

Senyawa Volatil Daging Celeng (*Sus scrofa vittatus*) dengan Berbagai Pengolahan Menggunakan Metode SPME-GC/MS

Volatile Compounds of Wild Boar Meat (*Sus scrofa vittatus*) with Various Processing Methods Using the SPME-GC/MS Method

Lia Amalia^{1a}, Noli Novidahlia¹, Intan Kusumaningrum¹, Sahnur Mulya¹, Mardiah², Aji Jumiono², Arshyla Eliska¹, Muhamad Fauzi Ramadhan¹, Nurfitri Lidiyani¹

¹Jurusan Teknologi Pangan dan Gizi, Fakultas Ilmu Pangan Halal, Universitas Djuanda, Bogor, Jl. Tol Ciawi No.1, Kotak Pos 35 Ciawi, Bogor, 16720.

²Magister Teknologi Pangan, Universitas Djuanda, Bogor, Jl. Tol Ciawi No.1, Kotak Pos 35 Ciawi, Bogor, 16720.

^aKorespondensi: Lia Amalia, E-mail: lia.amalia@unida.ac.id

Diterima: 27 - 02 - 2025 , Disetujui: 30 - 04 - 2025

ABSTRACT

Food adulteration involving the mixing of non-halal meat into halal products is a sensitive issue in Indonesia. Wild boar meat (*Sus scrofa vittatus*) is often found to be used in such practices, making it essential to identify its volatile compound profile. This study aims to identify volatile compounds in wild boar meat processed through boiling, frying, and roasting, using Solid-Phase Microextraction (SPME) combined with Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS). The research was conducted qualitatively with three treatments and five replications for each cooking method. The analysis showed that boiled wild boar meat contained 156 volatile compounds, fried meat 142 compounds, and roasted meat 163 compounds, with total intensities of 779, 691, and 819, respectively. Principal Component Analysis (PCA) yielded an R^2X value of 0.842 and a cumulative Q^2 of 0.747, indicating clear separation between samples. The main contributing volatile compounds were 2-Octenal (E)-, Longifolene, and Cyclopropyl carbinol.

Keywords: authentication, halal, volatile, wild boar

ABSTRAK

Pemalsuan pangan dengan mencampurkan daging non-halal pada produk halal merupakan isu yang sensitif di Indonesia. Daging celeng (*Sus scrofa vittatus*) sering ditemukan penggunaannya dalam praktik ini, sehingga penting untuk mengidentifikasi profil senyawa volatilnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi senyawa volatil dari berbagai pengolahan yaitu perebusan, penggorengan dan pemanggangan, menggunakan teknik *Solid-Phase Microextraction* (SPME) yang dan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS). Penelitian dilakukan secara kualitatif dengan tiga perlakuan dan lima ulangan dalam masing-masing pengolahan. Hasil analisis menunjukkan bahwa daging celeng rebus mengandung 156 senyawa volatil, goreng 142 senyawa, dan panggang 163 senyawa, dengan total intensitas masing-masing 779, 691, dan 819. Analisis *Principal Component Analysis* (PCA) menghasilkan nilai R^2X sebesar 0,842 dan Q^2 kumulatif 0,747, yang menunjukkan pemisahan yang jelas antar sampel. Senyawa volatil utama yang berkontribusi adalah 2-Octenal (E)-, Longifolene, dan Cyclopropyl carbinol.

Kata kunci: halal, autentikasi, volatil, celeng.

PENDAHULUAN

Kasus pemalsuan pangan (*food fraud*) dalam beberapa tahun terakhir sering terjadi di Indonesia. Kasus ini menjadi sangat sensitif ketika pemalsuan daging halal dilakukan dengan menggunakan daging non-halal, mengingat Indonesia adalah negara dengan populasi muslim terbesar (Mardiah *et al.*, 2020). Daging celeng dan babi yang biasa digunakan untuk konsumsi dan olahraga berburu di berbagai negara, kini kerap dimanfaatkan dalam praktik pemalsuan pangan (Amalia *et al.*, 2022). Pertumbuhan alami populasi serta potensi peternakan babi dan celeng telah menjadikan spesies ini sebagai sumber daging utama dalam pemalsuan pangan (Kamieniarz *et al.*, 2020). Untuk membuktikan terjadinya kasus pemalsuan, diperlukan metode autentikasi daging. Autentikasi merupakan proses validasi suatu produk yang dilakukan dengan teknik analisis yang dapat dipercaya (Salahudin & Ramli, 2018).

Pemerintah Indonesia menerbitkan Undang-Undang No. 33 tahun 2014 tentang Jaminan Produk Halal untuk melindungi umat muslim di Indonesia dalam mengonsumsi makanan yang halal. Berdasarkan Undang-Undang tersebut, sejak bulan Oktober 2019 telah didorong berbagai penelitian untuk menemukan metode alternatif dalam autentikasi daging halal dan non-halal. Hal ini bertujuan untuk mendukung proses pengujian rutin di laboratorium yang diperlukan dalam sertifikasi halal. Beragam metode analisis telah diterapkan dalam penelitian autentikasi daging dan olahannya seperti elektroforesis, *Fourier-transform Infrared Spectroscopy* (FTIR), *Polymerase Chain Reaction* (PCR) yang berbasis DNA, *Differential Scanning Calorimetry* (DSC), *Electronic nose*, metode *Enzyme-Linked Immunosorbent Assay* (ELISA). Metode tersebut di atas memerlukan persiapan sampel yang kompleks serta keahlian khusus untuk analisisnya (Amalia *et al.*, 2022).

Sebagai alternatif, pendekatan *metabolomik* banyak digunakan dalam penelitian autentikasi. Salah satu teknik utama dalam metabolomik adalah *metabolite fingerprinting* yaitu metode non-targeted yang menganalisis seluruh sinyal atau puncak yang terdeteksi, termasuk senyawa yang belum teridentifikasi, untuk keperluan klasifikasi sampel (Garcia & Barbas, 2011). Metabolomik diakui sebagai metode yang efektif dalam meminimalkan kejadian pemalsuan pangan serta dampak negatif yang ditimbulkannya (Ellis *et al.*, 2016). Volatilomik sebagai cabang dari metabolomik berfokus pada deteksi, identifikasi, dan kuantifikasi metabolit volatil dalam sistem biologis. Cabang ilmu ini memiliki peran penting dalam berbagai aspek pangan, seperti keamanan, kualitas, dan keaslian (Lytou *et al.*, 2019).

Setiap jenis daging memiliki aroma khas yang dipengaruhi oleh komposisi senyawa volatilnya (Amalia *et al.*, 2022). Analisis dan identifikasi senyawa volatil dalam daging serta produk olahannya dapat dilakukan menggunakan instrumen *Gas Chromatography-Mass Spectroscopy* (GC-MS) (Chen *et al.*, 2019). Untuk mempermudah proses persiapan sampel pada GC-MS, metode *Solid Phase Microextraction* (SPME) dapat diterapkan. Pendekatan analisis SPME-GC/MS sering digunakan dalam pengujian senyawa volatil pada bahan pangan karena memiliki keunggulan seperti kemudahan dalam preparasi sampel, sensitivitas dan resolusi yang tinggi, serta kemampuan menghasilkan data volatil yang konsisten. Dengan pendekatan volatilomik memungkinkan identifikasi sebanyak mungkin senyawa volatil tanpa pembatasan tertentu, sehingga meningkatkan peluang menemukan senyawa penanda (*marker*) volatil (Amalia *et al.*, 2022). Penelitian sebelumnya banyak hanya fokus pada daging babi saja dikarenakan daging babi lebih mudah didapatkan dibandingkan dengan daging celeng, maka dari itu belum banyak yang secara spesifik mengkaji profil volatil daging celeng dengan berbagai metode pengolahan. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan membandingkan profil senyawa volatil pada daging celeng (*Sus scrofa vittatus*) yang diolah melalui perebusan, penggorengan, dan pemanggangan menggunakan pendekatan volatilomik dengan metode SPME-GC/MS.

MATERI DAN METODE

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sampel daging paha dari lima ekor celeng dengan berat antara 50-60 kg yang diperoleh dari kawasan Hutan Hambalang, Jawa Barat, Indonesia. Bahan tambahan yang digunakan yaitu air untuk perebusan dan minyak goreng komersial untuk penggorengan.

Peralatan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah berlapis *Divinylbenzene/Carboxen/Polydimethylsiloxane* (DVB/CAR/PDMS) 2 mL (Supelco, Bellefonte, PA, USA), vial kaca volume 22 mL (Agilent), *crimper* vial (Agilent), dan instrumen GC-MS yang terdiri dari Gas Chromatograph Agilent 7890A dan Mass Spectrometer Agilent 5973C XL EI/CI (Agilent Technologies, Santa Clara, USA). Peralatan pendukung yaitu panci, wajan, oven listrik, termometer digital, neraca analitik, spatula, sudip, sarung tangan lateks, serta wadah kawat modifikasi untuk merebus dan menggoreng sampel.

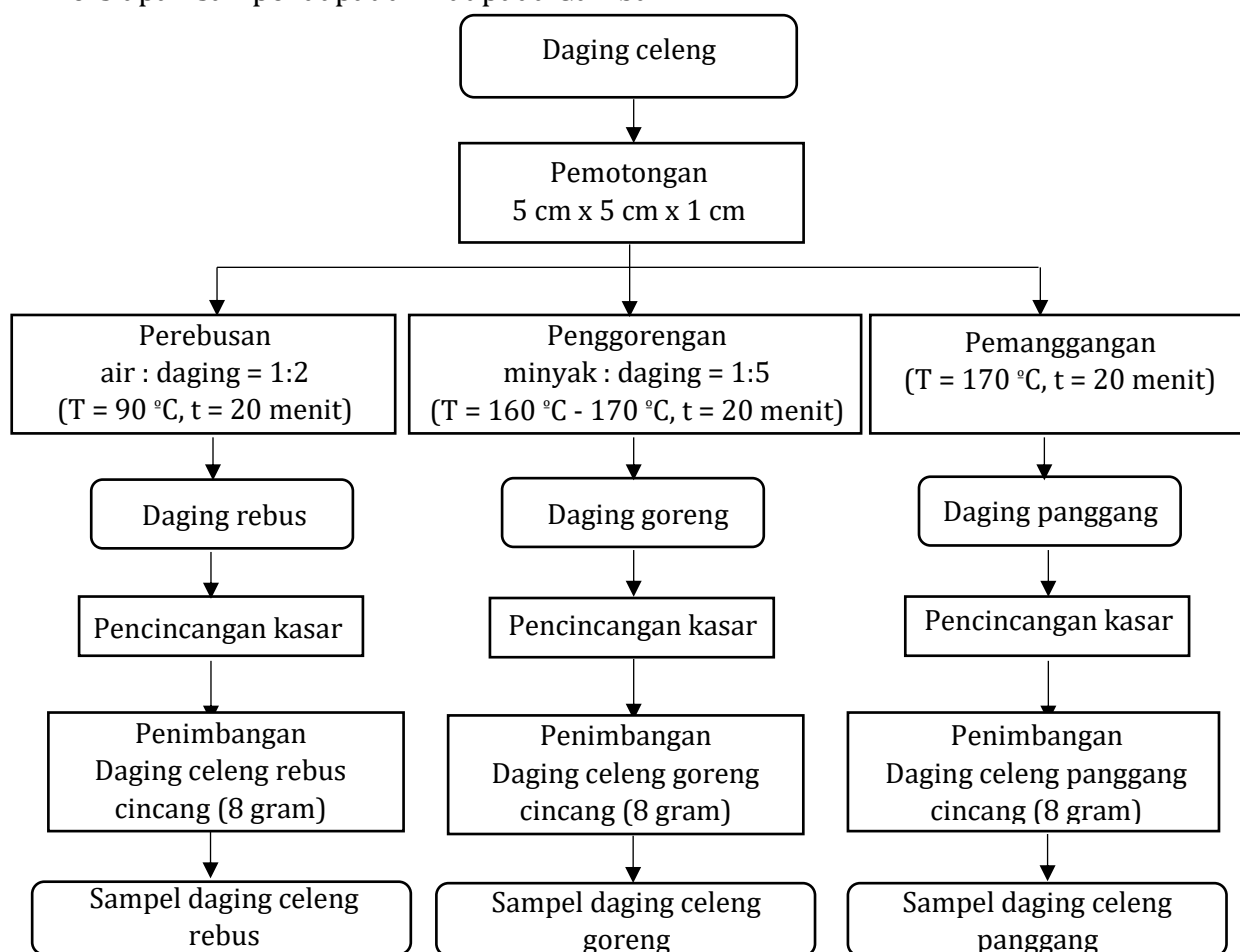
Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Pangan Universitas Djuanda Bogor dan Laboratorium Balai Besar Pengujian Standar Instrumen Padi, Subang. Penelitian dilaksanakan mulai dari bulan Juli 2024 hingga September 2024.

Metode Penelitian

a. Persiapan Sampel

Persiapan sampel dapat dilihat pada Gambar 1



Gambar 1. Metode persiapan sampel (Amalia *et al.*, 2022)

b. Ekstraksi senyawa volatil dengan SPME

Komponen volatil diserap dengan menggunakan peralatan SPME serat 2 mL DVB/CAR/PDMS (Supelco, Bellefonte, PA, USA). Sebelum digunakan, serat dipanaskan dalam injektor GC-MS pada suhu 250 °C selama 15 menit untuk menghilangkan kontaminan. Selanjutnya, sebanyak 8 g sampel daging dimasukkan ke dalam vial 22 mL yang kemudian ditutup dengan septum PTFE/Silikon (Agilent). Vial tersebut ditutup rapat dan diletakkan dalam *water bath* untuk mengekstraksi senyawa volatil pada suhu 45 °C selama 80 menit. Setelah itu, serat disuntikkan ke dalam GC-MS. Proses desorpsi senyawa volatil terjadi di lubang injeksi GC-MS selama 5 menit. Untuk menghilangkan kontaminan yang mudah menguap, serat dibiarkan terpapar pada port injeksi GC selama 15 menit sebelum analisis (Amalia *et al.*, 2022; Pranata *et al.*, 2021).

c. Analisis Senyawa Volatil dengan GC-MS

Penelitian ini menggunakan instrumen GC Agilent 7890A yang dikombinasikan dengan MS Agilent 5973C XL EI/CI (Agilent Technologies, Santa Clara, USA). Gas pembawa yang digunakan adalah helium dengan laju aliran konstan sebesar 1 mL/menit. Port injeksi dilengkapi dengan liner Agilent berukuran 0,75 mm yang sesuai untuk teknik SPME. Proses analisis GC-MS dilakukan dengan memasukkan serat yang telah terpapar sampel ke dalam port injeksi, menggunakan mode split pada suhu 250 °C. Pemisahan senyawa dilakukan menggunakan kolom kapiler HP-5MS dengan dimensi 30 × 0,25 mm dan ketebalan film 0,25 µm. Proses pemanasan oven diawali dengan tahap pemanasan pada suhu 45 °C selama 2 menit. Setelah itu suhu dinaikkan dengan laju 3 °C per menit hingga mencapai 80 °C, lalu dipertahankan pada suhu tersebut selama 5 menit. Selanjutnya suhu kembali dinaikkan dengan laju 5 °C per menit hingga mencapai 250 °C dan dipertahankan selama 5 menit. Spektrometer massa beroperasi dalam mode ionisasi elektron dengan energi ionisasi sebesar 70 eV. Rentang pemindaian ditetapkan antara 29 hingga 550 m/z dengan kecepatan pemindaian 4,37 pemindaian per detik serta faktor penguatan 1. Temperatur sumber ion dan penganalisis kuadropol masing-masing diatur pada 230 °C dan 150 °C. (Amalia *et al.*, 2022; Pranata *et al.*, 2021).

Analisis Data

Analisis data mentah menggunakan GC-MS Agilent melibatkan integrasi area puncak dan normalisasi, menghasilkan matriks data yang mencantumkan informasi mengenai sampel serta intensitas relatif senyawa yang terdeteksi. Data GC-MS kemudian dianotasi secara manual dengan membandingkan spektrum massa metabolit yang diperoleh dari Chemstation E. 02.02.1431 dan Perpustakaan Spektrum Massa NIST MS 14.0 Library. Linear retention index (LRI) untuk setiap metabolit yang telah dianotasi ditentukan berdasarkan waktu retensinya pada kolom HP-5MS, dengan merujuk pada waktu retensi campuran alkana standar eksternal (C8-C40, Sigma Aldrich, Jerman; 5 mg/L).

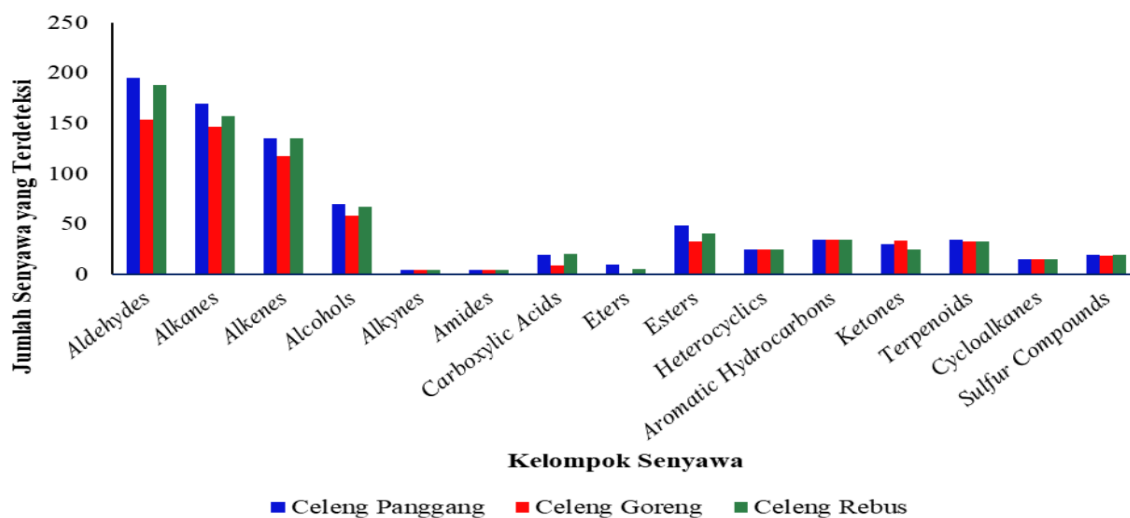
Analisis dan pemodelan data dilakukan menggunakan perangkat lunak SIMCA (v.18.0, Sartorius-Umetric, Swedia). Jenis analisis yang digunakan adalah PCA. PCA digunakan untuk mengidentifikasi pola klasifikasi antar berbagai jenis pengolahan daging dan bertindak sebagai langkah awal sebelum melanjutkan ke analisis diferensiasi lebih lanjut menggunakan PLS-DA atau OPLS-DA. Kualitas model PCA dievaluasi berdasarkan nilai variansi variabel (X) yang dijelaskan oleh model (R^2X) serta kemampuan prediktif model (Q^2).

HASIL DAN PEMBAHASAN**Senyawa Volatil Daging Celeng dengan Berbagai Pengolahan**

Senyawa volatil adalah senyawa yang memberikan sensasi aroma, menghasilkan kesan awal, dan mudah menguap, terutama saat suhu meningkat. Sementara itu, senyawa non-volatil berperan dalam memberikan sensasi rasa, seperti asam, asin, manis, dan pahit. Senyawa non-

volatil tidak memberikan aroma, tetapi dapat berfungsi sebagai media yang membantu menahan penguapan senyawa volatil (Fitriana *et al.*, 2014). Dengan demikian, senyawa volatil berkontribusi pada aroma, sedangkan senyawa non-volatil memberikan rasa (Jamilah, 2012). Komposisi senyawa volatil pada produk daging sangat beragam, dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti jenis keturunan hewan ternak, jenis kelamin, pola makan, umur hewan, kondisi saat penyembelihan, durasi dan metode penyimpanan, jenis otot, cara memasak (misalnya direbus, dipanggang, atau diasapkan), serta penambahan bumbu (Kosowska *et al.*, 2017).

Metode SPME GC-MS digunakan untuk mengidentifikasi senyawa volatil dalam daging celeng yang diolah dengan tiga metode berbeda, yaitu perebusan, penggorengan, dan pemanggangan. Hasil analisis menunjukkan bahwa *Longifolene* merupakan senyawa volatil yang hanya ditemukan pada daging celeng rebus, tetapi tidak terdeteksi pada daging celeng goreng maupun panggang. Sementara itu, senyawa volatil yang terdapat pada daging celeng goreng tetapi tidak ditemukan pada daging celeng rebus dan panggang meliputi *α -Citral*; *Nonane*, *5-methyl-5-propyl-*; *2-Cyclohexen-1-ol*, *1-methyl-*; *Phenylcyclohexane*; *3-Octanone*; *p-Menth-8(10)-en-9-ol, cis-*; serta *Cyclopropane*, *octyl-*. Adapun senyawa volatil yang ditemukan pada daging celeng panggang tetapi tidak terdapat pada daging celeng rebus dan goreng antara lain *1,3-p-Menthadien-7-al*; *2-Methylhexadecan-1-ol*; *Methyl stearate*; *Oxirane*, *heptadecyl-*; dan *Cyclopentadecane*. Secara keseluruhan, daging celeng rebus mengandung 156 jenis senyawa volatil, daging celeng goreng mengandung 142 jenis senyawa volatil, dan daging celeng panggang mengandung 163 jenis senyawa volatil. Jumlah total senyawa volatil yang dihasilkan dari masing-masing metode pengolahan ditunjukkan pada Gambar 2, dengan daging celeng rebus memiliki total 779 senyawa volatil, daging celeng goreng memiliki total 691 senyawa volatil, dan daging celeng panggang memiliki total 819 senyawa volatil.



Gambar 2. Komposisi senyawa volatil yang terdeteksi pada daging celeng dengan berbagai pengolahan

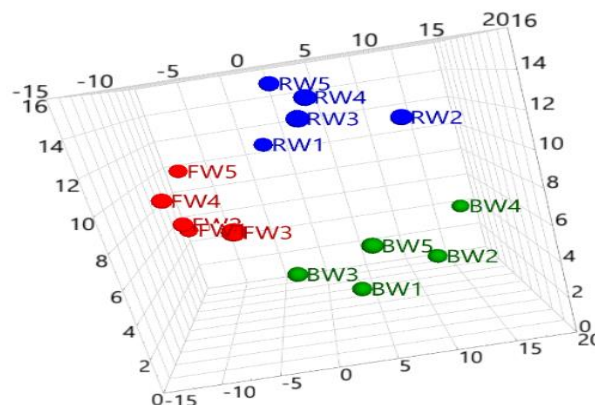
Aldehida adalah yang paling umum dan menunjukkan tingkat tertinggi di antara senyawa volatil yang diidentifikasi melalui teknik memasak yang berbeda (mengukus, merebus, memanggang). Sebaliknya, alkohol dan keton berada di peringkat berikutnya, dengan asam dan furan menjadi yang paling sedikit ditemukan (Wang *et al.*, 2023). Senyawa-senyawa tersebut kemungkinan terbentuk akibat oksidasi lipid, reaksi Maillard, interaksi antara produk reaksi Maillard dan hasil oksidasi lipid, dan/atau degradasi termal tiamin yang terjadi selama proses pemasakan (Kosowska *et al.*, 2017). Oksidasi lipid menghasilkan berbagai senyawa alifatik, seperti hidrokarbon jenuh dan tidak jenuh, alkohol, aldehida, keton, asam, dan ester (Ayseli *et al.*, 2014). Sementara itu, reaksi Maillard dapat menghasilkan banyak senyawa heterosiklik, termasuk senyawa sulfur dan nitrogen (Dashdorj *et al.*, 2015).

Senyawa volatil dalam daging sebagian besar terdiri atas alkohol, aldehida, keton, ester, hidrokarbon, dan senyawa lainnya (Pavlidis *et al.*, 2019). Sebagian besar kelompok senyawa volatil yang diukur dengan metode ini konsisten dengan senyawa volatil pada daging celeng yang dilaporkan dalam penelitian sebelumnya. Senyawa volatil yang teridentifikasi pada daging celeng meliputi hidrokarbon, aldehida, keton, dan alkohol (Lammers *et al.*, 2009; Armengol *et al.*, 2019). Namun, asam karboksilat, keton, alkohol, terpen, furan, serta senyawa nitrogen, fenolik, dan sulfur tidak ditemukan pada ruang kepala daging mentah (Ramírez *et al.*, 2004).

Analisis PCA Daging Celeng dengan Berbagai Pengolahan

Dalam penelitian ini, analisis senyawa volatil dilakukan dengan perangkat lunak SIMCA-P (versi 18.0, Sartorius-Umetrics, Umea, Swedia) menggunakan metode *Principal Component Analysis* (PCA) untuk analisis multivariat. Analisis multivariat menggunakan model PCA telah banyak diterapkan untuk mengidentifikasi perbedaan jenis atau asal suatu bahan dengan mengamati pola pemisahan sampel melalui pendekatan analisis tanpa supervisi (*unsupervised analysis*). *Unsupervised* PCA diterapkan pada data GC-MS dengan penskalaan *unit-varians* (UV) untuk mengevaluasi pola klasifikasi daging berdasarkan senyawa volatil. Penerapan transformasi UV bertujuan untuk mengurangi efek *masking* dalam penskalaan serta meningkatkan efisiensi identifikasi metabolit diferensial (Yang *et al.*, 2015). Selanjutnya, data difilter menggunakan metode *multiplicative signal correction* (MSC) guna menghilangkan artefak dan gangguan yang tidak berkaitan dengan analit target, sehingga menghasilkan model PCA yang lebih optimal (Eriksson *et al.*, 2013)

Menurut Chen *et al.* (2020) sebagai kriteria validasi, model dianggap dapat diterima jika nilai $R^2X > 0,5$ dan nilai $Q^2 > 0,4$. Model *Principal Component Analysis* (PCA) yang dihasilkan memiliki nilai R^2X sebesar 0,842 dan nilai kumulatif Q^2 sebesar 0,747 lebih besar dari dari batas minimum sehingga model dinyatakan valid. Nilai R^2X sebesar 0,842 mengindikasikan bahwa model mampu menjelaskan sekitar 84,2% dari total variabilitas data yang digunakan. Hal ini menunjukkan bahwa model PCA memiliki kemampuan yang sangat baik dalam menangkap informasi penting dari data. Sementara itu, nilai kumulatif Q^2 sebesar 0,747 menggambarkan kemampuan model untuk memprediksi data yang tidak terlihat (*cross-validation*). Nilai ini menunjukkan bahwa model dapat menjelaskan sekitar 74,7% variabilitas data yang belum pernah dilihat sebelumnya. Dengan demikian, model memiliki kemampuan prediksi dan generalisasi yang cukup kuat. Tujuan utama penerapan PCA adalah mereduksi jumlah variabel yang diamati tanpa kehilangan informasi penting, sehingga mempermudah analisis variasi antar variabel. (Nobeli & Thornton, 2006).



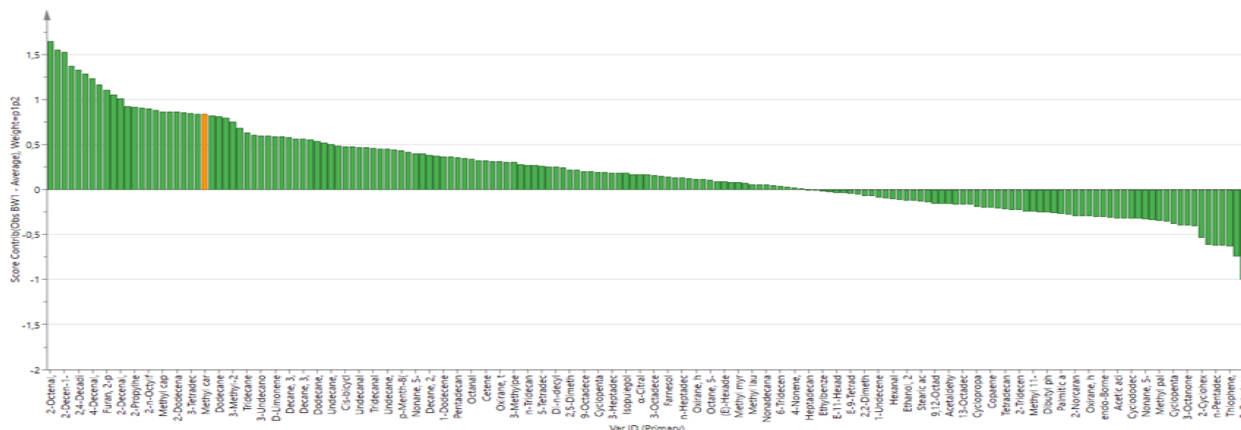
Keterangan warna:

■ = daging celeng rebus (BW), ■ = daging celeng goreng (FW), ■ = daging celeng panggang (RW)

Gambar 3. Skor Plot PCA daging celeng rebus, daging celeng goreng dan daging celeng panggang menggunakan skala UV (R^2X 0,842; Q^2 0,747).

Gambar 3 menampilkan plot skor yang memperlihatkan perbedaan antara sampel daging celeng yang diproses dengan metode berbeda. Sampel daging celeng yang direbus (BW), digoreng (FW), dan dipanggang (RW) memperlihatkan pola pemisahan yang jelas di antara jenis daging tersebut, sebagaimana tergambar dari plot yang dihasilkan. Hal ini mengindikasikan bahwa pengolahan daging celeng dengan berbagai metode pengolahan menghasilkan profil senyawa volatil yang berbeda.

Dari *score plot* PCA, diperoleh 5 senyawa yang paling berkontribusi pada daging celeng rebus dapat dilihat pada Gambar 4 dan Tabel 1.



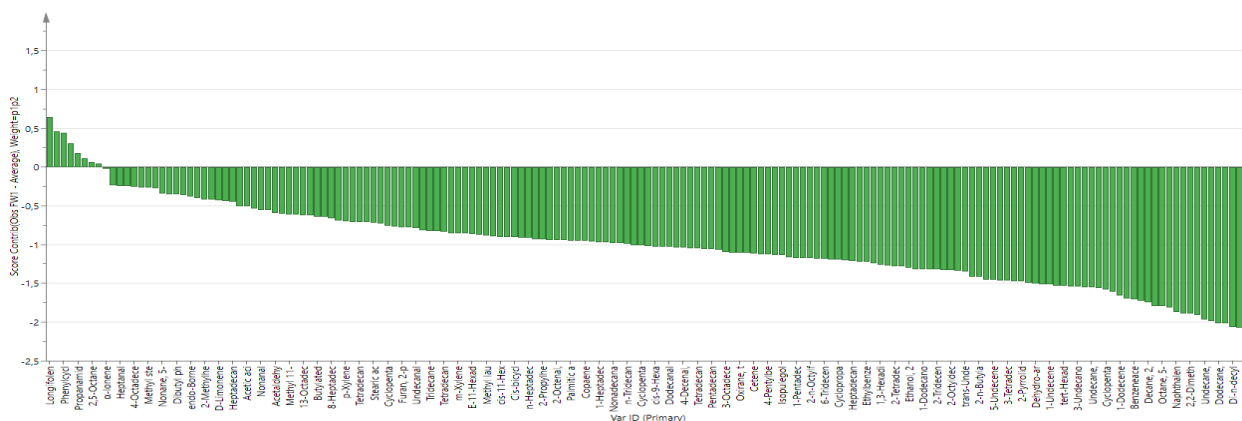
Gambar 4. Diagram kontribusi senyawa volatil pada daging celeng rebus

Tabel 1. Lima senyawa volatil yang paling berkontribusi pada daging celeng rebus

No	Nama Senyawa	Nilai Kontribusi	Kelompok Senyawa
1	2-Octenal, (E)-	1,65168	Aldehydes
2	1-Octen-3-ol	1,55121	Alcohols
3	2-Decen-1-ol	1,53002	Alcohols
4	Octane, 3,5-dimethyl	1,37237	Alkanes
5	2,4-Decadienal, (E,E)-	1,33036	Aldehydes

Tabel 1 menunjukkan bahwa senyawa volatil yang paling berkontribusi pada daging celeng rebus adalah senyawa 2-Octenal (E)- dengan nilai kontribusi 1,65168. Senyawa lainnya adalah 1-Octen-3-ol; 2-Decen-1-ol; Octane, 3,5-dimethyl; dan 2,4-Decadienal, (E,E)-. Penelitian sebelumnya telah mengidentifikasi 2-Octenal, (E)- dan 1-Octen-3-ol sebagai senyawa volatil dalam bakso yang terbuat dari bahan daging celeng (Amalia *et al.*, 2022).

Dari *score plot* PCA, diperoleh 5 senyawa yang paling berkontribusi pada daging celeng goreng dapat dilihat pada Gambar 5 dan Tabel 2.



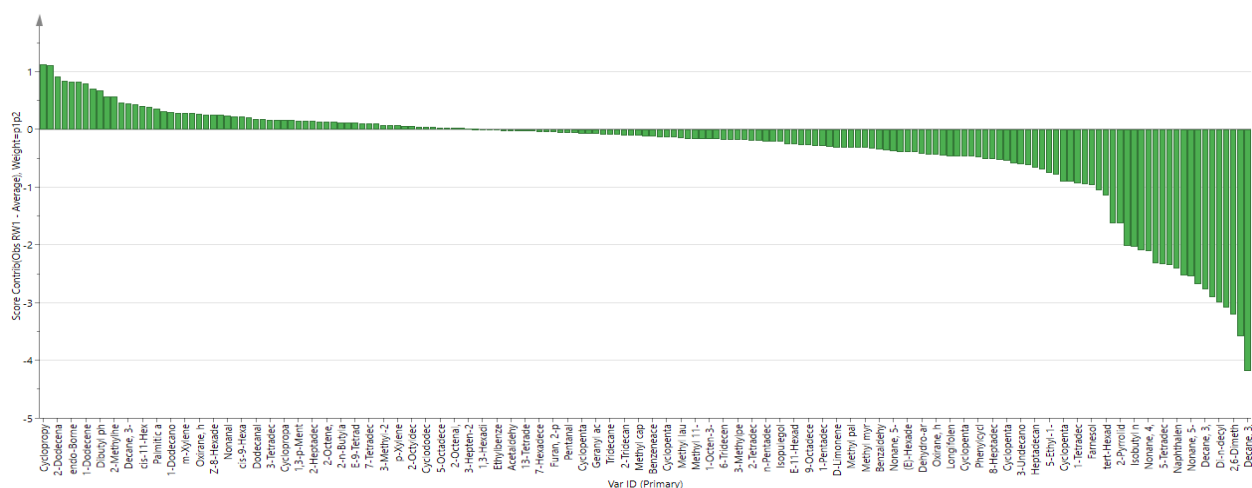
Gambar 5. Diagram kontribusi senyawa volatil pada daging celeng goreng

Tabel 2. Lima senyawa volatil yang paling berkontribusi pada daging celeng goreng

No	Nama Senyawa	Nilai Kontribusi	Kelompok Senyawa
1	<i>Longifolene</i>	0,64446	<i>Terpenoids</i>
2	<i>2-Cyclohexen-1-ol, 1-methyl-</i>	0,46147	<i>Alcohols</i>
3	<i>Phenylcyclohexane</i>	0,44716	<i>Aromatic Hydrocarbons</i>
4	<i>Oxime-, methoxy-phenyl-</i>	0,30306	<i>Alcohols</i>
5	<i>Propanamide</i>	0,18288	<i>Amides</i>

Tabel 2 menunjukkan senyawa volatil yang paling berkontribusi pada daging celeng goreng adalah senyawa *Longifolene* dengan nilai kontribusi 0,64446. Senyawa penting lainnya termasuk *2-Cyclohexen-1-ol, 1-methyl-*; *Phenylcyclohexane*; *Oxime-, methoxy-phenyl-*; dan *Propanamide* yang merupakan komponen volatil yang memberikan karakteristik aroma khas pada daging celeng goreng dan dapat digunakan sebagai penanda dalam analisis volatilomik untuk autentikasi dan deteksi pemalsuan daging (Amalia et al., 2022; Pranata et al., 2021).

Dari *score plot* PCA, diperoleh 5 senyawa yang paling berkontribusi pada daging celeng panggang dapat dilihat pada Gambar 6 dan Tabel 3.



Gambar 6. Diagram kontribusi senyawa volatil pada daging celeng panggang

Tabel 3. Lima senyawa volatil yang paling berkontribusi pada daging celeng panggang

No	Nama Senyawa	Nilai Kontribusi	Kelompok Senyawa
1	<i>Cyclopropyl carbinol</i>	1,12811	<i>Alcohols</i>
2	<i>2-Decenal, (E)-</i>	1,11958	<i>Aldehydes</i>
3	<i>2-Dodecenal, (E)-</i>	0,91619	<i>Aldehydes</i>
4	<i>5-Undecene, 3-methyl-, (Z)-</i>	0,84863	<i>Alkenes</i>
5	<i>Endo-Borneol</i>	0,83203	<i>Terpenoids</i>

Tabel 3 menunjukkan bahwa senyawa volatil yang paling berkontribusi pada daging celeng panggang adalah *Cyclopropyl carbinol* dengan nilai kontribusi 1,12811, diikuti oleh senyawa penting lainnya seperti *2-Decenal (E)*, *2-Dodecenal (E)*, *5-Undecene, 3-methyl (Z)*, dan *Endo-Borneol*, di mana *Cyclopropyl carbinol* terdeteksi sebagai salah satu senyawa alkohol dalam daging celeng setelah penyimpanan dingin, sementara senyawa aldehida seperti *2-Decenal (E)* dan *2-Dodecenal (E)* termasuk dalam kelompok senyawa dominan yang berkontribusi pada aroma daging, dan *5-Undecene, 3-methyl (Z)* serta *Endo-Borneol* juga diidentifikasi sebagai komponen volatil penting (Amalia et al., 2022)

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai *profiling* senyawa volatil pada daging celeng yang diproses dengan metode perebusan, penggorengan, dan pemanggangan menggunakan teknik SPME GC-MS serta analisis data PCA menunjukkan hasil bahwa daging celeng rebus mengandung 156 jenis senyawa volatil, daging celeng goreng mengandung 142 jenis senyawa volatil, dan daging celeng panggang mengandung 163 jenis senyawa volatil. Total senyawa volatil yang dihasilkan oleh masing-masing metode pengolahan adalah 779 untuk daging celeng rebus, 691 untuk daging celeng goreng, dan 819 untuk daging celeng panggang. Model PCA menghasilkan nilai R^2X sebesar 0,842 dan kumulatif Q^2 sebesar 0,747. Sampel daging celeng rebus, goreng, dan panggang menunjukkan pemisahan yang jelas, yang menandakan bahwa proses pengolahan daging celeng menghasilkan profil senyawa volatil yang berbeda. Dari *score plot* PCA, diperoleh lima senyawa yang paling berkontribusi pada setiap metode pengolahan. Pada daging celeng rebus, senyawa volatil yang paling berkontribusi meliputi *2-Octenal, (E)*; *1-Octen-3-ol*; *2-Decen-1-ol*; *Octane, 3,5-dimethyl*; dan *2,4-Decadienal, (E,E)*-. Pada daging celeng goreng, senyawa yang paling berkontribusi adalah *Longifolene*; *2-Cyclohexen-1-ol, 1-methyl*-; *Phenylcyclohexane*; *Oxime-, methoxy-phenyl*-; dan *Propanamide*. Sedangkan pada daging celeng panggang, senyawa paling berkontribusi terdiri dari *Cyclopropyl carbinol*; *2-Decenal, (E)*-; *2-Dodecenal, (E)*-; *5-Undecene, 3-methyl-, (Z)*-; dan *endo-Borneol*. Untuk penelitian mendatang disarankan untuk melakukan pengujian lanjutan dengan mengembangkan variasi perlakuan, termasuk studi tentang campuran daging celeng dan sapi. Pendekatan ini diharapkan dapat memberikan pemahaman lebih komprehensif tentang dinamika senyawa volatil pada produk campuran sekaligus mengembangkan metode autentikasi untuk mendeteksi kandungan daging non-halal..

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai sepenuhnya oleh Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi melalui skema "Penelitian Dasar Fundamental Tinggi 2024" berdasarkan Kontrak Nomor 106/E5/PG.02.PL/2024.

DAFTAR PUSTAKA

- Amalia, L., Yuliana, N. D., Sugita, P., Arofah, D., Syafitri, U. D., Windarsih, A., Rohman, A., Dachriyanus, Abu Bakar, N. K., & Kusnandar, F. (2022). Volatile compounds, texture, and color characterization of meatballs made from beef, rat, wild boar, and their mixtures. *Heliyon*, 8(10), e10882. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10882>
- Armengol, I., Villalba, D., Tor, M., Pérez-Santaescolástica, C., Purriños, L., Lorenzo, J. M., & Álvarez-Rodríguez, J. (2019). The extent to which genetics and lean grade affect fatty acid profiles and volatile compounds in organic pork. *PeerJ*, 7, e7322. <https://doi.org/10.7717/peerj.7322>
- Ayseli, M. T., Filik, G., & Selli, S. (2014). Evaluation of volatile compounds in chicken breast meat using simultaneous distillation and extraction with odour activity value. *Journal of Food and Nutrition Research*, 53(2), 137–142.
- Chen, G., Su, Y., He, L., Wu, H., & Shui, S. (2019). Analysis of volatile compounds in pork from four different pig breeds using headspace solid-phase micro-extraction/gas chromatography-mass spectrometry. *Food Science and Nutrition*, 7(4), 1261–1273. <https://doi.org/10.1002/fsn3.955>
- Chen, Z. F., Lin, Q. B., Song, X. C., Chen, S., Zhong, H. N., & Nerin, C. (2020). Discrimination of virgin and recycled polyethylene based on volatile organic compounds using a headspace

- GC-MS coupled with chemometrics approach. *Food Packaging and Shelf Life*, 26, 100553. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2020.100553>
- Dashdorj, D., Amna, T., & Hwang, I. (2015). Influence of specific taste-active components on meat flavor as affected by intrinsic and extrinsic factors: An overview. *European Food Research and Technology*, 241(2), 157–171. <https://doi.org/10.1007/s00217-015-2449-3>
- Ellis, D. I., Muhamadali, H., Allen, D. P., Elliott, C. T., & Goodacre, R. (2016). A flavour of omics approaches for the detection of food fraud. *Current Opinion in Food Science*, 10, 7–15. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2016.07.002>
- Eriksson, L., Byrne, T., Johansson, E., Trygg, J., & Vikström, C. (2013). *Multi- and megavariate data analysis: Basic principles and applications* (3rd ed.). Umetrics Academy Press.
- Fitriana, N., Sumartini, N., & Jayuska, A. (2014). Formulasi serbuk flavour makanan dari minyak atsiri tanaman kesum (*Polygonum minus* Huds) sebagai penyedap makanan. *Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan*, 3(1), 12–15.
- Garcia, A., & Barbas, C. (2011). Gas chromatography–mass spectrometry (GC–MS)-based metabolomics. In C. B. Oliveira (Ed.), *Metabolic profiling: Methods and protocols* (Vol. 708, pp. 191–204). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-61737-985-7_11
- Jamilah, W. (2012). *Sifat sensoris dan karakteristik flavor daging sapi PO dan kerbau rawa yang digemukkan dengan ransum disuplementasi minyak ikan lemuru terproteksi* [Skripsi sarjana, Institut Pertanian Bogor].
- Kamieniarz, R., Jankowiak, Ł., Frątczak, M., Panek, M., Wojtczak, J., & Tryjanowski, P. (2020). The relationship between hunting methods and the sex, age and body mass of wild boar (*Sus scrofa*). *Animals*, 10(12), 2345. <https://doi.org/10.3390/ani10122345>
- Kosowska, M., Majcher, M. A., & Fortuna, T. (2017). Volatile compounds in meat and meat products. *Journal of Food Science and Technology*, 37(1), 1–7. <https://doi.org/10.1590/1678-457X.08416>
- Lammers, M., Dietze, K., & Ternes, W. (2009). A comparison of the volatile profiles of frying European and Australian wild boar meat with industrial genotype pork by dynamic headspace-GC/MS analysis. *Journal of Muscle Foods*, 20(3), 255–274. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4573.2009.00146.x>
- Lytou, A. E., Panagou, E. Z., & Nychas, G. J. E. (2019). Volatilomics for food quality and authentication. *Current Opinion in Food Science*, 28, 88–95. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2019.10.003>
- Mardiah, Amalia, L., & Trimelati, D. A. (2020). Analisis kehalalan daging sapi dengan metode pork detection kit. *Jurnal Ilmiah Pangan Halal*, 2(2), 53–60.
- Nobeli, I., & Thornton, J. M. (2006). A bioinformatician's view of the metabolome. *BioEssays*, 28(5), 534–545. <https://doi.org/10.1002/bies.20414>
- Pavlidis, D. E., Mallouchos, A., Ercolini, D., Panagou, E. Z., & Nychas, G. J. E. (2019). A volatilomics approach for off-line discrimination of minced beef and pork meat and their admixture using HS-SPME GC/MS in tandem with multivariate data analysis. *Meat Science*, 151, 43–53. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.01.003>
- Pranata, A. W., Yuliana, N. D., Amalia, L., & Darmawan, N. (2021). Volatilomics for halal and non-halal meatball authentication using solid-phase microextraction–gas chromatography–mass spectrometry. *Arabian Journal of Chemistry*, 14(5), 103146. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2021.103146>

- Ramírez, M. R., Estévez, M., Morcuende, D., & Cava, R. (2004). Effect of the type of frying culinary fat on volatile compounds isolated in fried pork loin chops by using SPME-GC-MS. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(25), 7637–7643. <https://doi.org/10.1021/jf049207s>
- Salahudin, A., & Ramli, M. A. (2018). Penggunaan teknologi autentikasi halal dalam verifikasi produk makanan berasaskan daging. *Al-Basirah*, 8(1), 1–10.
- Wang, Y., Bu, X., Yang, D., Deng, D., Lei, Z., Guo, Z., & Yu, Q. (2023). Effect of cooking method and doneness degree on volatile compounds and taste substance of Pingliang red beef. *Foods*, 12(3), 446. <https://doi.org/10.3390/foods12030446>
- Yang, J., Zhao, X., Lu, X., Lin, X., & Xu, G. (2015). A data preprocessing strategy for metabolomics to reduce the mask effect in data analysis. *Frontiers in Molecular Biosciences*, 2, 4. <https://doi.org/10.3389/fmolb.2015.00004>