



INAKTIVASI MIKROBA DALAM SUSU MENGUNAKAN PEMANASAN MICROWAVE: KAJIAN META-ANALISIS

DIVA IMANI FATYA



**DEPARTEMEN ILMU DAN TEKNOLOGI PANGAN
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



PERNYATAAN MENGENAI SKRIPSI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “Inaktivasi Mikroba dalam Susu Menggunakan Pemanasan *Microwave*: Kajian Meta-Analisis” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir skripsi ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Juni 2025

Diva Imani Fatya
F2401211058

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



ABSTRAK

DIVA IMANI FATYA. Inaktivasi Mikroba dalam Susu Menggunakan Pemanasan *Microwave*: Kajian Meta-Analisis. Dibimbing oleh MUHAMMAD ARPAH.

Microwave merupakan teknologi alternatif untuk inaktivasi mikroba menggunakan pemanasan volumetrik yang mampu meminimalisir kerusakan fisik, kimia, maupun sensori pada susu akibat pemanasan konvensional. Teknologi ini lebih efisien secara energi dan ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan menganalisis secara komprehensif efektivitas pemanasan *microwave* terhadap inaktivasi mikroba pada susu melalui kajian meta-analisis dan faktor yang mempengaruhinya. Sebanyak 9 artikel dengan total 90 studi yang memenuhi kriteria inklusi dianalisis menggunakan model *random-effects* dengan ukuran efek *raw mean difference* (RMD) dan interval kepercayaan 95%. Hasil meta-analisis menunjukkan bahwa pemanasan *microwave* berpengaruh signifikan ($p < 0,05$) dalam menginaktivasi mikroba dengan nilai efek keseluruhan 1.962. Analisis *subgroup* menunjukkan bahwa jenis mikroba, waktu, daya, dan suhu berpengaruh signifikan terhadap efektivitas inaktivasi, dengan bakteri Gram negatif memiliki resistensi paling rendah, diikuti Gram positif dan *total plate count* (TPC). Kondisi pemanasan dengan waktu ≥ 120 detik, daya ≤ 1200 W, dan suhu $60-85^{\circ}\text{C}$ memberikan efektivitas tertinggi. Analisis meta-regresi menunjukkan hanya variabel waktu yang berpengaruh signifikan, sedangkan daya dan suhu tidak signifikan secara statistik karena heterogenitas antar studi. Evaluasi bias publikasi menunjukkan bentuk *funnel plot* simetris dengan nilai *fail-safe number* jauh melebihi ambang batas $5(N)+10$, yang menandakan hasil meta-analisis stabil dan minim bias publikasi.

Kata kunci: inaktivasi mikroba, meta-analisis, *microwave*, susu



ABSTRACT

DIVA IMANI FATYA. Microbial Inactivation in Milk Using Microwave Heating: A Meta-Analysis Review. Supervised by MUHAMMAD ARPAH

Microwave technology is an alternative method for microbial inactivation using volumetric heating that minimizes physical, chemical, and sensory damage to milk compared to conventional heating. This technology is more energy-efficient and environmentally friendly. This study aimed to comprehensively analyze the effectiveness of microwave heating in microbial inactivation of milk and the influencing factors through a meta-analysis. A total of nine articles comprising 90 studies that met the inclusion criteria were analyzed using a random-effects model with a raw mean difference (RMD) effect size and a 95% confidence interval. The meta-analysis results showed that microwave heating had a significant effect ($p < 0.05$) on microbial inactivation, with an overall effect size of 1.962. Subgroup analysis indicated that microbial type, heating time, power level, and temperature significantly influenced inactivation effectiveness, with Gram-negative bacteria showing the lowest resistance, followed by Gram-positive bacteria and total plate count (TPC). Heating conditions with a duration of ≥ 120 seconds, power ≤ 1200 W, and a temperature range of 60–85 °C demonstrated the highest effectiveness. Meta-regression analysis revealed that only heating time had a significant effect, while power and temperature were not statistically significant due to high heterogeneity among studies. Publication bias evaluation showed a symmetrical funnel plot and a fail-safe number far exceeding the $5(N)+10$ threshold, indicating that the meta-analysis results are stable and minimally affected by publication bias.

Keywords: meta-analysis, microbial inactivation, microwave, milk



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2025
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.



INAKTIVASI MIKROBA DALAM SUSU MENGUNAKAN PEMANASAN *MICROWAVE*: KAJIAN META-ANALISIS

DIVA IMANI FATYA

Skripsi
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana pada
Program Studi Teknologi Pangan

**DEPARTEMEN ILMU DAN TEKNOLOGI PANGAN
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Tim Penguji pada Ujian Skripsi:

1. Dr. Vallerina Armetha M.Si.
2. Dr. Diah Chandra Aryani S.TP., M. Sc.



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Judul Skripsi : Inaktivasi Mikroba dalam Susu Menggunakan Pemanasan
Microwave: Kajian Meta-Analisis

Nama : Diva Imani Fatya
NIM : F2401211058

@Hak cipta milik IPB University

Pembimbing:
Dr. Ir. Muhammad Arpah, M.Si.
NIP. 19600608 198603 1 002

Disetujui oleh



Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Prof. Dr. Eko Hari Purnomo, S.T.P, M.Sc.
NIP. 19760412 199903 1 004



Tanggal Ujian: 10 Juli 2025



PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada *Allah subhanaahu wa ta'ala* atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Oktober 2024 sampai bulan Mei 2025 ini ialah Mikrobiologi Pangan melalui Kajian Meta-Analisis, dengan judul “Inaktivasi Mikroba dalam Susu Menggunakan Pemanasan *Microwave*: Kajian Meta-Analisis”. Terima kasih penulis ucapkan kepada semua pihak yang telah terlibat baik secara langsung maupun tidak langsung selama penulisan tugas akhir ini, yaitu:

1. Dr. Ir. Muhammad Arpah, M.Si. yang telah membimbing, memberikan arahan dan saran dalam penulisan skripsi ini.
2. Dr. Diah Chandra Aryani S.TP., M.Sc dan Dr. Vallerina Armetha M.Si. penguji luar komisi pembimbing yang telah memberikan masukan dan arahan untuk perbaikan skripsi ini.
3. Ibu Debbicitra Utami, ayah Syamsirwan, adik Salwa Chairani dan Fathir Rahmatil Ikhlas yang telah memberikan dukungan, doa, kepercayaan, dan kasih sayang kepada penulis.
4. PPM Al-Iffah khususnya Angkatan 58 sebagai keluarga kedua yang menemani, membantu, mendukung dalam setiap kondisi jatuh bangun, dan bersama-sama berprogres menjadi versi terbaik diri.
5. *Superteam* Siput, *famous family*, Warga ASIQ, BPH BEM KM IPB 2024/2025 Kabinet Lesat Karya, BPH LPQ Al Hurriyyah 1445 H, BPH RAPIMNAS 1 FSLDK Indonesia 2024, BPH Semarak Ramadhan IPB 1445 H, BPH Salam Al Hurriyyah IPB 2021, sobat seperjuangan dalam amanah yang saling mendukung, mengapresiasi, dan semangat dalam menebar kebermanfaatan untuk ummat. Kalian membuat perjalanan di kampus ini lebih berwarna dan berharga.
6. Foodturistic 58 khususnya K1 dan Tim KKNT Desa Cipanas, teman seperjuangan akademik yang selalu kebersamai dan membantu dalam perjuangan meraih cita-cita.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Mei 2025

Diva Imani Fatya



DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xi
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	2
TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Susu	3
2.2 Inaktivasi Mikroba Susu	3
2.3 <i>Microwave</i>	5
2.4 Meta-Analisis	7
III METODE	9
3.1 Waktu dan Tempat	9
3.2 Alat dan Bahan	9
3.3 Prosedur Kerja	9
3.4 Ekstraksi dan Pengolahan Data	12
3.5 Analisis Statistik	12
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	15
4.1 Analisis Sumber Studi	15
4.2 Analisis <i>Overall Effect Size</i>	16
4.3 Analisis <i>Subgroup</i> Mikroba	18
4.4 Analisis <i>Subgroup</i> Waktu	21
4.5 Analisis <i>Subgroup</i> Daya	24
4.6 Analisis <i>Subgroup</i> Suhu	27
4.7 Analisis Meta-regresi	30
4.8 Analisis Bias Publikasi	31
V SIMPULAN DAN SARAN	33
5.1 Simpulan	33
5.2 Saran	33
DAFTAR PUSTAKA	34
LAMPIRAN	39
RIWAYAT HIDUP	46



DAFTAR TABEL

1	Komposisi susu dari beberapa mamalia dalam g/100 g susu	3
2	Analisis <i>subgroup</i> mikroba terhadap pemanasan <i>microwave</i>	18
3	Analisis <i>subgroup</i> waktu terhadap pemanasan <i>microwave</i>	21
4	Analisis <i>subgroup</i> daya terhadap pemanasan <i>microwave</i>	24
5	Analisis <i>subgroup</i> suhu terhadap pemanasan <i>microwave</i>	27
6	Analisis meta-regresi pada seluruh variabel moderator	30

DAFTAR GAMBAR

1	Skema pemanasan makanan cair dengan <i>microwave</i> yang diterapkan dalam sistem <i>batch</i> (a) dan sistem <i>continuous flow</i> (b). <i>Thermocouple</i> (TC), <i>pressure gauge</i> (G), <i>fiber optic thermocouple</i> (FO-TC)	6
2	Kedudukan metodologi meta-analisis dan <i>systematic review</i> dengan metodologi lainnya	7
3	Tampilan grafik (a) <i>forest plot</i> dan (b) <i>funnel plot</i>	8
4	Diagram alir meta-analisis	9
5	Diagram alir PRISMA	12
6	Diagram alir PRISMA untuk seleksi sumber studi meta-analisis	15
7	<i>Forest plot overall effect size</i>	16
8	<i>Forest plot overall effect size</i> (lanjutan)	17
9	<i>Forest plot</i> analisis <i>subgroup</i> mikroba TPC (a), Gram negatif (b), dan Gram positif (c)	19
10	<i>Forest plot</i> analisis <i>subgroup</i> waktu ≤ 60 detik (a), $t \geq 120$ detik (b), dan $60 < t < 120$ detik (c)	23
11	<i>Forest plot</i> analisis <i>subgroup</i> daya $P \geq 1200$ W (a), dan $P \leq 1200$ W (b)	25
12	<i>Forest plot</i> analisis <i>subgroup</i> suhu $60 < T < 85^{\circ}\text{C}$ (a), $T \leq 60^{\circ}\text{C}$ (b), dan $T \geq 85^{\circ}\text{C}$ (c)	28
13	Plot meta-regresi variabel waktu (a), daya (b), dan suhu (c)	31
14	Hasil <i>funnel plot</i> analisis bias publikasi	32



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.