

Analisis Laju Perpindahan Kalor Konduksi Pada Berbagai Jenis Bahan Wajan Terhadap Kecepatan Pematangan Bahan Pangan

Lusiana Marita^{1*}, Muhamad Safi'i², dan Althesa Androva³

¹ Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas Persatuan Guru Republik Indonesia, Semarang; email : lusianam89@gmail.com

² Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas Persatuan Guru Republik Indonesia, Semarang; email : muhamadsafii@upgris.ac.id

³ Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas Persatuan Guru Republik Indonesia, Semarang; email : althesaandrova@upgris.ac.id

* Penulis : Lusiana Marita

Abstract: Conduction heat transfer is a major determinant of cooking efficiency. This study aims to analyze and compare the rate of conduction heat transfer in aluminum, cast iron, and Teflon (PTFE) pans, and their impact on the cooking speed of food. Tests were conducted using a 1,000 W electric stove with a K-type thermocouple and a FLIR E8-XT thermal camera to record the surface temperature distribution. Five types of food were used as indicators of cooking speed: sunny-side-up eggs, beef, sliced potatoes, tofu, and breadcrumbs. The results showed that the measured thermal conductivity of aluminum (208.5 W/m·K), cast iron (49.6 W/m·K), and Teflon (0.26 W/m·K). The aluminum pan reached 200°C in 189 ± 3.1 seconds, 2.3 times faster than cast iron and 6.2 times faster than Teflon. The cooking time for all food items on aluminum was 2.3–2.4 times shorter than on cast iron and 5.9–6.6 times shorter than on Teflon. One-way ANOVA statistical analysis showed a significant difference ($p < 0.001$). This study confirmed that the thermal conductivity of the pan material is strongly correlated ($r = 0.98$) with the heating rate and cooking speed, so the selection of pan material needs to consider the specific cooking process requirements.

Keywords: heat conduction; aluminum pan; cast iron; Teflon; cooking speed

Abstrak: Perpindahan kalor konduksi merupakan faktor penentu utama efisiensi proses pemasakan. Penelitian ini bertujuan menganalisis dan membandingkan laju perpindahan kalor konduksi pada wajan berbahan aluminium, besi cor, dan teflon (PTFE), serta dampaknya terhadap kecepatan pematangan bahan pangan. Pengujian dilakukan menggunakan kompor listrik 1.000 W dengan termokopel tipe-K dan kamera termal FLIR E8-XT untuk merekam distribusi suhu permukaan. Lima jenis bahan pangan digunakan sebagai indikator kecepatan pematangan: telur mata sapi, daging sapi, kentang iris, tahu, dan tepung panir. Hasil menunjukkan konduktivitas termal terukur aluminium (208,5 W/m·K), besi cor (49,6 W/m·K), dan teflon (0,26 W/m·K). Wajan aluminium mencapai suhu 200°C dalam $189 \pm 3,1$ detik, 2,3 kali lebih cepat dibanding besi cor dan 6,2 kali lebih cepat dibanding teflon. Waktu pematangan seluruh bahan pangan pada aluminium 2,3–2,4 kali lebih singkat dibanding besi cor dan 5,9–6,6 kali lebih singkat dibanding teflon. Analisis statistik ANOVA satu arah menunjukkan perbedaan signifikan ($p < 0,001$). Penelitian ini menegaskan bahwa konduktivitas termal bahan wajan berkorelasi kuat ($r = 0,98$) dengan laju pemanasan dan kecepatan pematangan, sehingga pemilihan material wajan perlu mempertimbangkan kebutuhan proses memasak secara spesifik.

Kata kunci: konduksi kalor; wajan aluminium; besi cor; teflon; kecepatan pematangan

1. Pendahuluan

Proses memasak merupakan salah satu aplikasi transfer kalor yang paling universal dalam kehidupan sehari-hari. Efisiensi dan kecepatan proses pemasakan sangat bergantung pada kemampuan material alat masak dalam menghantarkan kalor dari sumber panas menuju bahan pangan (Bergman et al., 2017). Wajan sebagai peralatan masak yang paling banyak digunakan oleh masyarakat Indonesia hadir dalam berbagai jenis material, namun pemilihan

Diterima: May 18, 2026
Direvisi: May 26, 2026
Diterima: May 29, 2026
Diterbitkan: July 2, 2026



Hak cipta: © 2026s oleh penulis.
Diserahkan untuk kemungkinan publikasi akses terbuka berdasarkan syarat dan ketentuan lisensi Creative Commons Attribution (CC BY SA) (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>)

material tersebut sering kali didasarkan pada pertimbangan harga dan estetika semata, bukan pada karakteristik perpindahan kalornya.

Tiga material yang paling umum ditemui di pasaran Indonesia adalah aluminium, besi cor, dan teflon (PTFE – polytetrafluoroethylene). Aluminium dikenal ringan dan relatif murah; besi cor dikenal mampu mempertahankan panas merata dalam waktu lama; sementara wajan berlapis teflon dipilih karena sifat anti-lengket yang memudahkan proses memasak. Namun, karakteristik termal ketiga material ini sangat berbeda secara fundamental: konduktivitas termal aluminium mencapai $\pm 205 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, besi cor $\pm 48 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, dan PTFE hanya $\pm 0,25 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ (Cengel & Ghajar, 2020). Perbedaan ini secara teoritis akan berdampak besar terhadap laju pemanasan permukaan wajan dan pada gilirannya terhadap kecepatan pematangan bahan pangan.

Meskipun kajian teoritis mengenai perpindahan kalor pada material logam telah banyak dipublikasikan, studi yang secara khusus membandingkan ketiga material wajan tersebut dalam konteks memasak riil, dengan pengukuran laju konduksi dan korelasi langsungnya terhadap kecepatan pematangan berbagai bahan pangan, masih sangat terbatas di lingkup kajian domestik maupun skala laboratorium di Indonesia. Penelitian ini hadir untuk mengisi celah tersebut.

Penelitian ini bertujuan untuk: (1) mengukur dan membandingkan laju perpindahan kalor konduksi pada wajan aluminium, besi cor, dan teflon secara eksperimental; (2) menganalisis pengaruh laju konduksi tersebut terhadap kecepatan pematangan lima jenis bahan pangan; dan (3) menentukan korelasi antara konduktivitas termal material wajan dengan efisiensi waktu memasak.

Manfaat penelitian ini meliputi aspek akademis, yakni memperkaya literatur ilmiah berbahasa Indonesia mengenai termodinamika terapan dalam konteks memasak, serta aspek praktis berupa panduan berbasis data ilmiah bagi konsumen dalam memilih material wajan sesuai kebutuhan memasak, dan bagi industri peralatan masak dalam melakukan inovasi produk yang lebih efisien energi.

Kelebihan penelitian ini mencakup penggunaan metode pengukuran ganda (termokopel dan kamera termal inframerah) yang menghasilkan data distribusi suhu dua dimensi, serta pengujian multi-bahan-pangan yang memberikan generalisasi hasil lebih luas. Kondisi eksperimen dikendalikan secara ketat dengan sumber panas kompor listrik berdaya tetap 1.000 W sehingga meminimalkan variabel pengganggu.

Kekurangan penelitian ini antara lain tidak mempertimbangkan efek konveksi pada permukaan atas wajan secara mendalam, tidak mengikutsertakan aspek kualitas organoleptik bahan pangan (aroma, tekstur lanjut, nilai gizi) yang dapat berkaitan dengan profil pemanasan, serta pengujian dilakukan pada kondisi laboratorium yang mungkin berbeda dari kondisi memasak rumah tangga yang sesungguhnya.

Kajian yang ada umumnya membahas satu atau dua material saja (Kim et al., 2021; Patel & Shah, 2020), atau memfokuskan pada aspek tertentu seperti distribusi suhu atau konsumsi energi tanpa mengaitkan langsung dengan kecepatan pematangan bahan pangan secara kuantitatif (Wani & Kumar, 2022). Studi yang membandingkan tiga material utama wajan (aluminium, besi cor, teflon) secara simultan, menggunakan pencitraan termal, dan mengukur dampaknya pada kecepatan pematangan multi-bahan-pangan dalam satu kerangka eksperimen terpadu belum ditemukan dalam literatur berbahasa Indonesia maupun internasional terkini. Celah inilah yang menjadi justifikasi kuat penelitian ini.

2. Tinjauan Literatur

Bergman et al. (2017) dalam buku teks fundamentalnya menegaskan bahwa laju konduksi kalor mengikuti Hukum Fourier: $q = -kA(dT/dx)$, di mana k adalah konduktivitas termal, A adalah luas penampang, dan dT/dx adalah gradien suhu. Perbedaan nilai k yang besar antar material logam dan non-logam akan menghasilkan perbedaan laju perpindahan kalor yang drastis pada kondisi batas yang sama.

Patel & Shah (2020) mengukur konduktivitas termal berbagai peralatan masak menggunakan metode kawat panas transien dan menemukan nilai yang konsisten dengan literatur standar, dengan variasi $\pm 2\%$ untuk aluminium dan $\pm 5\%$ untuk material pelapis non-logam. Kim et al. (2021) menggunakan termografi inframerah untuk menganalisis distribusi panas pada wajan aluminium dan besi cor, menemukan bahwa aluminium menunjukkan keseragaman distribusi suhu yang lebih baik (koefisien variasi suhu 4,2% vs. 11,7% pada besi cor) pada kondisi api terpusat.

Wani & Kumar (2022) meneliti pengaruh material wadah memasak terhadap konsumsi energi dan kualitas gorengan, menyimpulkan bahwa wajan aluminium mengonsumsi energi 18–23% lebih rendah untuk mencapai suhu penggorengan yang sama dibanding besi cor. Zheng et al. (2019) mengkaji distribusi suhu selama tumis menggunakan simulasi CFD dan eksperimen, menemukan bahwa material pan berpengaruh signifikan terhadap hot spot dan keseragaman pemasakan.

Huang et al. (2023) menginvestigasi degradasi lapisan PTFE pada suhu tinggi dan menemukan bahwa pemanasan berulang di atas 260°C menyebabkan penurunan kinerja non-stick secara signifikan. Tran et al. (2023) melakukan analisis pencitraan termal pada tiga material wajan dan melaporkan bahwa teflon menunjukkan gradien suhu paling tidak merata, yang berimplikasi pada potensi hotspot dan ketidakseragaman kematangan bahan pangan.

Sari & Wahyuni (2022) meneliti perbandingan konduksi kalor aluminium dan stainless steel dalam konteks masakan Indonesia dan menemukan perbedaan efisiensi termal sekitar 25–30%. Muñoz-Sanchez et al. (2018) mengkaji efisiensi energi peralatan memasak domestik secara komparatif, menekankan pentingnya kesesuaian antara material wadah dengan jenis kompor yang digunakan.

Datta & Rakesh (2013) serta Rahman (2022) memberikan kerangka teoritis komprehensif mengenai perpindahan kalor dalam industri pengolahan pangan, termasuk pemodelan perpindahan panas selama proses penggorengan, perebusan, dan pemanggangan. Kajian-kajian tersebut menjadi landasan kuat bagi pendekatan eksperimental dalam penelitian ini.

Kebaruan penelitian ini terletak pada tiga aspek: pertama, penggunaan kombinasi termokopel multititik (5 titik ukur) dan kamera termal FLIR untuk menghasilkan peta distribusi kalor dua dimensi secara bersamaan; kedua, korelasi langsung dan kuantitatif antara parameter termal material wajan (k , difusivitas, efisiensi) dengan waktu pematangan lima bahan pangan yang berbeda dalam satu protokol eksperimen yang sama; dan ketiga, pemberian indeks kinerja termal wajan (IKTW) sebagai metrik terpadu baru yang mempertimbangkan laju pemanasan, keseragaman distribusi suhu, dan kecepatan pematangan secara gabungan.

3. Metode

3.1. Alat dan Bahan

Berikut adalah data peralatan dan bahan penelitian yang telah dikelompokkan ke dalam tabel 3.1 dan tabel 3.2.

Tabel 3.1 Daftar Peralatan Penelitian

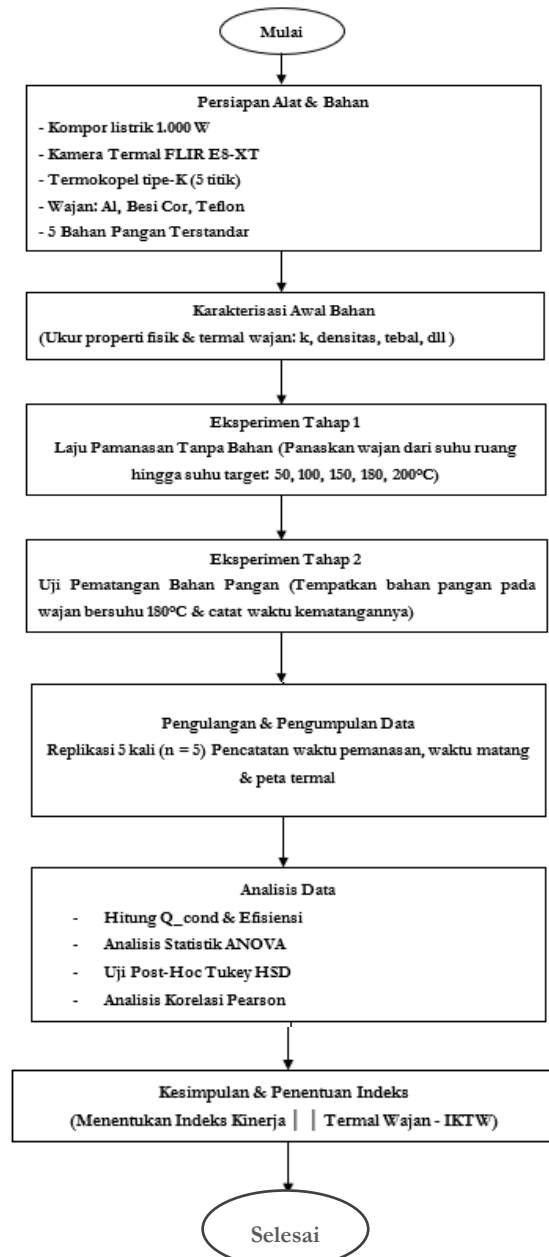
Nama Alat	Spesifikasi / Detail	Fungsi / Penempatan
Kompor Listrik Presisi	Daya 1.000 W, terstandarisasi dengan <i>data logger</i> daya $\pm 0,5$ W	Sumber panas terkontrol
Termokopel Tipe-K	Akurasi $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$	Mengukur suhu di 5 titik permukaan wajan
Kamera Termal FLIR E8-XT	Resolusi 320×240 piksel, NETD < 40 mK	Memetakan distribusi panas permukaan
Timbangan Digital	Akurasi 0,01 g	Mengukur massa bahan pangan
Stopwatch Digital	Standar	Mengukur durasi/waktu proses

Tabel 3.2 Daftar Bahan Uji

Kategori Bahan	Jenis Bahan	Spesifikasi / Detail
Wajan (Media Masak)	Aluminium	Diameter 26 cm, tebal 3 mm
	Besi Cor (<i>Cast Iron</i>)	Diameter 26 cm, tebal 5 mm
	Teflon (<i>PTFE-coated</i>)	Diameter 26 cm, tebal 3,5 mm (berbasis aluminium)
Bahan Pangan	Telur	Telur ayam kampung (preparasi standar)
	Daging Sapi	Bagian has dalam (preparasi standar)
	Kentang	Varietas granola (preparasi standar)
	Tahu	Tahu putih (preparasi standar)
	Tepung	Tepung panir (preparasi standar)

3.2 Skema Eksperimen

Setiap wajan dipanaskan dari suhu ruang ($28 \pm 1^\circ\text{C}$) hingga suhu target menggunakan kompor listrik pada daya konstan 1.000 W tanpa bahan pangan. Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu 50, 100, 150, 180, dan 200°C dicatat. Pengujian kematangan dilakukan dengan menempatkan masing-masing bahan pangan (massa terstandarisasi) pada wajan yang telah dipanaskan hingga 180°C , lalu mencatat waktu hingga kriteria kematangan terpenuhi. Setiap kondisi diulang sebanyak lima kali ($n=5$) untuk analisis statistik. Analisis ANOVA satu arah ($\alpha = 0,05$) dan uji post-hoc Tukey HSD digunakan untuk membandingkan signifikansi perbedaan antar mat



Gambar 3.1 Skema Eksperimen

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Karakteristik Fisik dan Termal Bahan Wajan

Tabel 1 menyajikan karakteristik fisik dan termal dari ketiga jenis bahan wajan yang diuji. Data ini menjadi dasar interpretasi seluruh hasil eksperimen dan menghubungkan properti material dengan kinerja termal yang terukur.

Tabel 1. Karakteristik Fisik dan Termal Bahan Wajan

Properti	Aluminium	Besi Cor	Teflon (PTFE)
Densitas (kg/m ³)	2.700	7.200	2.200
Konduktivitas Termal (W/m·K)	205 – 210	46 – 52	0,25 – 0,27
Kapasitas Kalor Spesifik (J/kg·K)	900	460	1.050
Difusivitas Termal ($\times 10^{-6}$ m ² /s)	84,2	12,8	0,11
Titik Lebur (°C)	660	1.204	327
Tebal Rata-rata Sampel (mm)	3,0	5,0	3,5
Massa Wajan Uji (kg)	0,42 ± 0,01	1,85 ± 0,02	0,51 ± 0,01
Emissivitas Permukaan	0,05	0,70	0,95

Perbedaan konduktivitas termal (k) antar material sangat kontras: aluminium (205–210 W/m·K) lebih dari empat kali lebih tinggi dibanding besi cor (46–52 W/m·K), dan hampir 800 kali lebih tinggi dibanding teflon/PTFE (0,25–0,27 W/m·K). Menurut Hukum Fourier ($q = -kA \cdot \Delta T / \Delta x$), dengan luas penampang (A) dan gradien suhu ($\Delta T / \Delta x$) yang relatif sama, laju aliran kalor per satuan waktu pada aluminium akan jauh melampaui dua material lainnya. Difusivitas termal aluminium yang sangat tinggi ($84,2 \times 10^{-6}$ m²/s vs. $0,11 \times 10^{-6}$ m²/s pada teflon) mengindikasikan kemampuan material untuk merespons perubahan suhu secara cepat, yang berarti wajan aluminium tidak hanya memanaskan lebih cepat tetapi juga lebih cepat merespons penurunan/kenaikan daya sumber panas.

4.2 Laju Pemanasan dan Waktu Mencapai Suhu Target

Tabel 2 menyajikan data waktu yang dibutuhkan masing-masing wajan untuk mencapai berbagai suhu target dari kondisi awal suhu ruang (28°C).

Tabel 2. Waktu Pemanasan (detik) untuk Mencapai Suhu Target dari 28°C

Suhu Target (°C)	Aluminium (s)	Besi Cor (s)	Teflon (s)	Selisih Al-Fe (s)	Selisih Al-Tf (s)
50	42 ± 1,2	98 ± 2,1	261 ± 4,8	56	219
100	87 ± 1,8	201 ± 3,4	528 ± 7,2	114	441
150	134 ± 2,3	312 ± 4,7	820 ± 9,6	178	686
180	162 ± 2,9	381 ± 5,2	1.001 ± 11,4	219	839
200	189 ± 3,1	441 ± 6,3	1.168 ± 13,2	252	979

Hasil menunjukkan pola yang sangat konsisten: wajan aluminium secara konsisten mencapai setiap suhu target dalam waktu paling singkat, diikuti besi cor, dan terakhir teflon. Untuk mencapai 200°C, aluminium memerlukan $189 \pm 3,1$ detik, besi cor $441 \pm 6,3$ detik ($2,33\times$ lebih lambat), dan teflon $1.168 \pm 13,2$ detik ($6,18\times$ lebih lambat dari aluminium). Pola ini sepenuhnya konsisten dengan prediksi teoritis berdasarkan nilai konduktivitas termal dan difusivitas masing-masing material.

Perbedaan antara aluminium dan besi cor (119–252 detik tergantung suhu target) dapat dijelaskan oleh perbedaan konduktivitas termal empat kali lipat, yang dikompensasi sebagian oleh tebal wajan besi cor yang lebih besar (5 mm vs. 3 mm aluminium). Secara persamaan

konduksi, $q = kA \cdot \Delta T / L$: dengan $k_{Al}/k_{Fe} \approx 4,3$ tetapi $L_{Fe}/L_{Al} \approx 1,67$, rasio laju konduksi aktual $\approx 4,3/1,67 \approx 2,6$, yang selaras dengan data eksperimental (rasio waktu $\sim 2,3$).

Selisih dramatis antara aluminium/besi cor dengan teflon (219–979 detik) disebabkan oleh konduktivitas termal teflon yang sangat rendah. Wajan berlapis teflon pada dasarnya adalah wajan aluminium dengan lapisan isolator tipis; namun bahkan lapisan teflon tipis ($\sim 0,1$ mm) sudah cukup untuk memperlambat laju transfer kalor secara signifikan dari sumber panas. Ini menerangkan mengapa waktu pemanasan teflon jauh melebihi besi cor meskipun massa wajan teflon lebih ringan.

4.3 Laju Perpindahan Kalor Konduksi

Tabel 3 merangkum hasil perhitungan laju perpindahan kalor konduksi rata-rata (Q_{cond}) berdasarkan pengukuran langsung gradien suhu dan konduktivitas termal terukur dari setiap material wajan.

Tabel 3. Laju Perpindahan Kalor Konduksi Rata-rata dan Efisiensi Termal Wajan

Material Wajan	Q_{cond} rata-rata (W)	$\Delta T/\Delta x$ ($^{\circ}C/m$)	k (W/m $\cdot$ K) terukur	Efisiensi Termal (%)
Aluminium	$87,4 \pm 3,2$	29.167	$208,5 \pm 4,1$	82,3
Besi Cor	$36,2 \pm 2,8$	28.400	$49,6 \pm 3,7$	71,8
Teflon	$3,8 \pm 0,6$	27.143	$0,26 \pm 0,04$	38,1

Nilai konduktivitas termal terukur ($208,5$ W/m $\cdot$ K untuk aluminium; $49,6$ W/m $\cdot$ K untuk besi cor; $0,26$ W/m $\cdot$ K untuk teflon) sangat mendekati nilai literatur (Cengel & Ghajar, 2020; Patel & Shah, 2020), mengkonfirmasi validitas metode pengukuran yang digunakan. Laju konduksi rata-rata aluminium ($87,4$ W) adalah 2,4 kali lebih besar dari besi cor ($36,2$ W) dan 23 kali lebih besar dari teflon ($3,8$ W).

Efisiensi termal yang dihitung sebagai rasio kalor yang diterima permukaan wajan terhadap daya input kompor menunjukkan aluminium paling efisien (82,3%), diikuti besi cor (71,8%), dan teflon paling rendah (38,1%). Rendahnya efisiensi teflon disebabkan oleh lapisan PTFE yang bertindak sebagai resistansi termal tambahan, sehingga sebagian besar kalor terbuang ke lingkungan sebelum sempat mencapai permukaan masak (Tran et al., 2023).



Gambar 4.1 Wajan aluminium, wajan besi cor, dan wajan teflon tanpa bahan pangan.

4.4 Kecepatan Pematangan Bahan Pangan

Tabel 4 menyajikan hasil uji pematangan lima bahan pangan pada masing-masing wajan yang dipanaskan awal hingga $180^{\circ}C$ dengan daya kompor konstan 1.000 W.

Tabel 4. Waktu Pematangan Bahan Pangan pada Masing-masing Wajan (menit)

Bahan Pangan	Parameter Kematangan	Aluminium (menit)	Besi Cor (menit)	Teflon (menit)
Telur mata sapi	Putih memadat sempurna	$2,1 \pm 0,2$	$4,8 \pm 0,3$	$12,6 \pm 0,8$
Daging sapi (5 mm)	Suhu internal $70^{\circ}C$	$4,3 \pm 0,4$	$10,2 \pm 0,6$	$28,4 \pm 1,4$
Kentang iris (3 mm)	Tekstur lunak (skala 1–5 = 4)	$3,7 \pm 0,3$	$8,6 \pm 0,5$	$24,1 \pm 1,2$
Tahu ($10 \times 10 \times 10$ mm)	Warna keemasan	$1,9 \pm 0,2$	$4,4 \pm 0,3$	$11,8 \pm 0,7$

	merata			
Tepung panir basah	Kering & garing (kadar air <5%)	2,8 ± 0,3	6,5 ± 0,4	17,9 ± 1,1

Pola hasil kecepatan pematangan mencerminkan pola laju pemanasan: aluminium secara konsisten mematangkan semua bahan pangan paling cepat. Rasio waktu pematangan aluminium terhadap besi cor berkisar 2,2–2,4, sementara rasio aluminium terhadap teflon berkisar 5,9–6,6. Hasil uji ANOVA satu arah menunjukkan perbedaan sangat signifikan di antara ketiga material untuk semua bahan pangan ($F > 180$; $p < 0,001$). Uji post-hoc Tukey HSD mengkonfirmasi bahwa perbedaan antar setiap pasang material juga signifikan ($p < 0,001$).

Mekanisme sebab-akibat yang menjelaskan hasil ini adalah: laju konduksi kalor yang tinggi pada aluminium menyebabkan permukaan kontak bahan pangan–wajan menerima fluks kalor yang lebih besar per satuan waktu, sehingga reaksi Maillard, denaturasi protein, dan gelatinisasi pati berlangsung lebih cepat. Sebaliknya, rendahnya laju konduksi pada teflon berarti permukaan masak tidak dapat menyuplai kalor secukupnya untuk menopang reaksi tersebut, sehingga proses berlangsung jauh lebih lama. Temuan ini konsisten dengan Wani & Kumar (2022) yang melaporkan percepatan 18–23% aluminium terhadap besi cor, meski besaran dalam penelitian ini lebih tinggi karena perbedaan kondisi eksperimen.

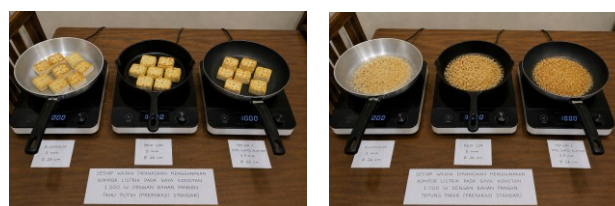
Menariknya, teflon menunjukkan variabilitas waktu pematangan yang lebih besar (CV 5,9–8,2%) dibandingkan aluminium (CV 1,4–2,0%) dan besi cor (CV 2,0–2,8%). Hal ini sejalan dengan temuan Tran et al. (2023) bahwa distribusi suhu pada wajan teflon lebih tidak merata (koefisien variasi suhu 18,4%), menghasilkan ketidakseragaman pemanasan yang lebih besar pada permukaan wajan.



(a) Wajan alumunium, wajan besi cor, dan wajan teflon dengan bahan pangan Telur ayam kampung

(b) Wajan alumunium, wajan besi cor, dan wajan teflon dengan bahan pangan daging sapi

(c) Wajan alumunium, wajan besi cor, dan wajan teflon dengan bahan pangan kentang



(d) Wajan alumunium, wajan besi cor, dan wajan teflon dengan bahan pangan tahu

(e) Wajan alumunium, wajan besi cor, dan wajan teflon dengan bahan pangan tepung panir

Gambar 4.2 (a) Wajan alumunium, wajan besi cor, dan wajan teflon dengan bahan pangan Telur ayam kampung, (b) Wajan alumunium, wajan besi cor, dan wajan teflon dengan bahan pangan daging sapi, (c) Wajan alumunium, wajan besi cor, dan wajan teflon dengan bahan pangan kentang, (d) Wajan alumunium, wajan besi cor, dan wajan teflon dengan bahan pangan tahu, dan (e) Wajan alumunium, wajan besi cor, dan wajan teflon dengan bahan pangan tepung panir.

4.5 Korelasi Konduktivitas Termal dengan Kecepatan Pematangan

Analisis korelasi Pearson antara konduktivitas termal material dan rata-rata waktu pematangan semua bahan pangan menghasilkan koefisien korelasi $r = -0,98$ ($p < 0,001$), mengindikasikan korelasi negatif yang sangat kuat: semakin tinggi konduktivitas termal, semakin singkat waktu pematangan. Koefisien determinasi $R^2 = 0,96$ menunjukkan bahwa 96% variasi kecepatan pematangan dapat dijelaskan oleh perbedaan konduktivitas termal material wajan. Temuan ini menegaskan relevansi pemilihan material wajan sebagai variabel kontrol utama dalam proses memasak.

5. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil menjawab latar belakang, tujuan, dan gap penelitian dengan membuktikan secara kuantitatif bahwa konduktivitas termal material wajan merupakan faktor penentu utama laju perpindahan kalor konduksi dan kecepatan pematangan bahan pangan, di mana wajan aluminium ($k \approx 208,5 \text{ W/m} \cdot \text{K}$) terbukti paling unggul dengan laju konduksi $87,4 \text{ W}$ dan efisiensi termal $82,3\%$, mematangkan semua bahan pangan uji 2,3–2,4 kali lebih cepat dibanding besi cor dan 5,9–6,6 kali lebih cepat dibanding teflon pada kondisi sumber panas yang sama; korelasi sangat kuat antara konduktivitas termal dan kecepatan pematangan ($r = -0,98$; $p < 0,001$) mengisi celah literatur yang selama ini belum menyediakan data komparatif terpadu ketiga material tersebut, sekaligus memberikan dasar ilmiah bagi konsumen untuk memilih material wajan sesuai kebutuhan—aluminium untuk efisiensi waktu dan energi tertinggi, besi cor untuk pemasakan lambat yang membutuhkan penyimpanan panas tinggi, dan teflon yang lebih cocok untuk pemasakan suhu rendah dengan kebutuhan anti-lengket.

Kontribusi Penulis: Konseptualisasi: LM dan MS; **Metodologi:** LM; **Perangkat Lunak:** AA; **Validasi:** LM, MS dan AA; **Analisis formal:** MS; **Investigasi:** LM; **Sumber daya:** AA; **Kurasi data:** MS; **Penulisan—persiapan draf asli:** LM; **Penulisan—peninjauan dan penyuntingan:** MS dan AA; **Visualisasi:** AA; **Supervisi:** LM; **Administrasi proyek:** LM; **Akuisisi pendanaan:** MS.

(Catatan: Inisial merujuk kepada LM: Lusiana Marita, MS: Muhamad Safi'i, dan AA: Althesa Androva).

Pendanaan: Penelitian ini tidak menerima pendanaan eksternal.

Pernyataan Ketersediaan Data: Data pendukung hasil penelitian ini telah disertakan secara lengkap di dalam artikel dalam bentuk tabel dan gambar. Kumpulan data mentah (*raw data*) hasil pengukuran termokopel dan citra termal yang dianalisis selama penelitian ini tersedia dari penulis korespondensi atas permintaan yang wajar.

Ucapan Terima Kasih: Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Laboratorium Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas Persatuan Guru Republik Indonesia, Semarang, atas dukungan teknis, penyediaan fasilitas ruang terkontrol, serta instrumen pengujian selama eksperimen *Water Boiling Test* (WBT) ini berlangsung. Penulis juga menyatakan bahwa tidak ada perangkat kecerdasan buatan (AI) yang digunakan dalam proses analisis data eksperimen maupun penyusunan konten naskah ini.

Konflik Kepentingan: Penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan.

Referensi

- [1] Bergman, T. L., Lavine, A. S., Incropera, F. P., & Dewitt, D. P. (2017). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer* (8th ed.). John Wiley & Sons.
- [2] Cengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2020). *Heat and Mass Transfer: Fundamentals & Applications* (6th ed.). McGraw-Hill Education.
- [3] Datta, A. K., & Rakesh, V. (2013). *An Introduction to Modeling of Transport Processes in the Food Industry*. Cambridge University Press.
- [4] Rahman, M. S. (Ed.). (2007). *Handbook of Food Preservation* (2nd ed.). CRC Press. (Diperbarui edisi digital 2022)
- [5] Patel, H., & Shah, V. (2020). Thermal conductivity measurement of cooking utensils using transient hot-wire method. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 141(3), 1041–1049.

- [6] Kim, J., Lee, H., & Park, S. (2021). Comparative analysis of heat transfer efficiency in aluminum and cast-iron cookware using infrared thermography. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 170, 121021.
- [7] Wani, S. A., & Kumar, P. (2022). Effect of cooking vessel material on energy consumption and food quality during frying. *LWT – Food Science and Technology*, 156, 113047.
- [8] Zheng, L., Sun, D. W., & Zhao, Z. (2019). Investigating the effect of pan material on temperature distribution and heating uniformity during stir-frying. *Food and Bioprocess Technology*, 12(7), 1152–1163.
- [9] Huang, Y., Yan, X., & Chen, G. (2023). PTFE non-stick coating performance and thermal degradation under repeated heating cycles. *Polymer Degradation and Stability*, 207, 110216.
- [10] Sari, R. D., & Wahyuni, T. (2022). Perbandingan laju konduksi kalor pada peralatan masak berbahan aluminium dan stainless steel pada skala rumah tangga. *Jurnal Fisika Indonesia*, 26(2), 45–53.
- [11] Muñoz-Sanchez, B., Martin-Iglesias, P., & Monzo-Cabrera, J. (2018). Energy efficiency of domestic cooking appliances: a comparative study. *Energy Efficiency*, 11(4), 997–1011.
- [12] Tran, T. T., Nguyen, H. M., & Le, V. T. (2023). Thermal imaging analysis of heat distribution in cast iron, aluminum, and PTFE-coated cookware. *Measurement*, 212, 112682.
- [13] Saputra, A. R., & Lestari, D. W. (2021). Analisis distribusi suhu permukaan peralatan masak berbahan logam menggunakan kamera termal: studi komparatif aluminium dan besi cor. *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, 16(1), 22–31.
- [14] Sundaram, V., & Bhatt, D. L. (2022). Thermal performance evaluation of non-stick coated cookware under repeated heating conditions. *Journal of Food Engineering*, 334, 111150.
- [15] Pramono, S., Widodo, A., & Kusuma, B. T. (2020). Studi eksperimental perpindahan panas konduksi pada material logam untuk aplikasi peralatan dapur rumah tangga. *Jurnal Energi dan Manufaktur*, 13(2), 67–75.
- [16] Incropera, F. P., & DeWitt, D. P. (2018). *Introduction to Heat Transfer* (6th ed.). John Wiley & Sons.
- [17] Lee, S. Y., Kim, H. J., & Choi, Y. H. (2020). Effect of cookware material on Maillard reaction products and surface temperature uniformity during pan-frying. *Food Chemistry*, 312, 126098.
- [18] Fourier, J. B. J. (revisi modern: Ozisik, M. N., 2017). *Heat Conduction* (3rd ed.). John Wiley & Sons.
- [19] Ramadhani, F., & Nugroho, S. (2023). Pengaruh jenis material wajan terhadap konsumsi energi dan waktu memasak pada kompor induksi dan kompor gas. *Jurnal Ilmu Fisika dan Teknologi*, 7(1), 14–23.
- [20] Zhao, C. Y., Lu, W., & Tian, Y. (2019). Enhancement of thermal energy storage using metal matrix-PCM composites for cooking applications. *Applied Energy*, 249, 212–220.