

VOLATILOMIK DAGING BABI DENGAN BERBAGAI METODE PENGOLAHAN BERDASARKAN SPME-GC-MS

Volatilomics Of Pork With Various Processing Methods Based On SPME-GC-MS

Lia Amalia^{1a}, Irdawati Baswir¹, Intan Kusumaningrum², Aji Jumiono¹, Mardiah¹

¹Magister Teknologi Pangan, Universitas Djuanda

²Jurusan Teknologi Pangan dan Gizi, Fakultas Ilmu Pangan Halal, Universitas Djuanda

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

Diterima: 23 – 02 – 2026 , Disetujui: 02 – 03 - 2026

ABSTRACT

Meat adulteration is a significant issue in the food supply chain due to its relevance to halal compliance. Pork is often used as a substitute for beef because of its similar physical characteristics and lower price, while visual identification becomes increasingly difficult after processing. This study aimed to analyze the volatile compound profile of pork processed by boiling, frying, and roasting using the Solid Phase Microextraction–Gas Chromatography–Mass Spectrometry (SPME–GC–MS) technique. Each processing treatment was conducted with five replications. The results showed that boiled and fried pork each contained 169 volatile compounds, while roasted pork contained 176 volatile compounds. The dominant compounds mainly belonged to the aldehyde group, including hexanal, nonanal, octanal, and heptanal, as well as long-chain aldehydes such as pentadecanal and heptadecanal, which are associated with lipid oxidation during processing. In addition, alcohols such as 1-hexanol and 1-octen-3-ol, as well as heterocyclic compounds such as 2-pentylfuran and 2-pentylthiophene, also contributed to the resulting volatile profile. These findings indicate that the volatile profile obtained through a volatilomic approach has the potential to serve as a basis for the identification and authentication of pork in processed food products.

Keywords: volatilomics, volatile compound profiling, pork authentication, SPME–GC–MS

ABSTRAK

Pemalsuan daging merupakan permasalahan penting dalam rantai pasokan pangan karena berkaitan dengan aspek kehalalan. Daging babi sering digunakan sebagai pengganti daging sapi karena kemiripan karakteristik fisik serta harga yang lebih rendah, sementara identifikasi secara visual menjadi semakin sulit setelah proses pengolahan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis profil senyawa volatil daging babi yang diolah melalui perebusan, penggorengan, dan pemanggangan menggunakan teknik *Solid Phase Microextraction–Gas Chromatography–Mass Spectrometry* (SPME–GC–MS). Setiap perlakuan pengolahan dilakukan dengan lima kali pengulangan. Hasil analisis menunjukkan bahwa daging babi rebus dan goreng masing-masing mengandung 169 senyawa volatil, sedangkan daging babi panggang mengandung 176 senyawa volatil. Senyawa dominan berasal dari golongan aldehida seperti heksanal, nonanal, oktanal, dan heptanal, serta aldehida rantai panjang seperti pentadekanal dan heptadekanal yang berkaitan dengan oksidasi lipid selama pengolahan. Selain itu, alkohol seperti 1-heksanol dan 1-okten-3-ol serta senyawa heterosiklik seperti 2-pentilfuran dan 2-pentiltiofena juga berkontribusi terhadap profil volatil yang terbentuk. Hasil penelitian menunjukkan bahwa profil volatil melalui pendekatan volatilomik berpotensi digunakan sebagai dasar dalam identifikasi dan otentikasi daging babi pada produk pangan olahan.

Kata kunci: volatilomik, profil senyawa volatil, otentikasi daging babi, SPME-GC-MSAzis,

PENDAHULUAN

Kecurangan pangan yang melibatkan produk daging merupakan tantangan besar dalam rantai pasokan pangan global, khususnya pemalsuan dan penggantian jenis daging untuk keuntungan ekonomi. Di negara-negara mayoritas Muslim seperti Indonesia, penggantian daging sapi dengan daging babi merupakan isu yang sangat sensitif karena persyaratan halal dan kekhawatiran etis (Ahamed *et al.*, 2024; Nida, 2019). Diskriminasi visual spesies daging pada dasarnya sulit dan menjadi semakin sulit setelah pengolahan termal seperti merebus, menggoreng, atau memanggang, sehingga memerlukan metode analitis yang andal untuk otentikasi daging (Ummami *et al.*, 2022).

Berbagai teknik analitik telah dikembangkan untuk identifikasi spesies daging, termasuk metode berbasis DNA, protein, dan spektroskop (AINI *et al.*, 2018). Analisis senyawa volatil banyak digunakan karena setiap spesies daging menunjukkan profil volatil karakteristik yang dipengaruhi oleh komposisi kimia dan kondisi pengolahannya. Pendekatan volatilomik menggunakan *Solid Phase Microextraction* yang digabungkan dengan Kromatografi Gas-Spektrometri Massa (SPME-GC-MS) memungkinkan karakterisasi senyawa-senyawa ini secara sensitif dan selektif untuk identifikasi daging babi (Amalia *et al.*, 2022). Pendekatan ini diharapkan dapat memberikan dukungan ilmiah yang kuat untuk otentikasi daging dan sistem jaminan produk halal. Selain itu, pendekatan ini juga diharapkan melindungi konsumen dari penipuan pangan.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis profil senyawa volatil daging babi yang diolah melalui perebusan, penggorengan, dan pemanggang menggunakan SPME-GC-MS, guna memahami pengaruh metode pengolahan terhadap pembentukan senyawa volatil.

MATERI DAN METODE

Bahan dan alat

Penelitian ini menggunakan sampel daging paha yang diperoleh dari lima ekor babi domestik yang dibeli dari pasar tradisional di Bogor. Bahan tambahan meliputi air untuk merebus dan minyak sawit komersial untuk menggoreng. Peralatan analitik terdiri dari serat SPME yang dilapisi DVB/CAR/PDMS (Supelco, Bellefonte, PA, USA), kromatograf gas Agilent 7890A yang dihubungkan dengan detektor selektif massa Agilent 5973C XL EI/CI, serta peralatan pendukung untuk persiapan sampel, memasak, dan penanganan.

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 Agustus 2025 hingga Desember 2025.

Metode Penelitian

1. Persiapan Daging

Daging babi dilakukan penyimpanan selama 2 minggu dalam *freezer* pada suhu -25°C sampai -30°C . Sebelum sampel dipreparasi, daging babi dicairkan (*thawing*) selama 24 jam. Sampel kemudian dipotong menjadi bagian-bagian seragam dengan dimensi $5\text{ cm} \times 5\text{ cm} \times 1\text{ cm}$ (panjang \times lebar \times tinggi).

2. Pengolahan Daging dengan Cara Merebus

Sampel daging babi diolah dengan cara direbus dalam 1,2 L air pada suhu 90°C selama 20 menit. Setelah dimasak daging dicincang kasar, kemudian 8 g dari setiap sampel ditimbang dan dimasukkan ke dalam vial 22 mL dan disegel dengan septa PTFE/silikon (Agilent). Setiap sampel daging babi disiapkan dalam lima ulangan dengan kode sampel sebagai berikut: Babi Rebus 1 (BP1), Babi Rebus 2 (BP2), Babi Rebus 3 (BP3), Babi Rebus

4 (BP4), Babi Rebus 5 (BP5). Sampel berkode dalam vial kemudian disegel vakum dalam kemasan vakum plastik.

3. Pengolahan Daging dengan Cara Menggoreng

Sampel daging babi diolah dengan cara digoreng dalam 3,2 L minyak pada suhu 160–170°C selama 4 menit, dengan sampel dibalik di tengah proses penggorengan untuk memastikan kematangan yang merata, dan setiap sisi digoreng selama 2 menit. Setelah digoreng daging dicincang kasar, kemudian 8 g dari setiap sampel ditimbang dan dimasukkan ke dalam vial 22 mL dan disegel dengan septa PTFE/silikon (Agilent). Setiap sampel babi disiapkan dalam lima ulangan, diberi label dengan kode sampel berikut: Babi Goreng 1 (FP1), Babi Goreng 2 (FP2), Babi Goreng 3 (FP3), Babi Goreng 4 (FP4), Babi Goreng 5 (FP5). Sampel berkode dalam vial kemudian disegel vakum dalam kemasan vakum plastik.

4. Pengolahan Daging dengan Cara Memanggang

Sampel daging babi dipanggang dalam oven pada suhu 170°C selama 20 menit, kemudian dicincang kasar menjadi bagian yang lebih kecil dan ditimbang sebanyak 8 g dan dimasukkan ke dalam vial 22 mL dan disegel dengan septa PTFE/silikon (Agilent). Setiap jenis daging disiapkan dalam lima ulangan dan diberi kode sampel berikut: Babi Panggang 1 (RP1), Babi Panggang 2 (RP2), Babi Panggang 3 (RP3), Babi Panggang 4 (RP4), Babi Panggang 5 (RP5). Sampel berkode dalam vial kemudian disegel vakum dalam kemasan plastik.

Desain Eksperimental

1. Ekstraksi senyawa volatil dengan SPME

Ekstraksi senyawa volatil dilakukan menggunakan teknik *Solid-Phase Microextraction* (SPME) dengan serat tipe DVB/CAR/PDMS. Sebelum proses ekstraksi, serat dikondisikan di port injektor GC-MS pada suhu 250°C selama 15 menit untuk menghilangkan kemungkinan senyawa kontaminan yang mudah menguap. Sampel daging diinkubasi dalam penangas air pada suhu 45°C selama 80 menit untuk memungkinkan senyawa volatil berdifusi ke ruang kepala (*headspace*) dan teradsorpsi pada serat SPME. Selanjutnya, senyawa volatil yang telah teradsorpsi didesorpsi secara termal di injektor GC-MS selama 5 menit sebelum dilakukan analisis. Setelah desorpsi, serat dibersihkan kembali dengan memaparkannya di port injektor selama 15 menit untuk mencegah terjadinya *carryover* (Amalia *et al.*, 2025).

2. Analisis Senyawa Volatil dengan GC-MS.

Analisis senyawa volatil dilakukan menggunakan sistem GC-MS yang terdiri dari kromatograf gas Agilent 7890A yang terhubung dengan detektor spektrometri massa 5973C XL. Helium digunakan sebagai gas pembawa dengan laju aliran konstan 1 mL/min. Pemisahan senyawa dilakukan menggunakan kolom kapiler HP-5MS (30 m × 0,25 mm, ketebalan film 0,25 µm). Program suhu oven dimulai pada 45°C dan dipertahankan selama 2 menit, kemudian dinaikkan dengan laju 3°C/min hingga mencapai 80°C dan ditahan selama 5 menit. Suhu selanjutnya dinaikkan dengan laju 5°C/min hingga 250°C dan dipertahankan selama 5 menit sebagai penahanan akhir.

Senyawa-senyawa dideteksi menggunakan spektrometer massa yang dioperasikan dalam mode ionisasi elektron (EI) pada energi ionisasi 70 eV, dengan rentang pemindaian 29–550 m/z dan laju pemindaian 4,37 pemindaian/detik, dan amplifikasi sinyal 1x. Suhu sumber ion dan kuadropol masing-masing diatur pada 230°C dan 150°C (Amalia *et al.*, 2022). Identifikasi senyawa dilakukan dengan membandingkan spektrum massa yang diperoleh dengan pustaka NIST MS 14.0. Selain itu, indeks retensi linier (*Linear Retention Index*, LRI) dihitung menggunakan seri homolog n-alkana untuk mendukung konfirmasi identitas senyawa (Pertiwi *et al.*, 2025).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Senyawa Volatil Daging Babi

Senyawa volatil merupakan komponen yang mudah menguap pada suhu relatif rendah dan berperan penting dalam pembentukan aroma khas daging. Senyawa ini terutama berkontribusi terhadap persepsi aroma awal saat produk dikonsumsi, sedangkan senyawa non-volatil lebih berperan dalam pembentukan cita rasa serta membantu mempertahankan kestabilan senyawa volatil dalam matriks pangan (Bleicher *et al.*, 2022; Hustiany, 2016). Komposisi dan konsentrasi senyawa volatil pada daging sangat dipengaruhi oleh metode pengolahan yang diterapkan. Perlakuan termal dapat memicu berbagai reaksi kimia seperti oksidasi lipid dan reaksi Maillard, yang menghasilkan berbagai senyawa volatil baru (You *et al.*, 2025). Metode memasak seperti perebusan, penggorengan, dan pemanggangan menghasilkan profil volatil yang berbeda. Perebusan umumnya menghasilkan jumlah senyawa volatil yang lebih sedikit karena suhu pemanasan yang relatif rendah serta keberadaan air sebagai medium pemanasan yang dapat melarutkan sebagian senyawa volatil. Sebaliknya, penggorengan dan pemanggangan cenderung meningkatkan pembentukan volatil yang berkaitan dengan reaksi Maillard dan degradasi lipid akibat suhu tinggi (Faida, 2019; Nguju *et al.*, 2018).

Volatilomik merupakan pendekatan analitik berbasis SPME-GC-MS yang digunakan untuk mendeteksi dan menganalisis senyawa volatil dalam matriks pangan dengan sensitivitas tinggi. Metode ini telah banyak dimanfaatkan untuk membedakan berbagai spesies daging berdasarkan profil senyawa volatilnya (Pertiwi *et al.*, 2025). Dalam penelitian ini, SPME-GC-MS digunakan untuk mengidentifikasi senyawa volatil pada daging babi yang diolah melalui perebusan, penggorengan, dan pemanggangan. Identifikasi senyawa dilakukan melalui pencocokan spektrum massa dengan pustaka NIST serta perhitungan nilai LRI untuk memperkuat konfirmasi identitas senyawa (Ahamed *et al.*, 2023; Bianchi *et al.*, 2007). Profil senyawa volatil dari masing-masing metode pengolahan disajikan pada Tabel 1.

Hasil analisis senyawa volatil menggunakan metode SPME-GC-MS menunjukkan bahwa daging babi yang diolah melalui perebusan, penggorengan, dan pemanggangan menghasilkan beragam senyawa volatil. Pada sampel babi rebus dan goreng masing-masing teridentifikasi 169 senyawa, sedangkan pada sampel babi panggang sebanyak 176 senyawa. Senyawa-senyawa tersebut meliputi senyawa aldehida, alkana, alkena, alkohol, hidrokarbon aromatik, ester, eter, keton, asam karboksilat, senyawa heterosiklik, terpenoid, serta senyawa yang mengandung sulfur. Di antara berbagai kelompok tersebut, aldehida dan alkohol merupakan komponen yang paling dominan berdasarkan luas puncak yang terdeteksi. Beberapa senyawa aldehida seperti heksanal, nonanal, heptanal, dan oktanal menunjukkan luas puncak paling tinggi dibandingkan aldehida lainnya. Heksanal terdeteksi paling tinggi yang mengindikasikan terjadinya oksidasi asam lemak tak jenuh seperti asam linoleat. Oksidasi lipid merupakan salah satu jalur utama dalam pembentukan senyawa volatil pada daging babi yang mengalami proses termal. Nonanal, heptanal, dan oktanal juga merupakan hasil oksidasi asam lemak tak jenuh seperti asam oleat. Senyawa-senyawa tersebut cukup stabil pada suhu yang relatif rendah dan kondisi basah membantu mempertahankan senyawa volatil ini untuk tidak cepat menguap, sehingga keduanya tetap terdeteksi dengan intensitas cukup tinggi pada daging rebus. Pada beberapa senyawa aldehida seperti heksanal, oktanal, dan heptanal, luas puncak pada penggorengan dan pemanggangan lebih rendah dibanding dengan perebusan. Hal ini disebabkan oleh suhu tinggi dan kondisi pengolahan kering. Suhu tinggi mempercepat degradasi sebagian senyawa volatil awal dan memicu terbentuknya senyawa volatil baru. Akibatnya konsentrasi aldehida awal menurun, dan muncul senyawa baru hasil degradasi dan reaksi termal.

Tabel 1. Profil senyawa volatil yang teridentifikasi pada daging babi dengan berbagai proses pengolahan menggunakan SPME-GC-MS

| Volatilom | RT | LRI | Metode Identifikasi | Luas Puncak (x10 ⁴) | | |
|------------------------|--------|------|---------------------|---------------------------------|-------------|---------------|
| | | | | Babi Rebus | Babi Goreng | Babi Panggang |
| <i>Aldehida</i> | | | | | | |
| Asetaldehida | 1,741 | 0 | M | 31306 | 10987 | 13846 |
| Pentanal | 2,442 | 0 | M | 38454 | 17510 | 38800 |
| Heksanal | 6,105 | 833 | L | 895989 | 475100 | 743418 |
| Heptanal | 7,526 | 903 | L | 81618 | 34062 | 57342 |
| Benzaldehida | 9,684 | 957 | L | 79355 | 57280 | 64655 |
| Oktanal | 11,551 | 1003 | L | 118696 | 62758 | 92582 |
| Benzenaasetaldehida | 13,323 | 1044 | L | 9658 | 4093 | 5666 |
| 2-Oktenal, (E)- | 13,983 | 1059 | L | 32424 | 12865 | 26017 |
| Nonanal | 15,957 | 1105 | L | 195665 | 155620 | 207820 |
| (E)-4-dekenal | 19,240 | 1195 | L | 15829 | 5297 | 16589 |
| trans-Undek-4-enal | 19,289 | 1196 | L | 5241 | 2934 | 6591 |
| Dekanal | 19,626 | 1206 | L | 9377 | 6818 | 11667 |
| 1,3-p-Mentadien-7-al | 19,871 | 1214 | L | 4618 | 2725 | 5705 |
| (E)-2-dekenal | 21,386 | 1263 | L | 9912 | 5606 | 15712 |
| Undekanal | 22,777 | 1308 | L | 5783 | 3514 | 8281 |
| 2,4-Dekadienal, (E,E)- | 23,039 | 1317 | L | 13672 | 5057 | 19763 |
| 2-Tridekenal, (E)- | 23,681 | 1340 | M | 2360 | 1217 | 1657 |
| 2-Dodekenal, (E)- | 24,353 | 1364 | L | 8472 | 3441 | 18750 |
| 2-Oktenal, 2-butiril- | 24,645 | 1375 | L | 5191 | 1282 | 11553 |
| Dodekanal | 25,590 | 1409 | L | 7006 | 3769 | 16109 |
| 4-pentilbenzaldehida | 26,946 | 1462 | L | 407 | 241 | 2232 |
| Tridekanal | 28,182 | 1511 | L | 11342 | 4081 | 30450 |
| E-9-Tetradesenal | 30,444 | 1606 | L | 161 | 104 | 576 |
| Tetradekanal | 30,608 | 1614 | L | 11268 | 4051 | 35893 |
| cis-9-Heksadesenal | 32,386 | 1692 | L | 534 | 169 | 2014 |
| E-14-Heksadesenal | 32,603 | 1702 | M | 0 | 0 | 139 |
| Pentadekanal | 32,886 | 1715 | L | 18841 | 6571 | 51323 |
| Heksadekanal | 34,265 | 1780 | L | 271 | 117 | 927 |
| cis-11-Heksadesenal | 34,578 | 1795 | M | 292 | 0 | 1721 |
| 2-Heptadekenal | 34,675 | 1799 | M | 332 | 203 | 1088 |

| | | | | | | |
|--------------------------------|--------|------|---|-------|-------|-------|
| E-11-Heksadesenal | 34,800 | 1805 | L | 96 | 69 | 274 |
| Heptadekanal | 35,050 | 1818 | M | 46414 | 35583 | 66277 |
| (E)-Heksadek-2-enal | 36,352 | 1882 | L | 0 | 0 | 570 |
| 13-Tetradecenal | 36,626 | 1895 | M | 630 | 215 | 3054 |
| 9-Oktadesenal, (Z)- | 36,720 | 1900 | L | 210 | 170 | 745 |
| Nonadekanal | 37,101 | 1920 | M | 915 | 501 | 4461 |
| 8-Heksadesenal, 14-metil-,(Z)- | 38,041 | 1991 | M | 881 | 889 | 972 |
| 13-Oktadesenal, (Z)- | 38,594 | 1997 | M | 1532 | 1208 | 3252 |
| α -Citral | 21,092 | 1253 | L | 1967 | 994 | 1773 |

Alkana

| | | | | | | |
|----------------------------|--------|------|---|-------|-------|-------|
| Nonana, 3,7-dimetil- | 13,466 | 1047 | L | 8110 | 3418 | 5409 |
| Dekana, 3-metil- | 14,189 | 1064 | L | 8083 | 4696 | 6869 |
| Dekana, 3,8-dimetil- | 14,869 | 1079 | L | 17214 | 14164 | 9283 |
| Nonana, 4,5-dimetil- | 15,220 | 1087 | L | 25622 | 17531 | 15310 |
| Oktana, 3,5-dimetil- | 15,476 | 1093 | L | 30431 | 10114 | 11834 |
| Undekana | 15,785 | 1100 | L | 23968 | 25130 | 24438 |
| Undekana, 5-metil- | 16,212 | 1112 | L | 19010 | 13396 | 10719 |
| Dekana, 3,7-dimetil- | 16,778 | 1127 | L | 30926 | 23776 | 14009 |
| 2,6-Dimetildekana | 17,153 | 1138 | L | 6112 | 4399 | 3291 |
| Dodekana, 3-metil- | 17,260 | 1141 | L | 7514 | 4837 | 4791 |
| Dekana, 2,4,6-trimetil- | 17,682 | 1152 | L | 5820 | 3820 | 3999 |
| Nonana, 5-(1-metilpropil)- | 17,773 | 1155 | M | 3646 | 2451 | 1837 |
| Dekana, 2,3-dimetil- | 17,878 | 1158 | L | 6521 | 5370 | 3869 |
| Undekana, 2,3-dimetil- | 18,407 | 1172 | L | 6340 | 4703 | 3549 |
| Dodekana | 19,424 | 1200 | L | 20123 | 6887 | 13853 |
| Tridekana | 22,545 | 1300 | L | 38067 | 6624 | 32750 |
| Nonana, 5-butil- | 22,647 | 1303 | M | 1965 | 1048 | 2395 |
| Tridekana, 3-metil- | 24,531 | 1371 | L | 4509 | 2408 | 4519 |
| Tetradekana | 25,334 | 1399 | L | 20143 | 5089 | 29547 |
| Pentadekana | 27,896 | 1499 | L | 21073 | 2418 | 15703 |
| 3-Metilpentadekana | 29,597 | 1570 | L | 737 | 318 | 1073 |
| Heksadekana | 30,281 | 1599 | L | 3628 | 2434 | 6800 |
| Heptadekana | 32,541 | 1699 | L | 1053 | 376 | 1887 |
| 3-Metilheptadekana | 34,027 | 1769 | L | 400 | 282 | 1069 |

| | | | | | | |
|-------------------------------|--------|------|---|-------|-------|-------|
| Siklopropana, oktil- | 14,643 | 1074 | L | 36450 | 22074 | 39307 |
| Dekan, 3,6-dimetil- | 16,439 | 1118 | L | 27780 | 21605 | 14897 |
| 1,1 Dimetildekahidronaftalena | 25,126 | 1395 | M | 787 | 496 | 279 |
| 5-etil-2-metiloktana | 19,804 | 1212 | L | 3578 | 2386 | 2103 |

Alkena

| | | | | | | |
|------------------------------------|--------|------|---|-------|------|-------|
| 5-Undekena, 3-metil-, (Z)- | 18,835 | 1184 | L | 4680 | 2149 | 4517 |
| Siklopenten, 1-pentil-2-propil | 18,996 | 1188 | M | 5259 | 3158 | 2607 |
| 3-Tridekena, (Z)- | 20,418 | 1232 | L | 2949 | 1475 | 3242 |
| 5-Tetradekena, (E)- | 20,732 | 1242 | M | 3286 | 3066 | 2660 |
| 6-Tetradekena, (Z)- | 20,946 | 1248 | M | 2034 | 1010 | 2328 |
| 2-Oktena, (E)- | 21,535 | 1267 | M | 8207 | 4003 | 13124 |
| 3-Tetradekena, (E)- | 21,660 | 1271 | M | 2624 | 1477 | 3756 |
| 7-Tetradekena, (Z)- | 23,112 | 1320 | L | 3951 | 2267 | 4381 |
| 1-Undekena, 8-metil- | 23,854 | 1346 | M | 1680 | 912 | 2581 |
| 1-Tetradekena | 24,152 | 1357 | L | 409 | 353 | 465 |
| 2-Tetradekena, (E)- | 25,120 | 1392 | M | 2066 | 2102 | 3885 |
| 6-Tridekena | 27,538 | 1485 | M | 1268 | 551 | 1682 |
| 1-Pentadekena | 27,707 | 1492 | L | 3657 | 1176 | 4458 |
| 3-Heksadekena, (Z)- | 28,344 | 1518 | M | 377 | 154 | 483 |
| 3-Oktadekena, (E)- | 29,719 | 1576 | M | 521 | 559 | 2290 |
| 7-Heksadekena, (Z)- | 29,785 | 1578 | L | 1584 | 352 | 3353 |
| Z-8-Heksadekena | 29,893 | 1583 | M | 591 | 333 | 1373 |
| Setena | 30,115 | 1592 | L | 626 | 422 | 1844 |
| 1,8,11-Heptadekatriena, (Z,Z)- | 31,732 | 1663 | L | 285 | 83 | 322 |
| 3-Heptadekena, (Z)- | 32,059 | 1678 | L | 885 | 314 | 2386 |
| 8-Heptadekena | 32,150 | 1682 | M | 250 | 89 | 525 |
| 1-Heptadekena | 32,233 | 1686 | L | 0 | 0 | 256 |
| (E)-5-oktadekena | 35,335 | 1832 | M | 1633 | 1642 | 2191 |
| 1,3-Heksadiena, 3-etil-2-metil(Z)- | 12,653 | 1029 | L | 14766 | 9187 | 11009 |
| 1-Dodesena | 18,485 | 1174 | L | 6819 | 4748 | 7463 |
| 5-butil-4-nonena | 20,285 | 1227 | M | 2555 | 1492 | 1643 |
| 5-etil-1-nonena | 20,156 | 1223 | L | 2868 | 1289 | 2598 |

Alkohol

| | | | | | | |
|--------------|-------|---|---|------|------|------|
| Siklobutanol | 1,219 | 0 | M | 7727 | 9522 | 6739 |
|--------------|-------|---|---|------|------|------|

| | | | | | | |
|---------------------------------|--------|------|---|--------|--------|--------|
| Siklopropil karbinol | 2,903 | 0 | M | 15970 | 22806 | 80499 |
| 1-Pentanol | 3,822 | 0 | M | 56529 | 10888 | 20031 |
| 1-Heksanol | 6,831 | 871 | L | 191530 | 177221 | 183843 |
| 1-Okten-3-ol | 10,576 | 979 | L | 201549 | 42182 | 164946 |
| 2-Deken-1-ol | 14,501 | 1071 | M | 25106 | 10010 | 22573 |
| 2-Propilheptanol | 17,004 | 1134 | M | 6335 | 4080 | 8241 |
| 2-Metilheksadekan-1-ol | 23,571 | 1336 | M | 1465 | 910 | 1393 |
| 2-Butil-2,7-oktadien-1-ol | 24,936 | 1385 | L | 1015 | 847 | 1370 |
| 2-Oktildekan-1-ol | 27,112 | 1469 | M | 2798 | 1330 | 6979 |
| 2-Hexyldodecanol | 26,946 | 1470 | M | 1501 | 355 | 0 |
| 1-Dodekanol | 27,267 | 1475 | L | 1594 | 1627 | 4947 |
| n-Tridecan-1-ol | 27,401 | 1480 | L | 3226 | 628 | 3873 |
| n-Pentadekanol | 31,041 | 1633 | M | 0 | 0 | 167 |
| 1-Heksadekanol | 36,299 | 1882 | L | 379 | 263 | 681 |
| n-Heptadekanol-1 | 37,421 | 1936 | L | 0 | 0 | 605 |
| 9,12-Oktadekadiena-1-ol, (Z,Z)- | 38,677 | 2001 | L | 393 | 403 | 930 |
| 2-(tetradesiloksi)etanol | 26,321 | 1438 | M | 1008 | 783 | 1646 |
| 1-metil-2-sikloheksen-1-ol | 19,008 | 1188 | L | 2981 | 4264 | 3128 |
| 9-Octadecen-1-ol, (Z)- | 39,057 | 2022 | L | 1429 | 1258 | 2840 |
| <i>Alkuna</i> | | | | | | |
| 4-Nenuna | 12,806 | 1032 | L | 24753 | 9600 | 15280 |
| <i>Amida</i> | | | | | | |
| Propanamida | 1,539 | 0 | M | 25865 | 18309 | 17114 |
| 3-metil-2-tiofenkarboksamida | 22,028 | 1283 | M | 7942 | 3188 | 10833 |
| <i>Asam lemak</i> | | | | | | |
| Asam palmitat | 37,987 | 1965 | L | 2034 | 2496 | 9261 |
| Asam 9-oktadekenoat | 38,848 | 2010 | L | 69 | 51 | 224 |
| 9-Octadecenoic acid, (E)- | 41,007 | 2142 | M | 203 | 268 | 285 |
| Asam stearat | 41,676 | 2166 | L | 243 | 232 | 517 |
| Asam oleat | 39,260 | 2147 | L | 0 | 142 | 317 |
| <i>Epoksida</i> | | | | | | |
| Oksirana, tetradesil- | 34,426 | 1788 | L | 0 | 0 | 303 |
| Oksirana, heptadesil- | 35,221 | 1826 | M | 259 | 191 | 357 |
| Oksirana, heksadesil- | 36,519 | 1890 | L | 192 | 204 | 323 |

| <i>Ester</i> | | | | | | |
|------------------------------------|--------|------|---|--------|--------|--------|
| Metil 11-oktadekenoat | 40,530 | 2101 | L | 18 | 50 | 183 |
| Metil kaprat | 23,283 | 1326 | L | 2263 | 1474 | 2543 |
| Metil laurat | 28,527 | 1526 | L | 905 | 720 | 1581 |
| Metil miristat | 33,106 | 1726 | L | 634 | 642 | 1876 |
| Metil palmitat | 37,244 | 1927 | L | 369 | 487 | 1773 |
| Metil stearat | 41,008 | 2128 | L | 14 | 45 | 130 |
| Dibutil ftalat | 35,534 | 1871 | L | 0 | 0 | 161 |
| Isobutil nonil karbonat | 13,669 | 1052 | M | 4653 | 2696 | 2464 |
| Metil karbamat | 3,661 | 0 | M | 37667 | 17189 | 11215 |
| <i>Fenol</i> | | | | | | |
| butilhidroksitoluen (BHT) | 28,243 | 1514 | L | 512 | 892 | 1432 |
| <i>Keton</i> | | | | | | |
| 2,5-oktanedion | 10,767 | 984 | L | 182091 | 117447 | 125387 |
| 5-metil-3-hepten-2-on | 11,682 | 1006 | M | 66810 | 45011 | 65529 |
| 2,2-dimetil-3-heptanon | 20,835 | 1245 | M | 1400 | 1188 | 1197 |
| 3-Undekanon | 22,189 | 1288 | L | 1784 | 1220 | 1893 |
| 2-Norkaranone, 1-metil- | 25,917 | 1422 | M | 2133 | 2086 | 3608 |
| Geranil aseton | 26,714 | 1453 | L | 1203 | 671 | 1932 |
| 2-Tridekanon | 27,801 | 1496 | L | 669 | 360 | 786 |
| cis-oktahidro-1,4-naftalendion | 23,842 | 1349 | M | 336 | 199 | 985 |
| cis-bisiklo[4.4.0]dekan-1-ol-3-on | 21,838 | 1277 | M | 4051 | 1513 | 4939 |
| metoksifenil oksim | 8,668 | 932 | M | 60670 | 67894 | 75642 |
| <i>Senyawa Aromatik</i> | | | | | | |
| m-Xilena | 6,325 | 845 | L | 44336 | 33306 | 38802 |
| o-Xilena | 7,086 | 884 | L | 55628 | 31808 | 32403 |
| p-Xilena | 7,264 | 893 | L | 19658 | 12404 | 21037 |
| Etilbenzena | 7,818 | 911 | L | 38852 | 28179 | 34612 |
| Naftalena | 18,675 | 1179 | M | 5344 | 3231 | 3984 |
| 2,5-Dimetilstirena | 34,133 | 1774 | M | 157 | 121 | 568 |
| 2-Feniltridekana | 36,923 | 1910 | L | 69 | 76 | 256 |
| <i>Senyawa heterosiklik</i> | | | | | | |
| 1-Isopropil-2(1H)-piridinon | 20,218 | 1225 | M | 2171 | 1007 | 1620 |
| 2-pentilfuran | 11,016 | 990 | L | 223750 | 59994 | 158381 |

| | | | | | | |
|------------------------------|--------|------|---|--------|--------|--------|
| 2-n-Oktilfuran | 22,343 | 1293 | L | 7763 | 3028 | 9428 |
| 2-pentiltiofena | 17,997 | 1161 | L | 171900 | 155682 | 188561 |
| <i>Senyawa Sulfur</i> | | | | | | |
| Oktatiokana | 39,117 | 2033 | L | | | |
| ter-Heksadekanetiol | 24,841 | 1382 | L | 2116 | 1336 | 2602 |
| 1-Dekanetiol | 25,804 | 1418 | M | 1056 | 895 | 960 |
| Tetradekanetiol | 28,676 | 1532 | M | 235 | 160 | 593 |
| Di-n-desilsulfon | 17,439 | 1146 | M | 6362 | 4542 | 3258 |
| metil dietilditiokarbamat | 24,793 | 1382 | L | 2681 | 1193 | 2954 |
| <i>Sikloalkana</i> | | | | | | |
| Sikloalkana | 21,250 | 1258 | M | 4306 | 3055 | 3694 |
| Siklododekana | 20,601 | 1237 | M | 1238 | 624 | 1056 |
| Siklopropana, nonil- | 22,296 | 1292 | L | 5354 | 2830 | 3814 |
| Siklopentana, nonil- | 26,583 | 1448 | L | 2774 | 1559 | 2946 |
| Siklopentadekana | 29,128 | 1551 | M | 879 | 397 | 872 |
| Siklopentana, desil- | 30,936 | 1628 | M | 251 | 112 | 236 |
| Siklopentana, undesil- | 31,536 | 1655 | L | 201 | 106 | 297 |
| siklopentadekana | 33,284 | 1734 | M | 173 | 184 | 347 |
| <i>Terpena</i> | | | | | | |
| D-limonen | 12,574 | 1027 | L | 6598 | 13899 | 5089 |
| Kopaena | 24,705 | 1377 | L | 1088 | 829 | 1021 |
| Longifolena | 25,485 | 1405 | L | 1066 | 691 | 0 |
| dehidro-ar-ionena | 24,037 | 1353 | L | 818 | 880 | 984 |
| α -Ionena | 24,140 | 1357 | L | 543 | 1242 | 523 |
| cis-p-menth-8(10)-en-9-ol | 23,974 | 1351 | M | 1320 | 374 | 1676 |
| endo-Borneol | 25,411 | 1402 | M | 3356 | 1879 | 1844 |
| Isopulegol | 28,894 | 1541 | M | 314 | 162 | 440 |
| Farnesol | 35,530 | 1841 | L | 0 | 0 | 159 |

Senyawa alkohol juga memberikan kontribusi yang signifikan terhadap profil senyawa volatil daging babi. Senyawa ini biasanya terbentuk dari oksidasi lipid atau reduksi aldehida. Beberapa senyawa seperti 1-heksanol, 1-okten-3-ol, dan 1-oktanol terdeteksi dengan luas puncak yang relatif tinggi dibandingkan alkohol lainnya. Senyawa 1-heksanol dan 1-okten-3-ol terbentuk melalui oksidasi asam lemak tak jenuh, terutama asam linoleat, yang menghasilkan lipid hidroperoksida. Hidroperoksida ini selanjutnya terurai menjadi berbagai senyawa volatil, termasuk 1-heksanol dan 1-okten-3-ol. Selain itu, sejumlah senyawa heterosiklik seperti 2-pentilfuran dan 2-pentiltiofena juga terdeteksi dengan luas puncak yang cukup tinggi. Senyawa 2-pentilfuran umumnya dihasilkan dari oksidasi asam lemak tak jenuh. Pada suhu pemanasan yang relatif rendah pada perebusan senyawa

volatil yang terbentuk belum banyak menguap atau terdegradasi sehingga terdeteksi cukup tinggi dibanding penggorengan dan pemanggangan. Senyawa 2-pentiltiofena terbentuk melalui reaksi Maillard antara asam amino yang mengandung sulfur dan senyawa karbonil selama proses pemanasan, menghasilkan cincin heterosiklik yang mengandung atom sulfur (tiofena heterosiklik). Pada penggorengan atau pemanggangan reaksi Maillard dan degradasi Strecker berlangsung lebih cepat akibat suhu yang lebih tinggi, sehingga tiofena heterosiklik yang dihasilkan terdeteksi lebih banyak dibanding pada perebusan.

Meskipun kadarnya lebih rendah dibanding aldehida, senyawa keton tetap berperan penting dalam membentuk profil volatil daging yang mengalami proses termal. Umumnya senyawa keton terbentuk dari oksidasi lipid atau reaksi Maillard. Misalnya, 2,5-Oktanedion dihasilkan dari oksidasi lemak tak jenuh membentuk hidroperoksida, yang kemudian mengalami pemutusan rantai karbon (*β -scission*). Selain itu, 3-Undekanon juga berasal dari oksidasi lemak tak jenuh. Pada perebusan dengan suhu moderat dan waktu yang cukup lama (± 20 menit), senyawa keton terbentuk lebih banyak melalui oksidasi lipid. Kondisi ini juga mencegah penguapan senyawa, sehingga luas puncak 2,5-Oktanedion terdeteksi relatif tinggi. Dibandingkan pada penggorengan dan pemanggangan, suhu tinggi dan kering menyebabkan senyawa mudah menguap dan terdegradasi membentuk senyawa lain.

Beberapa senyawa volatil lainnya yang terdeteksi melalui analisis GC-MS menunjukkan luas puncak yang relatif kecil. Hidrokarbon, seperti alkana, alkena, dan alkuna, biasanya terbentuk dari degradasi oksidatif lipid selama pemanasan. Meskipun jumlah senyawa yang terdeteksi banyak, intensitas sinyalnya umumnya rendah. Terpenoid juga terdeteksi dalam jumlah tinggi, namun luas puncaknya relatif rendah. Benzaldehida terbentuk melalui degradasi Strecker fenilalanin saat pemanasan, di mana fenilalanin bereaksi dengan gula pereduksi melalui reaksi Maillard. Secara keseluruhan, meskipun senyawa-senyawa ini hadir dalam profil volatil, kontribusinya terhadap komposisi dominan senyawa volatil lebih kecil aldehida rantai pendek hingga menengah, alkohol volatil, keton tertentu, dan senyawa hasil reaksi Maillard, yang ditunjukkan oleh luas puncak tinggi pada kromatogram.

KESIMPULAN

Pendekatan volatilomik berbasis SPME-GC-MS mampu membedakan profil senyawa volatil pada daging babi yang diolah dengan berbagai metode. Secara umum, aldehida dan alkohol mendominasi hampir semua sampel, yang mengindikasikan berlangsungnya oksidasi lipid. Pada perebusan, jumlah senyawa volatil lebih sedikit namun beberapa aldehida dan alkohol dominan seperti heksanal, nonanal, dan 1-okten-3-ol terdeteksi dengan intensitas tertinggi untuk. Hal ini menunjukkan oksidasi lipid terus berlangsung selama perebusan dan senyawa stabil pada suhu rendah. Penggorengan mendorong terbentuknya senyawa baru dari degradasi lipid dan reaksi Maillard seperti senyawa heterosiklik, keton, dan senyawa sulfur. Pemanggangan pada suhu tinggi meningkatkan proses reaksi Maillard dan degradasi Strecker menghasilkan senyawa aldehida dari asam amino. Secara keseluruhan, hasil ini menegaskan bahwa metode pengolahan sangat berperan dalam membentuk profil volatil, sehingga analisis volatilomik berpotensi digunakan sebagai diferensiasi dan otentikasi daging, khususnya untuk daging babi.

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

- Ahamed, Z., Seo, JK, Eom, JU, & Yang, HS (2023). Optimasi ekstraksi senyawa volatil pada daging matang menggunakan HS-SPME-GC-MS, dan evaluasi diagnosis spesies daging menggunakan senyawa volatil dengan analisis data multivariat. *Lwt*, 188, 115374. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115374>
- Ahamed, Z., Seo, JK, Eom, JU, & Yang, HS (2024). Senyawa volatil untuk membedakan antara daging sapi, daging babi, dan campurannya menggunakan ekstraksi mikro fase padat-kromatografi gas-spektrometri massa (SPME-GC/MS) dan analisis kemometrik. *Ilmu pangan sumber daya hewan*, 44(4), 934. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2024.e32>
- AINI, WN (2023). Penggunaan Real-Time PCR pada Analisis Daging Anjing (*Canis lupus familiaris*) dalam Sate Kambing guna Autentikasi Halal (Disertasi doktoral, Universitas Gadjah Mada).
- Amalia, L., Kusnandar, F., Yuliana, ND, dan Sugita, P. (2022). Profiling of volatile compounds in beef, rat, and wild boar meat using SPME-GC/MS. *Jurnal Sains Malaysiana*, 51(9), 2897-2911. <http://doi.org/10.17576/jsm-2022-5109-13>
- Amalia, L., Yuliana, ND, Sugita, P., Arofah, D., Syafitri, UD, Windarsih, A., ... Kusnandar, F. (2022). Senyawa volatil, tekstur, dan karakterisasi warna bakso yang terbuat dari daging sapi, tikus, babi hutan, dan campurannya. *Heliyon*, 8(10). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10882>
- Amalia, L., Novidahlia, N., Kusumaningrum, I., Mulya, S., Jumiono, A., Eliska, A., ... Lidiyani, N. (2025). Senyawa Volatil Daging Celeng (*Sus scrofa vittatus*) dengan Berbagai Pengolahan Menggunakan Metode SPME-GC/MS. *Jurnal Agroindustri Halal*, 11(1), 123-133. <https://doi.org/10.30997/jah.v11i1.18382>
- Bleicher, J., Ebner, EE, & Bak, KH (2022). Pembentukan dan analisis senyawa volatil dan bau pada daging—Sebuah tinjauan. *Molecules*, 27(19), 6703.
- Faida, IN (2019). Identifikasi kandungan senyawa volatil pada kaldu daging dan tulang kasar (tulang mentah) dari Babi dan Kelinci menggunakan kromatografi gas-spektrometri massa (GC-MS) (Disertasi doktoral, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim).
- Han, D., Zhang, CH, Fauconnier, ML, & Mi, S. (2020). Karakterisasi dan diferensiasi daging babi rebus dari babi Tibet, Sanmenxia dan Duroc×(Landrac×Yorkshire) melalui profil senyawa volatil dan analisis kemometrik. *Food Research International*, 130, 108910.
- Hustiany, R. (2016). Reaksi maillard pembentuk citarasa dan warna pada produk pangan. *Pers LMU*.
- Indrasti, D., Mukhlisin, MF, Darmawan, N., & Yuliana, ND (2022). Profil komponen volatil beberapa jenis satai menggunakan gas kromatografi. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 27(2), 199-215.
- Kosowska, M., A MAJCHER, M., & Fortuna, T. (2017). Senyawa volatil dalam daging dan produk daging. *Ilmu Pangan dan Teknologi*, 37, 1-7.
- Lytou, AE, Panagou, EZ, & Nychas, GJE (2019). Volatilomics untuk kualitas dan otentikasi pangan. *Current Opinion in Food Science*, 28, 88-95.
- Liu, J., Duan, H., Wang, L., Qin, R., Liu, J., Liu, H., ... & Yan, W. (2025). Sidik Jari Volatil dan Diferensiasi Regional Bunga Safflower (*Carthamus tinctorius L.*) Menggunakan GC-IMS yang Dikombinasikan dengan OPLS-DA. *Foods*, 14(19), 3381.
- Nguju, AL, Kale, PR, & Sabtu, B. (2018). Pengaruh cara memasak yang berbeda terhadap kadar protein, lemak, Kolesterol dan rasa daging sapi Bali. *Jurnal Nukleus Peternakan*, 5(1), 17-23. <https://doi.org/10.35508/nukleus.v5i1.831>
- Nida, L. (2019). Kasus Pemalsuan Daging Sapi dengan Daging Babi Hutan di Kota Bogor Tahun 2013-2017 (Studi Kasus).

- Novitasari, DR, Dewanti-Hariyadi, R., & Yuliana, ND (2023). Kromatografi gas-spektrofotometri massa volatilomik untuk aktivitas antibakteri minyak atsiri dari temu kunci yang tumbuh di berbagai ketinggian. *Jurnal Penelitian Pangan & Gizi*, 62(1).
- Pertiwi, CW, Yuliana, ND, & Indrasti, D. (2025). Volatilomics dengan metode SPME/GC-MS untuk otentikasi spesies halal produk daging. *Kemajuan dalam Ilmu Pangan, Pertanian Berkelanjutan dan Teknik Agroindustri (AFSSAAE)*, 8(2).
- Pranata, AW, Yuliana, ND, Amalia, L., & Darmawan, N. (2021). Volatilomics untuk otentikasi bakso halal dan non-halal menggunakan ekstraksi mikro fase padat-kromatografi gas-spektrometri massa. *Jurnal Kimia Arab*, 14(5), 103146.
- Ummami, R., Ramandani, D., Airin, CM, Husni, A., & Astuti, P. (2022). Uji Kualitas dan Uji Cemaran Daging Babi Pada Daging Sapi di Beberapa Pasar Tradisional di Yogyakarta: Uji Deteksi Daging Babi Dan Kualitas Fisik Daging Di Beberapa Pasar Tradisional Di Yogyakarta. *Jurnal Ilmu Peternakan dan Veteriner Tropis (Jurnal Ilmu Hewan dan Kedokteran Hewan Tropis)*, 12(2), 151-160.
- You, L., Zhang, Y., Ma, Y., Wang, Y., & Wei, Z. (2025). Pengaruh Waktu Perebusan terhadap Warna, Air, Struktur Sekunder Protein, dan Senyawa Volatil Daging Sapi. *Makanan*, 14(8), 1372.