukuran  $15 \text{ cm} \times 7 \text{ cm}$  dengan grid  $N_x = 45$  dan  $N_y = 44$ , dengan ukuran grid.

$$dx = \frac{8}{35} \approx 0,229 \text{ cm}, \quad dy = \frac{5,5}{24} \approx 0,229 \text{ cm} \quad (20)$$

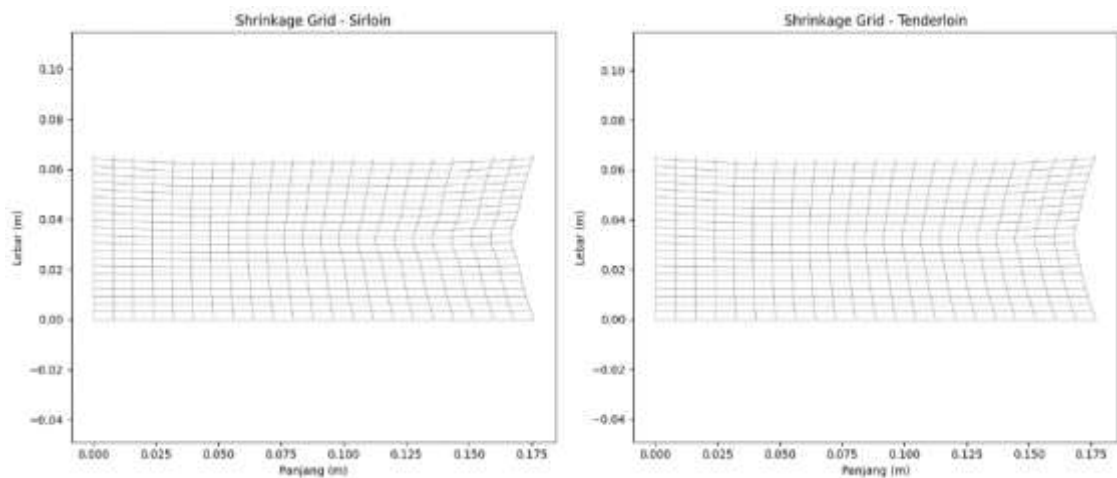
Dengan waktu simulasi 60 menit dan suhu awal daging  $25^\circ\text{C}$ , terhadap dua jenis daging sapi, yaitu, daging sirloin dan tenderloin. Kondisi ini dan parameter fisik seperti konduktivitas termal, kalor jenis, dan viskositas diambil berdasarkan literatur [8],[7],[9]. Simulasi distribusi suhu dilakukan dengan suhu oven sebesar  $170^\circ\text{C}$ ,  $225^\circ\text{C}$ , dan  $260^\circ\text{C}$  berdasarkan [3],[8],[10]. Porositas awal daging sirloin  $\phi_0 = 0.75$  dan tenderloin  $\phi_0 = 0.70$ .

- (1) Simulasi model matematika perbandingan distribusi suhu dan penyusutan pada daging sirloin dan tenderloin dengan pemanggangan oven pada suhu oven sebesar  $170^\circ\text{C}$  dapat dilihat pada Gambar 1. Pada Gambar 1 hasil simulasi distribusi suhu perbandingan daging sirloin dan tenderloin dengan suhu oven  $170^\circ\text{C}$ , pemanasan berlangsung lebih lambat. Suhu pada permukaan daging sirloin dan tenderloin mendekati suhu oven, yaitu sekitar  $160\text{--}165^\circ\text{C}$ , namun bagian tengah daging masih berada pada kisaran  $65\text{--}75^\circ\text{C}$ . Penyebaran panas pada pusat daging tenderloin lebih lambat dibandingkan dengan sirloin. Ini disebabkan oleh porositas tenderloin yang lebih kecil, sehingga kapasitas kalornya lebih besar yang dapat memperlambat laju pemanasan. Distribusi suhu ini menampilkan gradien suhu yang tajam dari permukaan ke pusat daging, yang menunjukkan panas belum menyebar secara merata. Perbandingan penyusutan daging pada suhu oven  $170^\circ\text{C}$  dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 1. Heatmap Distribusi Suhu Sirloin vs Tenderloin  
Dengan Pemanggangan Oven (dengan  $T_D = 170^\circ\text{C}$ )

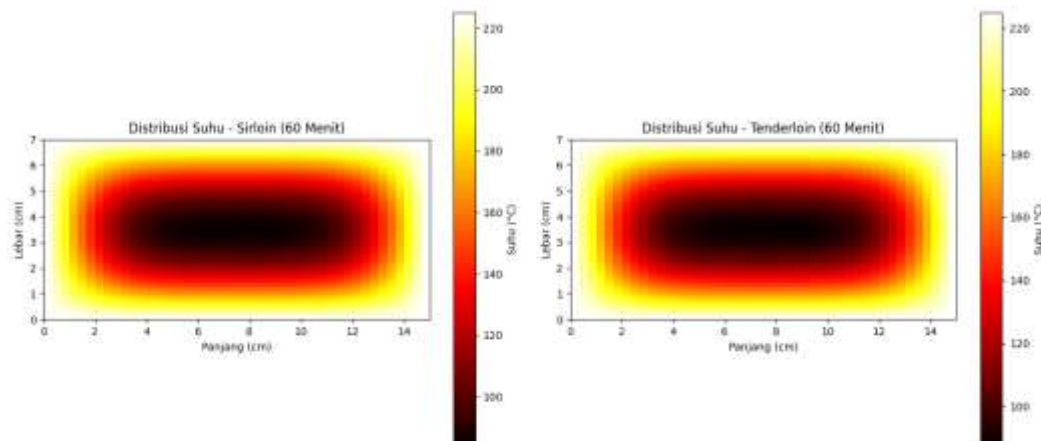
Pada Gambar 2, penyusutan daging terjadi secara perlahan karena energi panas yang diberikan tidak terlalu tinggi pada sirloin maupun tenderloin, perubahan ukuran grid relative kecil, dan pola mesh masih mendekati bentuk awal. Sirloin mengalami penyusutan lebih nyata dibandingkan dengan tenderloin karena porositasnya lebih tinggi, sehingga perubahan porositas dan deformasi lebih cepat terpengaruh oleh suhu. Namun pada suhu ini belum memicu penyusutan besar, sehingga efek shrinkage masih ringan dan terdistribusi lambat.



Gambar 2. Penyusutan Sirloin vs Tenderloin  
pada Suhu Oven  $170^\circ\text{C}$

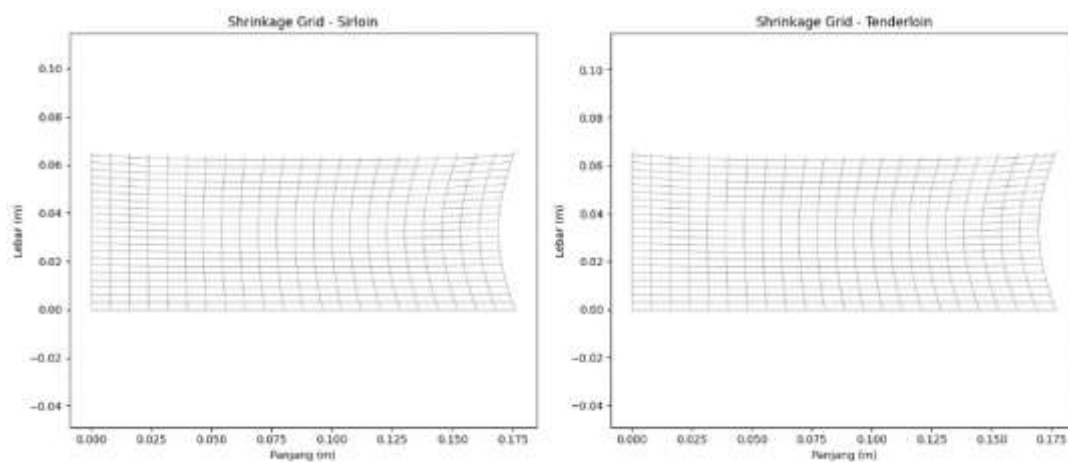
- (2) Simulasi model matematika perbandingan distribusi suhu dan penyusutan pada daging sirloin dan tenderloin dengan pemanggangan oven, pada suhu oven sebesar  $225^\circ\text{C}$  dapat dilihat pada Gambar 3. Pada Gambar 3, penyebaran panas berlangsung dengan efisien, suhu pada bagian tengah daging sirloin meningkat hingga mencapai suhu  $90^\circ\text{C}$ - $100^\circ\text{C}$ , sementara tenderloin mencapai suhu sekitar  $85^\circ\text{C}$  –  $95^\circ\text{C}$ . Permukaan pada kedua jenis daging telah mendekati suhu oven, yaitu sekitar  $215^\circ\text{C}$ - $220^\circ\text{C}$ , yang memungkinkan terjadinya pengeringan pada permukaan daging. Dibandingkan dengan suhu  $170^\circ\text{C}$ , gradien suhu lebih landai dan penyebaran panas merata dengan baik. Suhu ini tergolong ideal untuk pemanggangan standar, dimana bagian luar daging lebih kering berwarna kecoklatan, dan bagian dalam daging sudah mencapai suhu matang

tanpa overcook. Untuk perbandingan penyusutan daging pada suhu oven 225°C dapat dilihat pada Gambar 4.



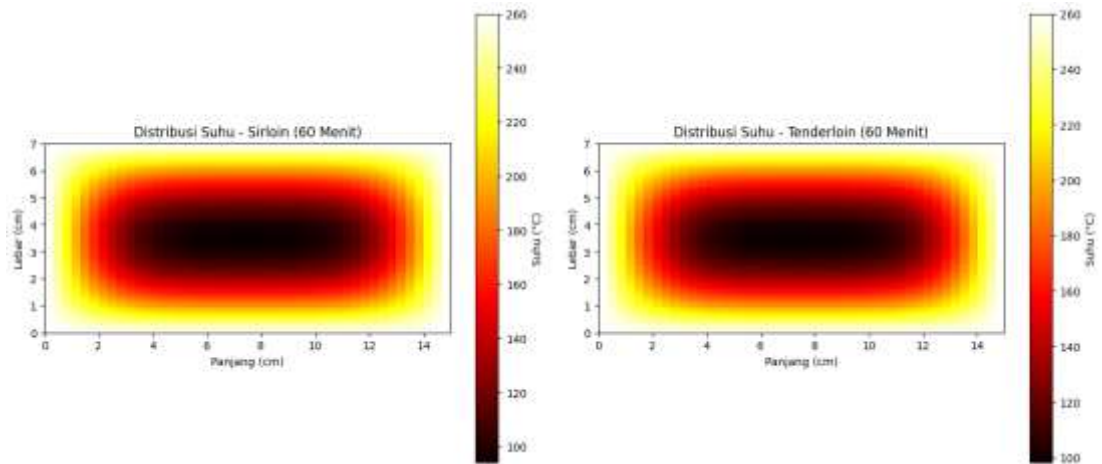
Gambar 3. Heatmap Distribusi Suhu Sirloin vs Tenderloin Dengan Pemanggang Oven (dengan  $T_D = 225^\circ\text{C}$ )

Pada gambar 4, penyusutan sudah mulai signifikan. Jaringan daging di area permukaan yang menerima panas lebih dulu akan mengalami penyusutan lebih cepat, sementara bagian panas menyusut secara perlahan. Grid pada sirloin menunjukkan pola deformasi yang jelas, dengan celah antar garis masih semakin rapat ditengah dan pinggiran daging. Tenderloin juga menunjukkan penyusutan, tetapi tidak sebesar sirloin karena densitas termal dan porositasnya lebih rendah, yang mengakibatkan tenderloin lebih tahan terhadap deformasi termal. Pola shrinkage mulai terlihat anisotropik, dimana penyusutan arah horizontal dan vertikal tidak identik akibat pengaruh fungsi deformasi.



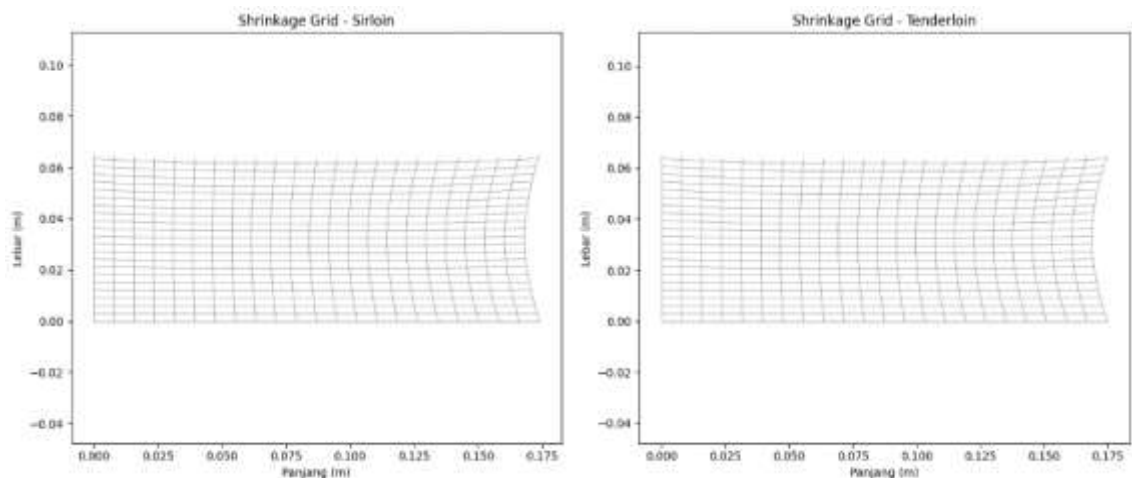
Gambar 4. Penyusutan Sirloin vs Tenderloin pada Suhu Oven 225°C

- (3) Simulasi model matematika perbandingan distribusi suhu dan penyusutan pada daging sirloin dan tenderloin dengan pemanggang oven, pada suhu oven sebesar 260°C dapat dilihat pada Gambar 5. Pada gambar 5 hasil distribusi suhu dengan suhu oven 260°C, proses pemanasan berlangsung sangat cepat. Dimana suhu pada permukaan daging mendekati suhu 250°C-255°C. Suhu bagian tengah sirloin lebih dari 150°C, sedangkan tenderloin mencapai 100°C-105°C. Ini menunjukkan seluruh bagian daging telah mengalami pemanasan intensif. Distribusi suhu lebih merata, namun risiko penguapan air lebih tinggi dan potensi gosong dipermukaan daging. Untuk perbandingan penyusutan daging pada suhu oven 260°C dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 5. Heatmap Distribusi Suhu Sirloin vs Tenderloin  
Dengan Pemanggangan Oven (dengan  $T_D = 260^\circ\text{C}$ )

Pada gambar 6 penyusutan menjadi sangat dominan. Hampir seluruh area daging, baik permukaannya hingga pusatnya, mengakibatkan perubahan porositas besar-besaran dan deformasi jaringan daging secara intens. Pada sirloin, shrinkage terlihat ekstrim, dengan jarak grid mengecil secara drastis, menandakan penyusutan volume yang substansial. Tenderloin juga mengalami penyusutan yang besar, tetapi lebih stabil dibandingkan dengan sirloin. Pola shrinkage menunjukkan deformasi nonlinier yang nyata dan cenderung simetris. Efek deformasi juga menyebabkan penyusutan arah x dan arah y yang tidak seragam, mendekati pola deformasi kompleks.



Gambar 6. Penyusutan Sirloin vs Tenderloin  
pada Suhu Oven  $260^\circ\text{C}$

#### 4. KESIMPULAN

Penelitian ini menyajikan model matematika dalam media poroelastisitas, model ini mencakup perpindahan panas, aliran fluida, dan penyusutan jaringan akibat pemanasan. Hasil simulasi menunjukkan kesesuaian model terhadap fenomena yang terjadi pada proses pemanasan pada kedua jenis daging, sirloin dan tenderloin, bahwa distribusi suhu dan penyusutan dipengaruhi oleh suhu oven dan sifat jaringan daging. Suhu oven  $225^\circ\text{C}$  memberikan distribusi suhu yang optimal dengan penyusutan yang tidak ekstrem. Model ini juga menunjukkan bahwa daging tenderloin mengalami penyusutan lebih besar dibandingkan dengan daging sirloin karena porositasnya yang lebih besar

dari tenderloin. Secara keseluruhan model ini memberikan pendekatan yang komprehensif dan realistis untuk memprediksi perilaku termal dan mekanis daging selama pemasakan.

## REFERENSI

- [1] A. L. Nguju, P. R. Kale, and B. Sabtu, "Pengaruh cara memasak yang berbeda terhadap kadar protein, lemak, kolesterol dan rasa daging sapi Bali," *J. Nukl. Peternak.*, vol. 5, no. 1, pp. 17–23, 2018, [Online]. Available: <https://ejurnal.undana.ac.id/nukleus/article/view/831>
- [2] J. E. G. Rompis, "Daya Mengikat Air Dan Susut Masak Daging Sapi Blansir Yang Dikeringkan Dalam Oven Dan Dikemas Vakum," *Zootec*, vol. 35, no. 1, p. 131, 2015, doi: 10.35792/zot.35.1.2015.7193.
- [3] M. M. C. Sobral, S. C. Cunha, M. A. Faria, and I. M. P. L. V. O. Ferreira, "Domestic Cooking of Muscle Foods: Impact on Composition of Nutrients and Contaminants," *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, vol. 17, no. 2, pp. 309–333, 2018, doi: 10.1111/1541-4337.12327.
- [4] M. Chapwanya and N. N. Misra, "A mathematical model of meat cooking based on polymer-solvent analogy," 2015, doi: 10.1016/j.apm.2014.12.015.
- [5] H. A. Shehadeh, S. Deyo, S. Granzier-Nakajima, P. Puente, K. Tully, and J. Webb, "A mathematical model for meat cooking," *Eur. Phys. J. Plus*, vol. 135, no. 3, 2020, doi: 10.1140/epjp/s13360-020-00311-0.
- [6] A. K. Datta, "Porous media approaches to studying simultaneous heat and mass transfer in food processes. I: Problem formulations," *J. Food Eng.*, vol. 80, no. 1, pp. 80–95, 2007, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2006.05.013.
- [7] P. H. Gunawan, *Pengantar Persamaan Diferensial Parsial untuk Sains dan Teknik*. jogjakarta: Penerbit Sastrabook Indonesia, 2021.
- [8] N. E. Bengtsson, B. Jakobsson, and M. D. Sik, "Cooking of beef by oven roasting: A study of heat and mass transfer," *J. Food Sci.*, vol. 41, pp. 1047–1053, 1976, doi: 10.1111/j.1365-2621.1976.tb14386.x.
- [9] R. Byron Bird and Warren E. Stewart, *Transport phenomena*, Second ed. John Wiley & Sons, Inc., 2006.
- [10] A. Rodas-González, I. L. Larsen, B. Uttaro, M. Juárez, J. Parslow, and J. L. Aalhus, "Determination of optimum oven cooking procedures for lean beef products," *Food Sci. Nutr.*, vol. 3, no. 6, pp. 475–485, 2015, doi: 10.1002/fsn3.229.