

PEMETAAN SENYAWA ANTIMIKROBA BUMBU RENDANG TERHADAP BAKTERI PEMBENTUK SPORA DENGAN PENDEKATAN METABOLOMIK

RHEMA NAFIRI SYALOM



**PROGRAM STUDI ILMU PANGAN
SEKOLAH PASCASARJANA
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 TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul “Pemetaan Senyawa Antimikroba Bumbu Rendang terhadap Bakteri Pembentuk Spora dengan Pendekatan Metabolomik” 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 tesis ini.

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

Bogor, Juni 2025

Rhema Nafiri Syalom
F2501211012

- 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.



RINGKASAN

RHEMA NAFIRI SYALOM. Pemetaan Senyawa Antimikroba Bumbu Rendang terhadap Bakteri Pembentuk Spora dengan Pendekatan Metabolomik. Dibimbing oleh RATIH DEWANTI-HARIYADI dan NANCY DEWI YULIANA.

Rendang merupakan makanan Indonesia asal Provinsi Sumatera Barat yang dimasak selama 6-7 jam menggunakan daging sapi, santan, dan rempah – rempah. Produk rendang dalam kemasan tertutup memiliki masa simpan lama di suhu ruang meskipun seringkali tidak diolah sesuai standar sterilisasi komersial untuk mereduksi 12 siklus log (12D) *Clostridium botulinum*. Kecukupan panas yang tidak memadai dapat berisiko terjadinya germinasi bakteri patogen pembentuk spora, khususnya *C. botulinum* yang mampu memproduksi neurotoksin penyebab penyakit botulisme yang fatal. Rempah – rempah dalam bumbu rendang secara individu telah dilaporkan memiliki sifat antimikroba. Meskipun demikian, studi tentang antimikroba campuran rempah – rempah dalam bumbu rendang masih terbatas. Oleh karena itu, kajian aktivitas antimikroba dalam bumbu rendang sangat diperlukan. Penelitian ini bertujuan untuk memetakan senyawa antimikroba bumbu rendang dengan pendekatan metabolomik terhadap *C. sporogenes* sebagai bakteri pengganti *C. botulinum*, serta mengidentifikasi pengaruh penambahan santan terhadap aktivitas antimikroba bumbu rendang.

Sampel bumbu rendang menggunakan tiga formula utama (A, B, dan C), tanpa (TS) dan dengan santan (DS), yang masing – masing memiliki jenis dan jumlah rempah berbeda. Penelitian terdiri dari pengujian aktivitas antimikroba bumbu rendang terhadap *C. sporogenes* dengan metode difusi agar, identifikasi profil senyawa volatil bumbu rendang dengan metode *headspace solid microextraction gas chromatography mass spectrometry* (HS-SPME-GC-MS), serta analisis data multivariat meliputi *Principal Component Analysis* (PCA) dan *Orthogonal Projection to Latent Structure* (OPLS).

Hasil penelitian menunjukkan diameter zona hambat bumbu rendang terhadap *C. sporogenes* berkisar antara 4,71 hingga 18,92 mm. Bumbu rendang TSA tergolong ke dalam kategori sangat menghambat, sedangkan DSA, TSB, dan DSB menghambat dengan kategori sedang. Sementara itu, bumbu rendang TSC dan DSC memiliki penghambatan yang lemah. Keragaman jenis dan jumlah rempah – rempah setiap formula bumbu rendang menghasilkan perbedaan profil senyawa volatil dan respon penghambatan terhadap *C. sporogenes*. Bumbu rendang dengan santan (DSA, DSB, dan DSC) menghasilkan zona hambat yang bervariasi yang diduga disebabkan karena efektivitas antimikroba dalam senyawa aktif dapat berubah ketika berada dalam sistem pangan dengan kadar lemak tinggi. Oleh karenanya, pada bumbu rendang dengan santan memerlukan konsentrasi senyawa aktif yang lebih banyak dan stabil. Berdasarkan analisis GC-MS, kelompok senyawa dominan dalam bumbu rendang terdiri dari senyawa mengandung sulfur, terpen, dan terpenoid. Model PCA berhasil mengelompokkan tiga formula bumbu rendang dengan nilai Q^2 sebesar 0,654 dan R^2X sebesar 0,853, yang mengindikasikan adanya perbedaan profil senyawa volatil. Hasil analisis OPLS menunjukkan interpretasi yang baik dengan nilai Q^2 sebesar 0,865 dan R^2Y sebesar 0,95. Model OPLS mengidentifikasi 15 senyawa antimikroba dalam bumbu rendang dan empat senyawa dengan VIP tertinggi yaitu 2-vinyl-1,3-dithiane, 2-



vinyl-4H-1,3-dithiine, dan *(S)-4-(1-acetoxyallyl)phenyl acetate* yang banyak ditemukan pada bawang putih dan lengkuas, serta satu senyawa *unknown*. Bumbu rendang formula A tanpa santan memiliki penghambatan paling besar terhadap *C. sporogenes*.

Kata kunci: antimikroba, bumbu rendang, *Clostridium sporogenes*, metabolomik, senyawa volatil

- 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.



SUMMARY

RHEMA NAFIRI SYALOM. Antimicrobial Compounds Profiling of Rendang Seasoning Against Spore-forming Bacteria Using Metabolomics Approach. Supervised by RATIH DEWANTI-HARIYADI and NANCY DEWI YULIANA.

Rendang is a traditional food made of beef, coconut milk, and spices cooked for 6-7 hours from West Sumatera, Indonesia. Rendang products in sealed packaging are claimed to have a long shelf-life at room temperature, although some may not be produced according to sterilization commercial standard to inactivate 12 log cycle (12D) of *Clostridium botulinum*. Inadequate thermal processing can trigger the germination of spore-forming pathogenic bacteria, particularly *C. botulinum*, which is capable of producing neurotoxin responsible for fatal botulism. While the individual spices in rendang seasoning have been reported to possess antimicrobial activity, the antimicrobial properties of spices mixture in rendang seasoning are rarely studied. Therefore, a research on the antimicrobial compounds in rendang seasoning using metabolomics approach against *C. sporogenes* as the surrogate bacteria of *C. botulinum*, and to evaluate the influence of coconut milk addition on the antimicrobial activity of rendang seasoning.

The rendang seasoning samples were made using three different formulae (A, B, and C), with (TS) and without (DS) coconut milk. Each formula contains different type and amount of spices. This study consisted of antimicrobial activity analysis of rendang seasoning against *C. sporogenes* using agar well diffusion method, volatile compound profile identification of rendang seasoning with headspace solid microextraction gas chromatography mass spectrometry (HS-SPME-GC-MS) method, and multivariate data analysis, including Principal Component Analysis (PCA) and Orthogonal Projection to Latent Structure (OPLS).

The antimicrobial activity analysis showed the diameters of inhibition zone of rendang seasoning were ranging from 4,71 mm to 18,92 mm. Rendang seasoning TSA could be classified as very inhibitory, whilst DSA, TSB, and DSB produced intermediate inhibition. Meanwhile, rendang seasoning TSC and DSC were of low inhibitory category. Different spices type and amount affected the different volatile compounds profile and inhibition response against *C. sporogenes*. Rendang seasoning containing coconut milk (DSA, DSB, and DSC) had varied inhibition zones, likely due to the changes in the effectiveness of antimicrobial compounds in spices when they were in the high-fat food system. Consequently, the rendang seasoning formulae containing coconut milk needed a higher concentration and more stable active compounds. The GC-MS analysis suggested that sulfur containing compounds, terpenes, and terpenoids were abundant in rendang seasoning. The PCA model successfully separated the three rendang seasoning formulae with the Q^2 value of 0.654 and R^2X of 0.853, indicating the differences in volatile compounds profile. The OPLS analysis also produced a good interpretation with Q^2 value of 0.865 and R^2Y of 0.95. The OPLS model highlighted the 15 compounds and three highest VIP scores of compounds, specifically 2-vinyl-1,3-



dithiane, 2-vinyl-4H-1,3-dithiine, and (S)-4-(1-acetoxyallyl)phenyl acetate which are present in garlic and great galangal, as well as an unknown compound. Rendang seasoning formula A without coconut milk showed the most inhibition against *C. sporogenes*.

Keywords: antimicrobial, *Clostridium sporogenes*, metabolomics, rendang seasoning, volatile compounds

- 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 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.

PEMETAAN SENYAWA ANTIMIKROBA BUMBU RENDANG TERHADAP BAKTERI PEMBENTUK SPORA DENGAN PENDEKATAN METABOLOMIK

RHEMA NAFIRI SYALOM

Tesis
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister pada
Program Studi Ilmu Pangan

**PROGRAM STUDI ILMU PANGAN
SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**



@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 Tesis:

1. Dr. Diah Chandra Aryani, S.TP., M.Sc.

Judul Penelitian : Pemetaan Senyawa Antimikroba Bumbu Rendang terhadap Bakteri Pembentuk Spora dengan Pendekatan Metabolomik

Nama : Rhema Nafiri Syalom

NIM : F2501211012

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Prof. Dr. Ir. Ratih Dewanti-Hariyadi, M.Sc.



Pembimbing 2:
Prof. Dr. Nancy Dewi Yuliana, S.T.P., M.Sc.



Diketahui oleh

Ketua Program Studi

Prof. Dr. Ir. Harsi Dewantari Kusumaningrum
NIP 19640502 199303 2 004



Dekan Fakultas Teknologi Pertanian

Prof. Dr. Ir. Slamet Budijanto, M. Agr.
NIP 19610502 198603 1 002



Tanggal Ujian : 25 Maret 2025

Tanggal Lulus: 03 Juni 2025



@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.

PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yesus Kristus atas segala kasih karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan karya ilmiah tesis sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelas Magister pada Program Studi Magister Ilmu Pangan, Institut Pertanian Bogor.

Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada dosen pembimbing penulis, Prof. Dr. Ir. Ratih Dewanti-Hariyadi, M.Sc dan Prof. Dr. Nancy Dewi Yuliana, S.T.P., M.Sc yang selalu membimbing dan memberikan masukan. Ucapan terima kasih kepada Dr. Diah Chandra Aryani, S.TP., M.Sc selaku penguji luar komisi pembimbing, dan Dr. Ir. Endang Prangdimurti, M.Si selaku wakil Program Studi Ilmu Pangan. Selain itu, penulis juga mengucapkan terima kasih atas bantuan, saran, fasilitas, dan tenaga kepada seluruh dosen dan staf laboratorium ITP dan Seafast Center, serta seluruh staf Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan.

Ucapan terima kasih kepada kedua orang tua dan adik penulis tidak pernah berhenti untuk mendukung dan mendoakan penulis. Penulis tak lupa mengucapkan terima kasih untuk Rani, Yefta, Feren, Anna, Nisa, Kak Hana, Kak Izza, Kak Risya, Lia, Navigator Kampus Bogor, serta teman – teman Program Studi Ilmu Pangan karena selalu memberikan semangat pada penulis dalam menyelesaikan tesis. Kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Riset, dan Teknologi serta Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi, penulis mengucapkan terima kasih karena telah mendukung penyelesaian penelitian dan tesis dalam bentuk dana pada skema Penelitian Tesis Magister.

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

Bogor, Juni 2025

Rhema Nafiri Syalom



@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.

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Aktivitas Antimikroba Bumbu Rendang	4
2.2 Bakteri Pembentuk Spora	6
2.3 Metabolomik	9
2.4 <i>Headspace Solid-Phase Microextraction Gas Chromatography Mass Spectrometry</i> (HS-SPME-GC-MS)	10
III METODE	15
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian	15
3.2 Alat dan Bahan	15
3.3 Prosedur Kerja	15
3.3.1 Pengujian Aktivitas Antimikroba Bumbu Rendang dengan Formulasi Berbeda	17
3.3.1.1 Persiapan Sampel Bumbu Rendang	17
3.3.1.2 Ekstraksi Senyawa Bumbu Rendang	18
3.3.1.3 Persiapan Kultur Bakteri <i>C. sporogenes</i>	19
3.3.1.4 Pengujian Aktivitas Antimikroba terhadap <i>C. sporogenes</i>	20
3.3.2 Pemetaan Senyawa Antimikroba Bumbu Rendang dengan Metabolomik	20
3.3.2.1 Identifikasi Senyawa Antimikroba dengan HS-SPME-GC-MS	20
3.3.3 Analisis Data	21
3.3.3.1 Analisis Data Aktivitas Antimikroba Bumbu Rendang	21
3.3.3.2 Analisis Data Multivariat	22
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	23
4.1 Aktivitas Antimikroba Bumbu Rendang terhadap <i>C. sporogenes</i>	23
4.2 Profil Senyawa Volatil Bumbu Rendang	26
4.3 Hasil Analisis Data Multivariat Profil Senyawa Volatil Bumbu Rendang dan Aktivitas Antimikroba	39
4.3.1 Pengelompokan Senyawa Volatil Bumbu Rendang dengan PCA	39
4.3.2 Korelasi Senyawa Volatil Bumbu Rendang dan Aktivitas Antimikroba dengan Analisis OPLS	40
V SIMPULAN DAN SARAN	46
5.1 Simpulan	46
5.2 Saran	46

DAFTAR PUSTAKA

47

LAMPIRAN

47

RIWAYAT HIDUP

67

DAFTAR TABEL

1.	Beberapa senyawa antimikroba pada bahan penyusun bumbu rendang	4
2.	Karakteristik bakteri pembentuk spora	6
3.	Hasil metabolit rempah – rempah bumbu rendang secara individu	12
4.	Rencana kegiatan dan luaran penelitian	17
5.	Formula bumbu rendang	19
6.	Profil senyawa volatil bumbu rendang	29
7.	Senyawa antimikroba bumbu rendang terhadap <i>C. sporogenes</i>	43

DAFTAR GAMBAR

1.	Proses ekstraksi dengan HS-SPME	11
2.	Diagram alir penelitian	16
3.	Diagram alir proses pembuatan bumbu rendang	18
4.	Aktivitas antimikroba bumbu rendang terhadap <i>C. sporogenes</i>	23
5.	Kromatogram senyawa volatil bumbu rendang (A) TSA (B) DSA (C) TSB (D) DSB (E) TSC (F) DSC	28
6.	<i>Score plot</i> PCA pengelompokan profil senyawa volatil bumbu rendang	39
7.	<i>Loadings plot</i> profil senyawa volatil bumbu rendang	40
8.	<i>Score plot</i> OPLS senyawa bumbu rendang dan aktivitas antimikroba	41
9.	<i>S-plot</i> OPLS	42
10.	Distribusi senyawa antimikroba pada bumbu rendang (A) <i>Unknown 2</i> (B) <i>2-vinyl-1,3-dithiane</i> (C) <i>2-vinyl-4H-1,3-dithiine</i> (D) <i>(S)-4-(1-acetoxyallyl)phenyl acetate</i>	45

DAFTAR LAMPIRAN

1	Dokumentasi sampel penelitian bumbu rendang	62
2	Hasil uji ANOVA dan DMRT aktivitas antimikroba bumbu rendang	63
3	Diameter zona hambat ekstrak bumbu rendang terhadap <i>C. sporogenes</i>	64
4	<i>Plot variable importance in projection</i> (VIP) dan koefisien	65
5	Permutasi 100x dan CV-ANOVA	66