

PENERAPAN TEKNOLOGI *GASS CROMATOGRAPHY - MASS SPECTROMETRY* (GC-MS) UNTUK KLASIFIKASI AROMA DAGING SAPI DAN DAGING BABI MURNI MENGGUNAKAN METODE *PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS* (PCA)

SKRIPSI

Oleh:
RODHIYATUL ALFI AMALIYAH
NIM. 220604110033



**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2026**

HALAMAN PENGANTAR

PENERAPAN TEKNOLOGI *GAS CHROMATOGRAPHY - MASS SPECTROMETRY* (GC-MS) UNTUK KLASIFIKASI AROMA DAGING SAPI DAN DAGING BABI MURNI MENGGUNAKAN METODE *PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS* (PCA)

SKRIPSI

**Diajukan kepada:
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
Untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam
Memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si)**

**Oleh:
RODHIYATUL ALFI AMALIYAH
NIM. 220604110033**

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2026**

HALAMAN PERSETUJUAN

PENERAPAN TEKNOLOGI *GASS CROMATOGRAPHY - MASS SPECTROMETRY* (GC-MS) UNTUK KLASIFIKASI AROMA DAGING SAPI DAN DAGING BABI MURNI MENGGUNAKAN METODE *PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS* (PCA)

SKRIPSI

Oleh:
RODHIYATUL ALFI AMALIYAH
NIM. 220604110033

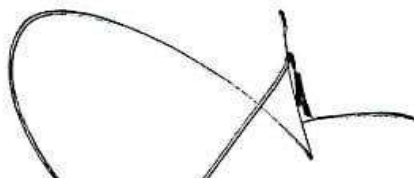
Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji
Pada tanggal, 29 April 2026

Pembimbing I



Muthmainnah, M.Si
NIP. 19811119 200801 2 009

Pembimbing II



Drs. Abdul Basid, M.Si
NIP. 19650504 199003 1 003

Mengetahui,
Ketua Program Studi



Farid Samsu Hananto, S.Si., M.T
NIP. 19740513 200312 1 001

HALAMAN PENGESAHAN

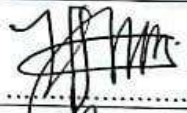
PENERAPAN TEKNOLOGI *GASS CROMATOGRAPHY - MASS SPECTROMETRY* (GC-MS) UNTUK KLASIFIKASI AROMA DAGING SAPI DAN DAGING BABI MURNI MENGGUNAKAN METODE *PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS* (PCA)

SKRIPSI

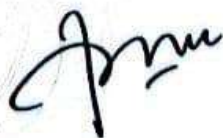
Oleh:

RODHIYATUL ALFI AMALIYAH
NIM. 220604110033

Telah Dipertahankan Di Depan Dewan Penguji
Dan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Pada Tanggal, 17 Juni 2026

Penguji Utama :	<u>Dr. Imam Tazi, M.Si.</u> NIP. 19740730 200312 1 002	
Ketua Penguji :	<u>Naqibatin Nadliriyah, M.Si</u> NIP. 19920221 201903 2 020	
Sekretaris Penguji :	<u>Muthmainnah, M.Si</u> NIP. 19860325 201903 2 009	
Anggota Penguji :	<u>Drs. H. Abdul Basid, M.Si</u> NIP. 19650504 199003 1 003	

Mengesahkan,
Ketua Program Studi



Farid Samsu Hananto, S.Si., M.T
NIP. 19740513 200312 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : RODHIYATUL ALFI AMALIYAH
NIM : 220604110033
Program Studi : FISIKA
Fakultas : SAINS DAN TEKNOLOGI
Judul Penelitian : Penerapan Teknologi *Gass Chromatography Mass Spectrometry* (GC-MS) untuk Klasifikasi Aroma Daging Sapi dan Babi Murni Menggunakan Metode *Principal Component Analysis* (PCA)

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa hasil penelitian saya ini tidak terdapat unsur penjiplakan karya penelitian atau karya ilmiah yang telah dilakukan atau dibuat oleh orang lain, kecuali yang dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka. Apabila ternyata hasil penelitian ini terbukti terdapat unsur-unsur jiplakan maka saya bersedia untuk menerima sanksi yang telah ditetapkan.

Malang, 24 Juni 2026
Yang Membuat Pernyataan,



SEPULUH RIBU RUPIAH
1000
METERAI
TEMPEL
B2A8AAOX0575686

Rodhiyatul Alfi Amaliyah
NIM. 220604110033

MOTTO

“Tugas manusia hanya berjuang, bukan memaksakan hasil. Kita punya kendala tapi Allah SWT punya kendali. Yakinlah jika Allah sudah ikut andil, maka tidak ada kata mustahil”

Ustadz Hanan Attaki

“Keberhasilan bukanlah milik orang pintar, Melainkan milik mereka yang senantiasa berusaha”

B.J Habibie

HALAMAN PERSEMBAHAN

Pertama saya ucapkan puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala nikmat berupa kesehatan, dan inspirasi yang sangat luar biasa dalam proses penyelesaian skripsi. Dengan segala kerendahan hati, karya tulis ini saya persembahkan kepada orang yang di cintai :

1. Teruntuk ayahku tersayang, Allahu yarham, nahkoda yang lebih dulu menepi ke keabadian sebelum sempat melihat kapal ini bersandar di pelabuhan. Skripsi ini adalah surat yang ku tulis dengan tinta rindu, bingkisan kecil untuk seorang lelaki yang pundaknya pernah menjadi bumi tempatku berpijak. Kehilangan adalah ruang kosong yang tak pernah sepenuhnya terisi, tetapi justru dari ruang itulah aku belajar tentang teguh dan mengerti. Ayah, betapa jahat engkau membiarkan kursimu kosong saat putrimu akan diwisuda, menyandang gelar sarjananya. Hari ini, selain rindu dan do'a kuhaturkan gelar S.Si ini untukmu, sebagian dari janji kecil yang dulu ingin kubuktikan: "bahwa aku akan tumbuh menjadi orang yang tidak mudah menyerah". Terimakasih telah menjadi fondasi pertama dalam hidupku, mengajarkanku tentang tanggung jawab, tentang harga diri, tentang keberanian berdiri diatas kakiku sendiri. Jika suatu hari aku terlihat tegar, itu artinya aku membawa sebagian jiwamu bersamaku. Semoga setiap do'a yang kupanjatkan sampai kepadamu sebagai peluk yang tak sempat kuberikan. Dan semoga, tuhan menempatkanmu di tempat terbaik, sebagaimana engkau pernah menjadi tempat terbaikku.
2. Untuk Ibu tercinta, Terima kasih telah menjadi sosok ibu sekaligus ayah yang tak pernah lelah berjuang demi masa depanku. Setiap doa,

pengorbanan, air mata, dan kerja kerasmu mengantarkanku hingga berada di titik ini. Gelar sarjana ini kupersembahkan untukmu, wanita terhebat yang selalu percaya padaku bahkan ketika aku meragukan diriku sendiri. Terima kasih, Bu. Aku berhasil karena perjuanganmu.

3. Kepada 3 saudara kandung saya, Imatus Sholihah, Aminatus zuhria, dan adik saya tercinta Muhammad Zidan Farid Rofi' Uddin, yang selalu menjadi tempat pulang, sumber kekuatan, dan penguat di setiap keadaan. Terimakasih atas do'a, dukungan dan kebersamaan yang tak ternilai harganya.
4. Kepada Keponakan keponakanku tercinta, terimakasih atas kelucuan kelucuan kalian yang membuat penulis semangat dan selalu membuat penulis senang, sehingga penulis semangat untuk menegerjakan skripsi ini sampai selesai.
5. Untuk Mum, Malik, dan Nopal, Terima kasih karena telah tumbuh bersama dalam setiap cerita, perjuangan, dan mimpi yang kita jalani. Kalian adalah saudara yang tidak lahir dari darah yang sama, tetapi hadir dengan kasih sayang dan ketulusan yang tidak kalah berharganya.
6. Untuk teman-teman ELINS, Terima kasih telah menjadi bagian penting dalam perjalanan akademikku. Terima kasih atas setiap dukungan, semangat, bantuan, dan kebersamaan yang telah diberikan selama ini. Kalian adalah support system yang selalu hadir, baik dalam masa-masa penuh tantangan maupun saat merayakan setiap pencapaian. Kehadiran kalian telah memberikan banyak warna, pelajaran, dan kenangan yang tidak akan terlupakan. Untuk teman-teman Material, Terima kasih telah menjadi

tempat berbagi cerita, keluh kesah, dan pengalaman selama menempuh perjalanan ini. Terima kasih atas kebersamaan dalam belajar, berdiskusi, saling membantu, dan saling menguatkan ketika menghadapi berbagai kesulitan. Setiap momen yang kita lalui bersama telah menjadi bagian berharga yang turut mengantarkanku hingga berada di titik ini. Semoga segala kebaikan, dukungan, dan kebersamaan yang telah terjalin dapat menjadi kenangan indah yang selalu kita ingat. Terima kasih telah menjadi teman, sahabat, dan keluarga dalam perjalanan menuju masa depan yang lebih baik

7. Terakhir penulis ingin menyampaikan rasa terimakasih yang mendalam kepada diri sendiri, Rodhiyatul Alfi Amaliyah. Terimakasih telah bertahan sejauh ini. Untuk setiap malam yang dihabiskan dalam kelelahan, setiap pagi yang disambut dengan keraguan namun tetap dijalani, serta setiap ketakutan yang berhasil dilawan dengan keberanian. Terimakasih kepada hati yang tetap ikhlas, meski tidak semua hal berjalan sesuai harapan. Terimakasih kepada jiwa yang tetap kuat, meski berkali kali hampir menyerah. Penulis bangga kepada diri sendiri yang telah mampu melewati berbagai fase sulit dalam keadaan kehidupan ini. Semoga kedepannya, raga ini tetap kuat, hati tetap tegar, dan jiwa tetap lapang dalam menghadapi setiap proses kehidupan. Mari terus bekerja sama untuk tumbuh dan berkembang menjadi pribadi yang lebih baik lagi.

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Subhanahu wa Ta'ala atas limpahan rahmat, taufik, hidayah dan inayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan dan menyusun skripsi yang berjudul “Penerapan Teknologi *Gass Chromatography–Mass Spectrometry* (GC-MS) Untuk Klasifikasi Aroma Daging Sapi dan Daging Babi Murni Menggunakan Metode *Principal Component Analysis* (PCA)”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memenuhi tugas akhir pada Program Studi Fisika, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Shalawat dan salam senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad Shallallahu ‘alaihi wa sallam, sebagai suri teladan bagi seluruh umat islam.

Pada kesempatan ini, penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan, bimbingan, arahan, serta kritik dan saran yang membangun selama proses penyusunan skripsi ini, diantaranya kepada:

1. Allah Subhanahu wa Ta'ala yang senantiasa memberikan kekuatan, kesabaran, dan kemudahan dalam setiap Langkah yang dijalani.
2. Ibu Prof. Dr. Hj. Ilfi Nur Diana, M.Si., selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Bapak Dr. H. Agus Mulyono, S.pd., M.Kes., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Bapak Farid Samsu Hananto, S.Si., M.T., selaku Ketua Program Studi Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

5. Ibu Muthmainnah, M.Si., selaku dosen pembimbing yang dengan penuh kesabaran, dedikasi, dan ketekunan telah membimbing penulis dalam proses penyusunan skripsi ini.
6. Seluruh dosen, laboran, dan staf administrasi Program Studi Fisika yang telah memberikan ilmu, pengalaman, serta bantuan yang sangat berarti.
7. Kedua orang tua saya, almarhum bapak Sukandar yang selalu melihat proses penulis di setiap langkahnya, dan Ibu Supriyati yang telah merangkap juga untuk menjadi sosok ibu sekaligus ayah terimakasih atas segala do'a, dukungan, arahan, dan motivasi yang tiada henti dalam setiap Langkah yang dilakukan oleh penulis.
8. Kakak kandung penulis , Imatus Sholihah dan Aminatus zuhria, serta kedua kakak ipar penulis, yang selalu memberikan semangat dan dukungan selama proses penyusunan skripsi dan yang selalu siap direpotkan kapanpun.
9. Teman temenku Elins yaitu Ela dan Raisan. Ada juga teman teman Malik, mum, anak anak material, serta semua teman teman Fisika yang tidak dapat disebutkan satu per satu. Terimakasih telah menjadi bagian penting dalam perjalanan panjang ini, tanpa kalian, proses ini tidak akan sebermakna ini.
10. Dan untuk diriku seniri yang sudah kuiat melewati perjalanan untuk menyelesaikan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih terdapat kekurangan, baik dari segi isi maupun penyajiannya. Hal tersebut tidak lepas dari keterbatasan ilmu dan pengalaman yang dimiliki penulis. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan untuk perbaikan di masa mendatang. Semoga karya ini dapat memberikan manfaat, baik bagi penulis sendiri

dalam memenuhi tugas akademik, maupun sebagai tambahan wawasan dan kontribusi bagi pengembangan ilmu pengetahuan kedepannya.

Malang, 17 Juni 2026
Penulis,

Rafly Akbar Elfahmi
NIM. 220604110046

DAFTAR ISI

COVER.....	i
HALAMAN PENGAJUAN.....	ii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN.....	v
MOTTO.....	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vii
KATA PENGANTAR.....	x
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL.....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvii
ABSTRAK.....	xviii
ABSTRACT.....	xix
مستخلص البحث.....	xx
 BAB I PENDAHULUAN.....	 1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Batasan Penelitian.....	4
 BAB II KAJIAN PUSTAKA.....	 6
2.1 Landasan Teori.....	6
2.1.1 <i>Gass Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS)</i>	6
2.1.2 <i>Soxhlet</i>	9
2.1.3 <i>Daging Sapi</i>	10
2.1.4 <i>Daging Babi</i>	11
2.1.5 <i>n-Heksana</i>	12
2.1.6 <i>Origin</i>	13
2.1.7 <i>Principal Component Analysis (PCA)</i>	14
2.2 Kajian Literatur.....	15
 BAB III METODE PENELITIAN.....	 18
3.1 Jenis Penelitian.....	18
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian.....	18
3.3 Alat dan Bahan.....	18
3.4 Variabel Penelitian.....	19
3.5 Prosedur Penelitian.....	21
3.8 Pengolahan Data Tabel Pengukuran GC-MS.....	25
3.9 Tabel Pengukuran GC-MS.....	26
 BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....	 28
4.1 Prosedur Pengujian Sampel.....	28
4.1.1 Preparasi sampel.....	28
4.1.3 Pengujian GC-MS.....	36

4.2	Data Hasil GC-MS	37
4.2.1	Hasil GC-MS Sampel 1	38
4.2.2	Hasil GC-MS Sampel 2	42
4.2.3	Hasil GC-MS Sampel 3	46
4.2.4	Hasil GC-MS Sampel 4	49
4.2.5	Hasil GC-MS Sampel 5	52
4.3	Hasil Pengolahan Data Menggunakan Metode PCA terhadap GC-MS.....	58
4.3.1	Hasil screen plot GC-MS	60
4.3.2	Hasil Loading Plot GC-MS	61
4.3.3	Hasil Score Plot 2D GC-MS.....	63
4.3.4	Hasil Score Plot 3D GC-MS.....	66
4.4	Pembahasan.....	67
BAB V PENUTUP.....		76
5.1	Kesimpulan	76
5.2	Saran	77
DAFTAR PUSTAKA.....		78
LAMPIRAN.....		80

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Alat <i>Gass Chromatography-Mass Spectrometry</i> (GC-MS)	6
Gambar 2.2	Skema prinsip kerja GC-MS	7
Gambar 2.3	Prinsip Kerja <i>Soxhlet</i>	9
Gambar 3.1	Prosedur Penelitian	21
Gambar 3.2	Proses 1 Pengeringan sampel	21
Gambar 3.3	Proses 2 Pencampuran Sampel	22
Gambar 3.4	Proses 3 Ekstraksi menggunakan <i>soxhlet</i>	23
Gambar 3.5	Proses 4 <i>Esterifikasi</i>	24
Gambar 4.1	Sampel Sebelum di <i>oven</i>	29
Gambar 4.2	Proses Peng- <i>oven</i> an Sampel	29
Gambar 4.3	Kondisi Sampel Setelah di <i>oven</i>	29
Gambar 4.4	Proses Penghalusan Sampel	29
Gambar 4.5	Sampel Setelah menjadi Serbuk	30
Gambar 4.6	Proses Penimbangan dan Pembagian Sampel Berdasarkan <i>Massa</i> Masing-masing	32
Gambar 4.7	Tabung Kertas Saring Tempat Ekstraksi Sampel	33
Gambar 4.8	Proses Ekstraksi <i>Soxhlet</i>	33
Gambar 4.9	Proses Evaporasi	34
Gambar 4.10	Proses Esterifikasi	35
Gambar 4.11	Proses Pembentukan 2 fasa	35
Gambar 4.12	Hasil Akhir setelah Esterifikasi dan Sampel Siap diuji	36
Gambar 4.13	Kromatogram Hasil Uji GC-MS Sampel 1	37
Gambar 4.14	Kromatogram Hasil Uji GC-MS Sampel 2	40
Gambar 4.15	Kromatogram Hasil Uji GC-MS Sampel 3	43
Gambar 4.16	Kromatogram Hasil Uji GC-MS Sampel 4	45
Gambar 4.17	Kromatogram Hasil Uji GC-MS Sampel 5	47
Gambar 4.18	Kromatogram Hasil Uji GC-MS Sampel 6	49
Gambar 4.19	Hasil <i>Screen Plot</i> GC-MS	54
Gambar 4.20	Hasil <i>Loading plot</i> GC-MS	55
Gambar 4.21	Hasil <i>Score plot</i> 2D GC-MS.....	56
Gambar 4.22	Hasil <i>Score plot</i> 3D GC-MS.....	59

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Tabel GC-MS pada Sampel 1	26
Tabel 3.2	Tabel GC-MS pada Sampel 2	26
Tabel 3.3	Tabel GC-MS pada Sampel 3	26
Tabel 3.4	Tabel GC-MS pada Sampel 4	27
Tabel 3.5	Tabel GC-MS pada Sampel 5	27
Tabel 3.6	Tabel GC-MS pada Sampel 6	27
Tabel 4.1	Tabel Hasil Peak dan Senyawa pada Sampel 1	38
Tabel 4.2	Tabel Hasil Peak dan Senyawa pada Sampel 2.....	40
Tabel 4.3	Tabel Hasil Peak dan Senyawa pada Sampel 3.....	43
Tabel 4.4	Tabel Hasil Peak dan Senyawa pada Sampel 4.....	45
Tabel 4.5	Tabel Hasil Peak dan Senyawa pada Sampel 5	47
Tabel 4.6	Tabel Hasil Peak dan Senyawa pada Sampel 6.....	50
Tabel 4.7	Tabel Nilai area senyawa hasil GC-MS sebagai data input PCA	52
Tabel 4.8	Tabel Nilai Eigen, Presentasi variasi dan komunikatif GC-MS	52
Tabel 4.9	Tabel Senyawa marker pembeda komposisi lemak sapi dan babi berdasarkan kromatogram GC-MS.....	61

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 <i>Report</i> Hasil GC-MS Setiap Sampel	81
Lampiran 2 Jurnal Bimbingan.....	99

ABSTRAK

Amaliyah, Rodhiyatul Alfi. 2026. **Penerapan Teknologi *Gass Chromatography – Mass Spectrometry* (GC-MS) Untuk Klasifikasi Aroma Daging Sapi dan Daging Babi Murni Menggunakan Metode *Principal Component Analysis* (PCA).**
Skripsi. Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
Pembimbing: (I) Mutmainnah, M.Si (II) Drs.H.Abdul Basid, M.Si

Kata Kunci: GC-MS, Daging sapi, Daging Babi, Aroma, PCA

Penelitian ini bertujuan untuk mengklasifikasikan aroma daging sapi dan daging babi murni menggunakan teknologi *Gass Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS) dengan bantuan metode *Principal Component Analysis* (PCA). Perbedaan komposisi senyawa volatil pada daging sapi dan babi menjadi dasar identifikasi, sehingga dapat digunakan sebagai acuan dalam autentikasi produk pangan. Proses ekstraksi senyawa volatil dilakukan terlebih dahulu, kemudian hasil analisis GC-MS memberikan spektrum kromatogram yang menggambarkan senyawa penyusun aroma masing-masing sampel. Data hasil GC-MS selanjutnya dianalisis menggunakan PCA untuk mempermudah pengelompokan dan visualisasi perbedaan aroma antara daging sapi dan daging babi. Hasil analisis menunjukkan adanya perbedaan signifikan pada profil volatil kedua jenis daging tersebut. PCA mampu memisahkan kelompok data dengan jelas, sehingga dapat menjadi metode pendukung dalam upaya deteksi cepat dan akurat terhadap keaslian daging. Dengan demikian, penerapan GC-MS berbasis PCA berpotensi digunakan sebagai metode analisis ilmiah dalam klasifikasi daging sapi dan babi murni, sekaligus memberikan kontribusi pada bidang keamanan pangan dan kontrol kualitas produk hewani.

ABSTRACT

Amaliyah, Rodhiyatul Alfi. 2026. **Application of Gass Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) Technology for Classification of Pure Beef and Pork Aroma Using Principal Component Analysis (PCA)**. Thesis. Physics Department, Faculty of Science and Technology, Maulana Malik Ibrahim State Islamic University, Malang.
Advisor: (I) Muthmainah, M.Si (II)

Keywords: GC-MS, Beef,Pork, Aroma, PCA

This research aims to classify the aroma of pure beef and pork using Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) technology with the aid of Principal Component Analysis (PCA). Differences in the composition of volatile compounds between beef and pork serve as the basis for identification, which can be used as a reference in food product authentication. Volatile compounds were first extracted, and the GC-MS analysis produced chromatogram spectra representing the aroma compounds of each sample. The GC-MS data were further analyzed using PCA to facilitate grouping and visualization of the differences in aroma between beef and pork. The results indicated significant differences in the volatile profiles of the two types of meat. PCA was able to clearly separate the data groups, making it a useful supporting method for rapid and accurate detection of meat authenticity. Therefore, the application of GC-MS combined with PCA has the potential to be used as a scientific analytical method in the classification of pure beef and pork, while also contributing to the field of food safety and quality control of animal-based products.

مستخلص البحث

أمالية، رضبة الألفي. ٢٠٢٦. تطبيق تكنولوجيا GC-MS لتصنيف رائحة لحم البقر ولحم الخنزير النقي باستخدام طريقة PCA. بحث جامعي. قسم الفيزياء، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية مالانج
المشرف: (الأول) مطمئنة، الماجستير ؛ (الثاني) د. عبد الباسط، الماجستير.

الكلمة الرئيسية: GC-MS، لحم بقري، لحم خنزير، الرائحة، PCA

تهدف هذه الدراسة إلى تصنيف رائحة لحوم الأبقار ولحوم الخنازير النقية باستخدام تقنية مطياف الكتلة مع كروماتوجرافيا الغاز (GC-MS) بمساعدة طريقة تحليل المكونات الرئيسية (PCA). الاختلاف في تركيز المركبات الطيارة في لحوم الأبقار والخنازير يشكل أساس التمييز، وبالتالي يمكن استخدامه كمرجع للتحقق من صحة المنتجات الغذائية. يتم أولاً استخراج المركبات الطيارة، وبعد ذلك تقدم نتائج تحليل GC-MS طيف كروماتوجرافي يوضح المركبات المكونة لرائحة كل عينة. تم تحليل بيانات نتائج GC-MS لاحقاً باستخدام PCA لتسهيل تصنيف وتصوير الفروقات في الرائحة بين لحم البقر ولحم الخنزير. أظهرت نتائج التحليل وجود اختلافات كبيرة في الملف التطايري لكلا نوعي اللحم. كانت PCA قادرة على فصل مجموعات البيانات بوضوح، مما يجعلها طريقة داعمة في جهود الكشف السريع والدقيق عن أصالة اللحم. وبالتالي، يمكن استخدام تطبيق GC-MS المعتمد على PCA كطريقة تحليل علمية في تصنيف لحم البقر والخنزير النقي، كما يساهم في مجال سلامة الغذاء ومراقبة جودة المنتجات الحيوانية.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Keamanan dan kehalalan prodak pangan merupakan aspek fundamental dalam konsumsi Masyarakat, khususnya di Indonesia sebagai negara dengan mayoritas penduduk beragama Islam. Salah satu isu yang sering muncul dalam industri pangan adalah potensi pemalsuan produk berbahan daging, terutama melalui pencampuran daging sapi dan daging babi. Kondisi ini menimbulkan tantangan serius dalam perlindungan konsumen, baik dari sisi Kesehatan maupun kepatuhan terhadap aturan syariat. Oleh karena itu, diperlukan metode deteksi yang akurat, cepat, dan andal untuk mengidentifikasi keberadaan bahan non-halal dalam produk pangan (Gema,R, 2015). Sebagaimana dijelaskan dalam Al-Qur'an surah Al-Baqarah ayat 42 sebagai berikut :

وَلَا تَلْبِسُوا الْحَقَّ بِالْبَاطِلِ وَتَكُنُمُوا الْحَقَّ وَأَنْتُمْ تَعْلَمُونَ ﴿٤٢﴾

Artinya : “Janganlah kamu campuradukkan kebenaran dengan kebathilan dan (jangan pula) kamu sembunyikan kebenaran, sedangkan kamu mengetahuinya”

Ayat diatas menyebabkan tidak diperbolehkannya mencampurkan antara yang haq dan yang bathil seperti bahan makanan dari suatu bahan pangan Adalah dikarenakan dicampur dengan barang haram yaitu daging babi. Sebagaimana dijelaskan dalam Al-Qur'an Surah Albaqarah ayat 173 sebagai berikut :

إِنَّمَا حَرَّمَ عَلَيْكُمُ الْمَيْتَةَ وَالدَّمَ وَلَحْمَ الْخِنْزِيرِ وَمَا أُهْلَ بِهِ لِغَيْرِ اللَّهِ فَمَنْ اضْطُرَّ غَيْرَ بَاغٍ وَلَا عَادٍ فَلَا إِثْمَ عَلَيْهِ إِنَّ اللَّهَ غَفُورٌ رَحِيمٌ

Artinya : “Sesungguhnya Dia hanya mengharamkan atas kamu bangkai, darah, daging babi, dan (daging hewan) yang disembelih bukan atas nama Allah. Tetapi barang siapa terpaksa (memakannya) bukan karena menginginkannya dan tidak

pula melampaui batas, maka tidak ada dosa baginya. Sungguh, Allah Maha Pengampun, Maha Penyayang”

Gas Chromatography–Mass Spectrometry (GC-MS) merupakan teknik instrumentasi analitik dengan sensitivitas dan selektivitas tinggi, yang mampu mengidentifikasi senyawa volatil penyusun aroma suatu bahan. Setiap jenis daging memiliki profil senyawa volatil yang khas, sehingga GC-MS dapat menghasilkan *fingerprint* kimia yang memungkinkan pembedaan antara daging sapi dan daging babi. Sejumlah penelitian menunjukkan keberhasilan penggunaan GC-MS untuk mengidentifikasi biomarker volatil yang relevan bagi autentikasi bahan pangan. (Islami MN,dkk, 2020).

Beberapa penelitian terdahulu telah menunjukkan efektivitas GC-MS dan metode spektrum lainnya untuk autentifikasi daging. Penelitian Ahamed et al. (2024) menggunakan sampel daging sapi dan babi matang yang dianalisis dengan metode HS-SPME GC-MS serta PCA dan PLS-DA. Hasilnya menunjukkan bahwa senyawa volatil seperti aldehid dan keton mampu membedakan kedua jenis daging secara jelas, dan PCA memunculkan pemisahan kelompok aroma yang signifikan. Namun, penelitian ini hanya berfokus pada daging matang sehingga belum diterapkan pada konteks kehalalan maupun pada daging murni lokal. Sementara itu, penelitian Pranata et al. (2022) menggunakan produk olahan berupa bakso halal dan non-halal yang dianalisis dengan HS-SPME GC-MS dan PCA. PCA berhasil mengelompokkan produk berdasarkan aroma dan mengidentifikasi marker volatil khas babi, tetapi keberadaan bumbu dan minyak pada produk olahan memengaruhi profil aroma sehingga penelitian belum fokus pada daging murni. Penelitian Rusydah et al. (2025) menggunakan sampel *beef* dan *pork patties* yang sudah diberi seasoning dan dianalisis dengan SPME GC-MS serta OPLS-DA. Studi ini

menemukan marker volatil seperti *hexanal* dan *dimethyl disulfide* yang membedakan sapi dan babi, namun pengaruh seasoning masih besar sehingga diperlukan penelitian lanjutan pada sampel tanpa tambahan bumbu(Rusydah et al,2025).

Meskipun demikian, data GC-MS umumnya bersifat kompleks, sehingga analisisnya memerlukan pendekatan statistik multivariat. Principal Component Analysis (PCA) merupakan salah satu metode umum untuk mereduksi dimensi data, memvisualisasikan perbedaan antar kelompok sampel, dan mengidentifikasi variabel yang berkontribusi pada pemisahan kelas. Kombinasi GC-MS dan PCA telah terbukti efektif dalam autentikasi pangan pada berbagai penelitian terdahulu(Prabawati YS, dkk, 2018).

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan mengembangkan metode klasifikasi aroma daging sapi dan daging babi murni menggunakan teknologi GC-MS yang dipadukan dengan PCA. Hasil penelitian diharapkan memberikan kontribusi terhadap pengembangan metode deteksi yang dapat mendukung sistem jaminan produk halal.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, dapat disusun rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana profil senyawa volatil yang dihasilkan oleh GC-MS pada daging sapi dan daging babi murni?
2. Bagaimana penerapan metode PCA dalam mengklasifikasi profil aroma daging sapi dan babi berdasarkan data GC-MS?

3. Sejauh mana kombinasi GC-MS dan PCA dapat digunakan sebagai metode deteksi untuk autentifikasi daging halal?

1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, tujuan yang ingin dicapai adalah:

1. Mengidentifikasi dan membandingkan senyawa volatil yang dihasilkan daging sapi dan daging babi murni menggunakan GC-MS.
2. Menerapkan metode PCA untuk mengklasifikasikan data GC-MS dan memisahkan kelompok sampel berdasarkan jenis daging.
3. Mengembangkan metode analisis yang dapat mendukung proses autentifikasi halal berbasis profil aroma.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi baik secara teoritis maupun praktis. Secara akademik, penelitian ini dapat menjadi referensi dalam pengembangan metode identifikasi daging berbasis teknologi GC-MS yang dikombinasikan dengan PCA, sehingga memperkaya literatur ilmiah dalam bidang analisis kimia pangan. Secara praktis, hasil penelitian ini dapat dimanfaatkan oleh industri pangan, laboratorium pengujian, dan lembaga sertifikasi halal untuk mendukung proses autentikasi daging dan mencegah pemalsuan produk, sehingga dapat menjaga kualitas dan kepercayaan konsumen terhadap produk halal.

1.5 Batasan Penelitian

Agar penelitian lebih terfokus, maka ruang lingkup penelitian ini dibatasi sebagai berikut:

1. Penelitian hanya menggunakan daging sapi murni dan daging babi murni jenis *sirloin* sebagai sampel.

2. Analisis dilakukan dengan GC-MS untuk mengidentifikasi senyawa volatil pada masing-masing sampel.
3. Data hasil GC-MS diolah menggunakan PCA untuk mengklasifikasikan dan memisahkan kelompok sampel.
4. Penelitian hanya membahas profil senyawa volatil tanpa mempertimbangkan faktor lain seperti proses pemasakan, penyimpanan jangka panjang, atau campuran dengan daging lain.
5. Hasil penelitian difokuskan untuk mendukung autentikasi halal melalui perbedaan aroma daging sapi dan babi.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1 *Gass Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS)

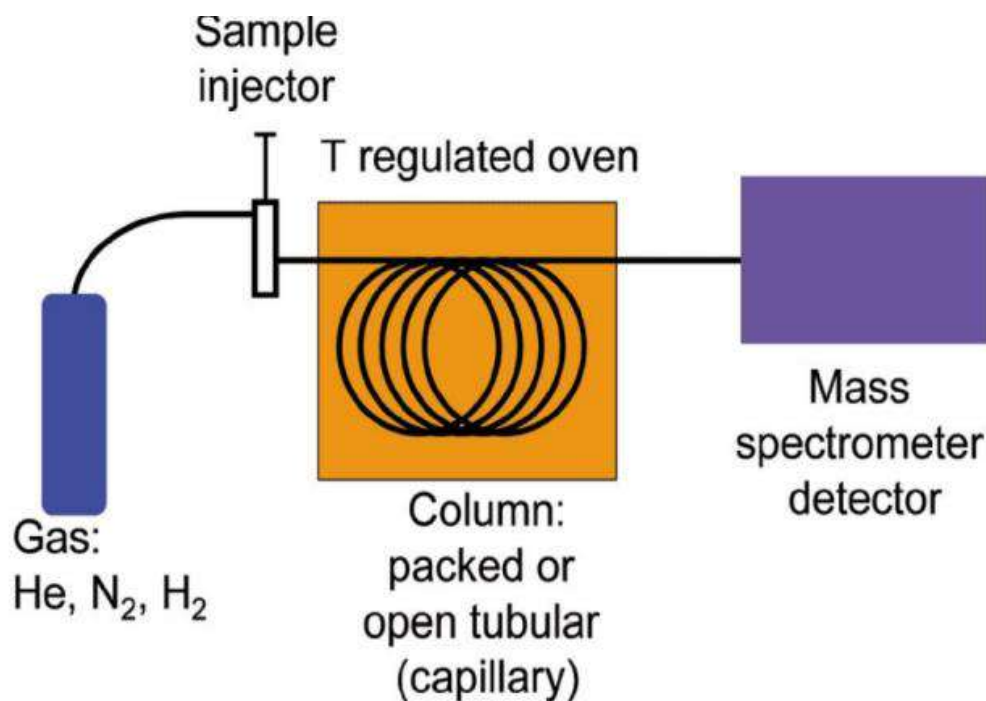


Gambar 2.1 Alat *Gass Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS)

Gass Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) merupakan kombinasi dari dua teknik analisis, yaitu kromatografi gas (GC) yang berfungsi memisahkan senyawa dalam campuran, dan spektrometri massa (MS) yang digunakan untuk mengidentifikasi senyawa berdasarkan rasio massa terhadap muatannya. Teknik ini banyak digunakan karena memiliki sensitivitas dan selektivitas yang tinggi, serta mampu memberikan informasi kualitatif maupun kuantitatif tentang komponen dalam suatu sampel. Pada analisis daging, GC-MS digunakan untuk mengidentifikasi senyawa volatil, termasuk asam lemak dan senyawa penyusun aroma, sehingga memungkinkan perbandingan profil antara daging sapi dan daging babi.

Keunggulan GC-MS antara lain adalah kemampuannya untuk mendeteksi senyawa dalam jumlah sangat kecil (hingga level ppb), menghasilkan kromatogram dengan puncak-puncak terpisah yang dapat dianalisis, dan memberikan spektrum mass yang dapat dicocokkan dengan pustaka referensi. Hal

ini membuat GC-MS sangat efektif untuk tujuan autentikasi pangan, terutama dalam mendeteksi kontaminasi atau pemalsuan bahan pangan. Nugraha dkk. (2018) memanfaatkan GC-MS untuk mengidentifikasi perbedaan asam lemak antara daging anjing dan daging sapi, yang hasilnya dikombinasikan dengan PCA untuk klasifikasi yang akurat (Nugraha,dkk, 2018).



Gambar 2.2 Skema Prinsip Kerja GC-MS

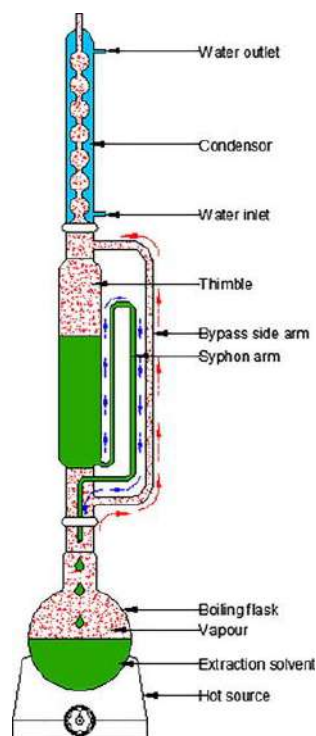
Gambar di atas adalah diagram skematik yang menggambarkan komponen utama dalam sebuah *Gas Chromatograph-Mass Spectrometer (GC-MS)*, yaitu instrumen analitis yang digunakan untuk memisahkan, mengidentifikasi, dan mengukur komponen dalam suatu campuran. Berikut penjelasan masing-masing bagian (Komal Pramod et al., 2021):

1. *Sample Injector* : Tempat sampel dimasukkan ke dalam sistem. Sampel bisa berupa cairan atau gas yang diinjeksikan ke dalam aliran gas pembawa

(*carrier gas*). Injektor biasanya dipanaskan untuk menguapkan sampel cair agar bisa terbawa oleh gas.

2. *Temperature Regulated Oven* : Oven berfungsi untuk mengontrol suhu kolom secara presisi. Suhu dapat diatur konstan atau dinaikkan secara bertahap (gradien) untuk memisahkan komponen sampel berdasarkan titik didih dan interaksinya dengan kolom.
3. Gas (He, N₂, H₂) : Gas pembawa (*carrier gas*) seperti Helium (He), Nitrogen (N₂), atau Hidrogen (H₂) yang membawa sampel melalui kolom. Pemilihan gas tergantung pada jenis detektor dan efisiensi pemisahan.
4. *Column (Packed or Open Tubular/Capillary)* : *Packed Column* biasanya berisi material padat yang dilapisi fase diam, digunakan untuk sampel dengan konsentrasi tinggi. Sedangkan, *Open Tubular/Capillary Column* merupakan Kolom kapiler dengan diameter kecil dan dilapisi fase diam di dindingnya, memberikan resolusi tinggi untuk pemisahan kompleks. Fase diam dalam kolom berinteraksi dengan komponen sampel, menyebabkan waktu retensi berbeda-beda.
5. *Mass Spectrometer Detector* : Mendeteksi dan mengidentifikasi komponen yang keluar dari kolom. Setiap komponen diionisasi, dipisahkan berdasarkan rasio massa/muatan (m/z), dan diukur oleh detektor. Hasilnya berupa spektrum massa yang memberikan informasi struktural dan konsentrasi komponen.

2.1.2 Soxhlet



Gambar 2.3 Prinsip Kerja *Soxhlet*

Metode *Soxhlet* merupakan salah satu teknik ekstraksi padat-cair yang digunakan untuk memisahkan senyawa atau komponen tertentu dari bahan padat dengan bantuan pelarut organik. Prinsip utama metode ini adalah proses ekstraksi berulang (kontinu) menggunakan pelarut yang menguap, mengembun, lalu menetes kembali ke dalam sampel sehingga senyawa target dapat larut sempurna dalam pelarut. Sistem *Soxhlet* bekerja secara otomatis dengan sirkulasi pelarut yang terus berulang tanpa perlu penambahan pelarut baru setiap kali siklus berlangsung (Skoog et al., 2014).

Pada prosesnya, sampel padat (misalnya daging yang telah dikeringkan dan dihaluskan) ditempatkan di dalam wadah ekstraktor (thimble), sedangkan pelarut berada di labu dasar yang dipanaskan. Uap pelarut naik melalui kondensor, mengembun, dan menetes ke thimble yang berisi sampel. Setelah volume pelarut mencapai batas tertentu, sifon akan mengalirkan larutan ekstrak

kembali ke labu, dan siklus ini terus berlangsung hingga komponen dalam sampel terekstraksi sempurna (Khopkar, 2008).

Dalam konteks penelitian yang menggunakan GCMS (*Gas Chromatography–Mass Spectrometry*), metode Soxhlet sering digunakan sebagai tahap preparasi sampel untuk memperoleh ekstrak dalam bentuk cair yang lebih murni dan mudah dianalisis. Dengan ekstraksi *Soxhlet*, senyawa volatil dan semi-volatil dari bahan seperti daging dapat diisolasi sehingga profil aroma atau senyawa kimianya dapat terdeteksi secara jelas melalui analisis GCMS (Harizal et al., 2019). Dengan demikian, penggunaan metode *Soxhlet* sebagai tahap awal sebelum analisis GCMS sangat penting untuk memastikan bahwa senyawa target dari bahan biologis dapat diekstraksi secara optimal, menghasilkan data yang akurat dalam proses identifikasi dan klasifikasi kimia aroma.

2.1.3 Daging Sapi

Daging sapi merupakan salah satu sumber protein hewani utama yang banyak dikonsumsi oleh masyarakat karena kandungan gizi dan nilai ekonominya yang tinggi. Komponen lemak pada daging sapi didominasi oleh asam lemak jenuh, terutama *asam palmitat* dan *asam stearat*, yang berperan penting dalam pembentukan karakteristik aroma dan cita rasa khas daging sapi. Komposisi asam lemak tersebut berbeda dengan daging babi yang umumnya memiliki kandungan asam lemak tak jenuh lebih tinggi, sehingga menghasilkan profil aroma yang berbeda dan dapat dijadikan dasar pembeda secara kimiawi.

Perbedaan komposisi lemak tersebut berpengaruh terhadap profil senyawa volatil yang dihasilkan, baik melalui proses oksidasi lemak maupun degradasi

termal. Senyawa volatil ini merupakan komponen utama pembentuk aroma daging dan dapat dianalisis menggunakan teknik kromatografi gas–spektrometri massa (GC-MS) untuk mengidentifikasi serta membandingkan karakteristik kimianya. Selain itu, teknik *Fourier Transform Infrared* (FTIR) mampu memberikan informasi mengenai gugus fungsi dominan dalam lemak, sehingga masing-masing jenis daging menunjukkan pola spektrum inframerah yang khas. (Islami, et al, 2019).

Hermanto *dkk.* (2008) melakukan penelitian dengan mengombinasikan teknik GC-MS dan FTIR untuk memprofilkan lemak daging sapi, ayam, dan babi. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa lemak daging sapi memiliki pola kromatogram dan spektrum inframerah yang berbeda secara signifikan dibandingkan dengan lemak daging babi. Berdasarkan perbedaan tersebut, dikembangkan metode klasifikasi menggunakan pendekatan kemometrika berbasis *Principal Component Analysis* (PCA) yang mampu mengelompokkan dan membedakan jenis daging secara jelas. Temuan ini menunjukkan bahwa kombinasi analisis instrumen dan metode statistik multivariat dapat digunakan sebagai pendekatan yang andal dalam autentikasi jenis daging, khususnya untuk mendukung sistem jaminan halal dalam rantai pasok pangan (Diana Chandara et al, 2023).

2.1.4 Daging Babi

Daging babi merupakan produk pangan hewani yang berasal dari ternak babi (*Sus scrofa domestica*) dan banyak dikonsumsi di berbagai negara karena kandungan gizinya yang tinggi, terutama protein dan lemak. Secara kimia, daging babi tersusun atas air, protein, lemak, mineral, dan senyawa minor

lainnya, seperti vitamin larut lemak dan senyawa volatil yang berkontribusi terhadap aroma khas daging babi (Lawrie & Ledward, 2006).

Kandungan lemak pada daging babi relatif lebih tinggi dibandingkan daging sapi, dengan komposisi asam lemak yang didominasi oleh asam lemak jenuh dan tak jenuh, seperti *asam palmitat*, *asam stearat*, *asam oleat*, dan *asam linoleat*. Perbedaan komposisi lipid ini menyebabkan profil aroma dan karakteristik sensorik daging babi berbeda secara signifikan dari daging sapi, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai parameter pembeda dalam analisis kimia dan autentikasi pangan (Wood et al., 2008).

Dalam konteks autentikasi pangan halal, keberadaan daging babi dalam produk pangan merupakan isu krusial karena daging babi dikategorikan sebagai bahan haram menurut hukum Islam. Oleh karena itu, deteksi dan identifikasi keberadaan daging babi, baik secara sengaja maupun akibat kontaminasi silang, menjadi fokus utama dalam pengembangan metode analisis berbasis kimia analitik (Rohman & Che Man, 2012).

Pendekatan berbasis profil lipid dan senyawa volatil menggunakan GC-MS telah banyak digunakan karena mampu memberikan informasi spesifik mengenai komposisi kimia daging babi. Metode ini dinilai sensitif dan selektif, serta dapat diaplikasikan untuk mendeteksi pemalsuan atau pencampuran daging babi dalam produk berbasis daging sapi (Nurjuliana et al., 2011).

2.1.5 n-Heksana

n-Heksana merupakan senyawa hidrokarbon alifatik jenuh dengan rumus molekul C_6H_{14} yang banyak digunakan sebagai pelarut nonpolar dalam ekstraksi lipid. *n-Heksana* memiliki konstanta dielektrik yang rendah, sehingga sangat

efektif melarutkan senyawa nonpolar, termasuk trigliserida dan asam lemak jenuh seperti asam laurat (Skoog et al., 2014).

Dalam analisis lemak pangan, n-heksana sering digunakan pada metode ekstraksi *Soxhlet* maupun modifikasinya karena kemampuannya mengekstraksi lipid secara selektif dengan efisiensi tinggi. Selain itu, n-heksana memiliki titik didih relatif rendah (± 69 °C), sehingga mudah diuapkan kembali setelah proses ekstraksi tanpa meninggalkan residu signifikan yang dapat mengganggu analisis instrumen (AOAC, 2019).

Penggunaan n-heksana dalam ekstraksi lemak daging bertujuan untuk memperoleh fraksi lipid total yang kemudian dapat dianalisis lebih lanjut menggunakan GC-MS guna mengidentifikasi komposisi asam lemak dan senyawa volatil. Kombinasi n-heksana dengan teknik ekstraksi yang tepat mampu menghasilkan profil lipid yang representatif dari sampel asli (Fernández et al., 2019).

2.1.6 Origin

Origin adalah perangkat lunak yang digunakan untuk analisis data dan visualisasi dalam berbagai bidang, seperti sains, teknik, dan statistik. *Software* ini dikembangkan oleh *OriginLab Corporation* dan banyak digunakan oleh peneliti, insinyur, serta akademisi untuk memproses data numerik dan membuat grafik berkualitas tinggi. Origin menyediakan berbagai fitur analisis, seperti statistika deskriptif, regresi, analisis *Fourier*, dan pemrosesan sinyal, yang memungkinkan pengguna untuk mengevaluasi serta menampilkan data dengan cara yang lebih efektif. Selain itu, software ini memiliki antarmuka yang ramah pengguna dan mendukung berbagai format file untuk impor dan ekspor data.

Salah satu keunggulan utama Origin adalah kemampuannya dalam menganalisis data kompleks secara visual dengan berbagai jenis grafik, seperti *scatter plot*, *histogram*, *contour plot*, dan 3D surface plot. Pengguna juga dapat melakukan kustomisasi grafik secara mendetail sesuai kebutuhan. Selain itu, Origin mendukung pemrograman dengan Origin C, Python, dan LabTalk, yang memungkinkan pengguna untuk mengotomatiskan tugas dan analisis data dalam skala besar. Dengan berbagai fitur canggih yang dimilikinya, Origin menjadi alat yang sangat berguna bagi para profesional dan akademisi dalam mengolah serta menyajikan data secara lebih efisien.

2.1.7 Principal Component Analysis (PCA)

Principal Component Analysis (PCA) adalah salah satu metode analisis data tanpa pengawasan (*unsupervised learning*) yang digunakan untuk mengekstraksi pola dari data tanpa bergantung pada variabel target tertentu. Metode ini bertujuan untuk menyederhanakan struktur data yang kompleks dengan mengurangi jumlah variabel tanpa kehilangan informasi yang signifikan. PCA bekerja dengan mengidentifikasi pola dalam dataset dan mentransformasikannya ke dalam bentuk koordinat baru yang lebih sederhana, yang dikenal sebagai Principal Components (PCs). Dengan cara ini, PCA memungkinkan analisis data yang lebih efisien serta membantu dalam proses eksplorasi dan visualisasi data (Tazi et al., 2019).

Secara matematis, PCA berfungsi untuk mengubah variabel yang saling berkorelasi menjadi variabel yang tidak berkorelasi, sehingga memudahkan analisis lebih lanjut. Metode ini dilakukan dengan cara menghitung *eigenvalue* dan *eigenvector* dari matriks kovarians data. *Principal Component* pertama

(PC1) merupakan komponen dengan *eigenvalue* terbesar, yang berarti memiliki variasi data paling dominan. Sementara itu, *Principal Component* kedua (PC2) memiliki variasi terbesar kedua, dan demikian seterusnya. Setiap *Principal Component* adalah kombinasi linier dari variabel asli yang dioptimalkan untuk menangkap sebanyak mungkin informasi dari dataset.

PCA memiliki banyak manfaat dalam analisis data, terutama dalam pengurangan dimensi dan pengenalan pola. Dalam dataset yang memiliki banyak fitur, beberapa fitur mungkin mengandung informasi yang serupa atau redundan. Dengan menggunakan PCA, variabel yang kurang penting dapat dieliminasi, sehingga data menjadi lebih sederhana tanpa mengorbankan informasi utama. Teknik ini sering digunakan dalam berbagai bidang seperti pengolahan citra, bioinformatika, pengenalan pola, dan analisis keuangan, di mana analisis data dalam jumlah besar menjadi lebih efisien setelah dimensi data dikurangi.

2.2 Kajian Literatur

Halal dalam konteks makanan berarti sesuatu yang diperbolehkan menurut hukum Islam — bukan hanya bebas dari bahan yang dilarang (mis. babi, alkohol), tetapi juga meliputi proses, rantai pasok, dan tata kelola sehingga produk tetap suci dan sesuai syariah. Tujuan jaminan halal adalah melindungi konsumen muslim dari paparan bahan/ proses yang haram dan memberikan kepastian mutu serta kepercayaan pasar.

Di Indonesia, jaminan produk halal diatur oleh undang-undang dan badan resmi: BPJPH (Badan Penyelenggara Jaminan Produk Halal) yang mengelola proses administrasi, serta LPPOM MUI / MUI sebagai penilai halal (fatwa). Undang-undang No. 33/2014 (dan peraturan pelaksana selanjutnya) menetapkan

mekanisme sertifikasi, audit, dan pengujian bahan/proses sebagai bagian dari penentuan halal atau tidaknya produk. Untuk produk pangan, aspek bahan baku, metode pemotongan (untuk daging), pencemaran silang, dan bukti laboratorium menjadi unsur pemeriksaan (LPOOM MUI, 2014).

Penilaian halal modern menggabungkan audit dokumen dan inspeksi proses dengan pemeriksaan laboratorium untuk mendeteksi keberadaan bahan haram atau kontaminan (mis. bahan hewani non-halal). Pemeriksaan laboratorium meningkatkan objektivitas, terutama untuk produk olahan/termproses yang sulit dibedakan secara visual. Lembaga sertifikasi biasanya mengacu pada kombinasi metode (molekuler, imunologis, kromatografi, spektroskopi) sesuai karakter produk.

يَا أَيُّهَا النَّاسُ كُلُوا مِمَّا فِي الْأَرْضِ حَلَالًا طَيِّبًا وَلَا تَتَّبِعُوا خُطُوَاتِ الشَّيْطَانِ إِنَّهُ لَكُمْ عَدُوٌّ

مُبِينٌ

Artinya: "Wahai manusia, makanlah sebagian (makanan) di bumi yang halal lagi baik dan janganlah mengikuti langkah-langkah setan. Sesungguhnya ia bagimu merupakan musuh yang nyata"

Ada beberapa metode yang sering digunakan untuk halal food identification diantaranya menggunakan metode DNA (PCR, qPCR, multiplex PCR, LAMP) dengan prinsip deteksi fragmen DNA spesies target (mis. gen mitokondrial cytochrome-b atau gen lain spesifik babi), memiliki kelebihan sangat sensitif, cocok untuk produk yang telah diproses (asal DNA masih ada), spesifisitas tinggi, namun juga memiliki keterbatasan pada produk yang dipanaskan/terdegradasi ekstraksi DNA bisa sulit; juga memerlukan kontrol kualitas laboratorium. Banyak studi dan review menunjukkan PCR (termasuk real-time PCR) sebagai metode primer untuk

deteksi species dalam konteks halal (Ahamed,Z, 2024). Ada juga metode protein / imunologi (ELISA, immunoassays) dengan prinsip deteksi protein/antigen spesifik hewan menggunakan antibody, memiliki kelebihan cepat, cocok untuk screening pada industry, namun nmiliki keterbatasan protein rusak oleh pemrosesan tinggi; cross-reactivity mungkin terjadi. Beberapa studi membandingkan ELISA vs PCR dan merekomendasikan penggunaan komplementer tergantung tipe sampel (Aprilia,dkk, 2022). Metode *Spektroskopi* & teknik non-targeted (FTIR, NIR, NMR) memiliki prinsip merekam “*fingerprint*” spektral komponen kimia dan menggunakan chemometrics untuk klasifikasi, memiliki kelebihan non-destruktif, cepat, sering tanpa persiapan kompleks, namun memiliki keterbatasan yaitu memerlukan basis data referensi dan pemodelan statistik/ML yang baik; kurang sensitif untuk mendeteksi kontaminasi minor (Nurani,dkk, 2022).

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini termasuk dalam jenis penelitian eksperimental yang dilaksanakan di laboratorium dengan tujuan untuk mengklasifikasikan aroma daging sapi dan daging babi murni berdasarkan profil senyawa volatil yang teridentifikasi menggunakan instrumen *Gas Chromatography–Mass Spectrometry* (GC-MS). Data berupa kromatogram dan spektrum massa yang diperoleh selanjutnya dianalisis secara statistik menggunakan metode Principal Component Analysis (PCA) guna mengidentifikasi dan mengungkap perbedaan karakteristik aroma antar sampel secara objektif dan komprehensif.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan mulai bulan Januari 2026. Kegiatan penelitian dilakukan di Laboratorium Riset Atom Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang, serta di Laboratorium Mineral, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA), Universitas Negeri Malang.

3.3 Alat dan Bahan

3.3.1 Alat Penelitian

1. *Gas Chromatography–Mass Spectrometry* (GC-MS)
2. Oven
3. Tabung *Soxhlet*
4. Heating Mantel
5. Kondensor

6. Beaker Glass 100 ml
7. Aluminium foil
8. Pisau dan Talenan Steril
9. Sarung tangan Steril
10. Kertas Saring Halus
11. Gunting
12. Blender
13. Wadah Sampel
14. Tabung Ukur
15. Pipet Ukur
16. Pipetor
17. Komputer dengan Software Origin pro dan Excel

3.3.2 Bahan Penelitian

1. Daging Sapi
2. Daging Babi
3. Pelarut n- Heksana
4. HCL
5. NaOH
6. Ethanol
7. Aquadest
8. Es Batu

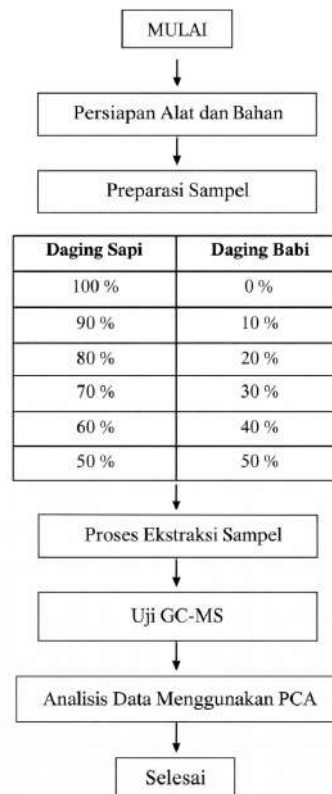
3.4 Variabel Penelitian

Variabel penelitian dalam studi ini meliputi variabel bebas, variabel terikat, dan variabel kontrol. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah jenis daging yang

digunakan, yaitu daging sapi murni dan daging babi murni, yang berperan sebagai faktor utama dalam memengaruhi perbedaan profil senyawa volatil yang dihasilkan. Variabel terikat adalah profil senyawa volatil yang terdeteksi melalui analisis menggunakan *Gas Chromatography–Mass Spectrometry* (GC-MS), yang dinyatakan dalam bentuk puncak kromatogram beserta luas area masing-masing senyawa. Data tersebut selanjutnya digunakan untuk menentukan karakteristik aroma khas dari setiap jenis daging melalui analisis statistik menggunakan metode *Principal Component Analysis* (PCA).

Variabel kontrol dalam penelitian ini mencakup sejumlah parameter yang dijaga tetap konstan untuk menjamin validitas dan keterbandingan hasil analisis. Parameter tersebut meliputi berat sampel daging, volume pelarut pada proses ekstraksi, suhu dan waktu pemanasan selama preparasi sampel, kondisi operasional GC-MS (termasuk suhu oven, suhu injektor, dan laju aliran gas pembawa), serta volume injeksi sampel ke dalam instrumen GC-MS. Pengendalian terhadap variabel-variabel tersebut bertujuan untuk meminimalkan kesalahan eksperimental dan memastikan bahwa perbedaan hasil analisis yang diperoleh semata-mata disebabkan oleh perbedaan jenis daging yang dianalisis.

3.5 Prosedur Penelitian



Gambar 3. 1 Diagram alir prosedur penelitian

3.6 Prosedur Preparasi Sampel



Gambar 3. 2 Proses 1 Pengeringan Sampel

Sampel yang digunakan dalam penelitian ini berupa campuran daging sapi dan daging babi dengan variasi komposisi yang berbeda-beda. Campuran tersebut

terdiri dari lima variasi perbandingan komposisi antara daging sapi dan daging babi sebagai berikut:

Sampel 1 : 100% daging sapi : 0% daging babi

Sampel 2 : 90% daging sapi : 10% daging babi

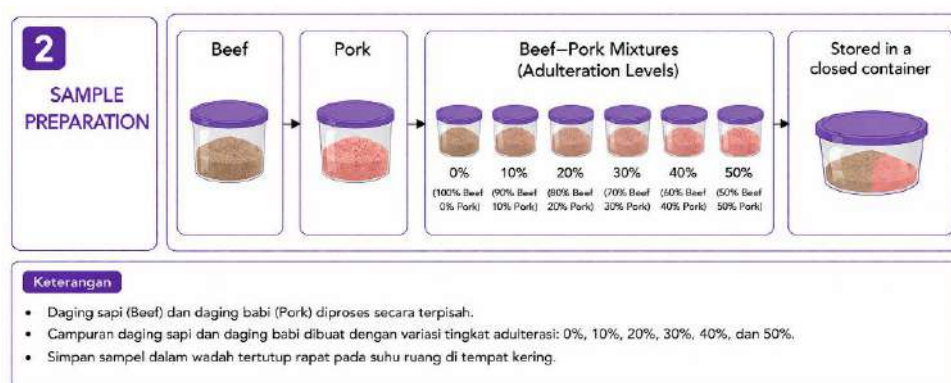
Sampel 3 : 80% daging sapi : 20% daging babi

Sampel 4 : 70% daging sapi : 30% daging babi

Sampel 5 : 60% daging sapi : 40% daging babi

Sampel 6 : 50% daging sapi : 50% daging babi

Sebelum dilakukan pencampuran dan proses ekstraksi, daging sapi dan daging babi segar terlebih dahulu dipreparasi menjadi bentuk serbuk. Tahap awal preparasi dilakukan dengan menimbang masing-masing daging segar dan mencatat berat awalnya sebagai berat awal (W_0). Sampel kemudian dikeringkan menggunakan oven pada suhu rendah, yaitu berkisar antara 40°C , selama 48 jam hingga kadar airnya berkurang secara optimal. Setelah proses pengeringan, sampel dikeluarkan dari oven dan didinginkan selama kurang lebih 15 menit pada kondisi suhu ruang, kemudian dilakukan penimbangan ulang secara berulang hingga diperoleh berat konstan (dengan selisih penimbangan kurang dari 0,01 gram).



Gambar 3.3 Proses 2 Pencampuran Sampel

Sampel kering selanjutnya didinginkan pada suhu ruang dan digiling

hingga diperoleh serbuk halus yang homogen. Serbuk daging yang dihasilkan kemudian disimpan dalam wadah tertutup untuk mencegah kontaminasi dan degradasi senyawa volatil, serta diberi label sesuai dengan variasi komposisi masing-masing sampel. Setelah itu, serbuk daging ditimbang kembali sesuai dengan komposisi yang telah ditentukan untuk selanjutnya digunakan pada tahap ekstraksi dan analisis.

3.7 Prosedur Ekstraksi Sampel

Metode ekstraksi yang digunakan pada penelitian ini adalah metode soxhlet yang bertujuan untuk mengekstrak daging sapi dan daging babi menggunakan pelarut n-heksana. Ekstraksi dengan soxhletasi menjadi keunggulan dibandingkan dengan proses lainnya, karena efisiensi, rendemen yang lebih tinggi, penggunaan pelarut yang lebih hemat, serta kemudahan proses otomatisasi dengan hasil yang konsisten.

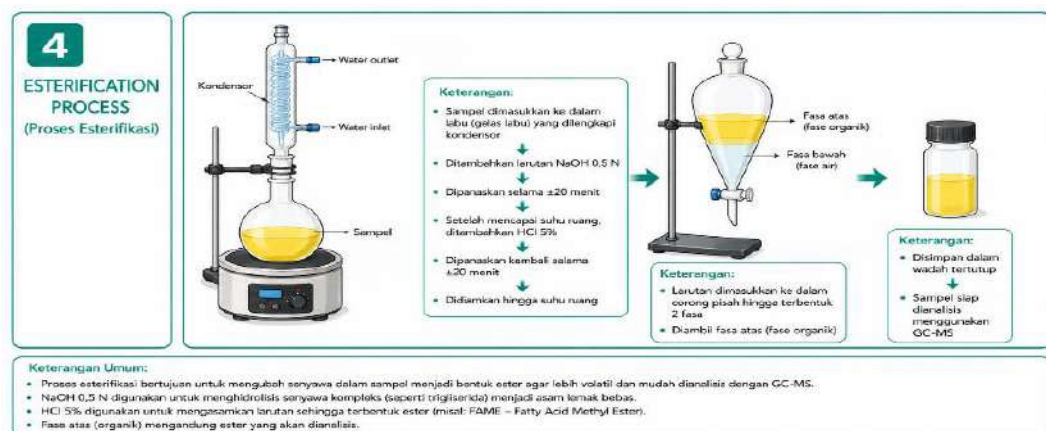


Gambar 3.4 Proses 3 Ekstraksi menggunakan *soxhlet*

Ekstraksi sampel daging sapi dan daging babi diawali dengan ditimbang dan dicampur sesuai dengan prosentase yang ditentukan yaitu dengan campuran daging sapi dan daging babi. Fungsi penimbangan untuk mengetahui berat sampel secara akurat, Kemudian dimasukkan kedalam kertas saring yang telah dibentuk tabung

dan dimasukkan kedalam tabung soxhlate yang telah dirangkai. Selanjutnya, diekstraksi dengan 200 mL pelarut n-heksana. Pemilihan pelarut n-heksana ini disebabkan titik didihnya yang relatif rendah dan mudah menguap yang merupakan syarat pelarut untuk mengekstrak bahan alam menggunakan metode soxhlet. Selain itu, n-heksana bersifat non-polar yang akan mempermudah proses pelarutan senyawa asam lemak yang terkandung dalam daging sapi dan daging babi. Proses ekstraksi dilakukan sebanyak 7 siklus selama proses ekstraksi, ekstrak yang turun ke labu alas bulat akan mengalami pemanasan kembali sehingga pelarut n-heksana akan menguap dan mengembun ke dalam tabung ekstraktor. Sehingga dihasilkan ekstrak cair minyak daging yang berwarna kuning.

Setelah itu, dipekatkan menggunakan hotplate yang bertujuan untuk memekatkan larutan yang terdiri dari zat terlarut yang tidak mudah menguap dan pelarut yang mudah menguap. Fungsi dipekatkan untuk memisahkan bahan dengan pelarut setelah proses ekstraksi sehingga dapat menghasilkan ekstrak pekat dengan kemurnian yang lebih tinggi.



Gambar 3.5 Proses 4 Esterifikasi

Setelah sampel diekstraksi hasil ekstraksi perlu diesterifikasi, esterifikasi merupakan reaksi kimia yang mengubah bentuk lemak/asam lemak menjadi metil

ester agar mudah diuapkan, lebih stabil, dan bisa dibaca oleh alat GC-MS. Proses esterifikasi diawali dengan, sampel ekstrak lemak ditimbang seberat 20gram dimasukkan kedalam labu alas bulat leher dua yang dirangkai dengan penanginan air dan kondensor. Selanjutnya, ditambahkan 1mL metanol yang mengandung NaOH 0.5N dipanaskan dengan suhu 40-60 C selama 20 menit. Pemberian NaOH 0.5N ini bertujuan untuk memecah ikatan ester pada trigliserida (asam lemak) dan menghasilkan asam lemak bebas dalam bentuk garam (sabun). Kemudian, didinginkan hingga suhu ruang lalu ditambahkan 2mL HCL 5% dalam metanol dan dipanaskan lagi selama 20 menit lalu didinginkan hingga suhu ruang. Pemberian HCL 5% bertujuan untuk menetralkan basa (NaOH) yang tersisa dan mengubah garam asam lemak menjadi asam lemak bebas kembali.

Setelah itu, ekstrak yang sudah diberi NaOH 0.5N dan HCL 5% dituang kedalam corong pisah lalu ditambah dengan 5mL n-Heksana dan 5mL NaCL jenuh lalu dikocok hingga tercampur dan membentuk 2 lapisan. Kemudian dipisahkan dari lapisan bawah (fasa air) dan diambil lapisan atas (fasa organik). Fasa air adalah lapisan larutan yang bersifat polar biasanya mengandung senyawa larut air misalnya, metanol, etanol, asam, basa dan fasa organik adalah lapisan larutan yang bersifat non-polar (tidak larut dean air) mengandung senyawa larut lemak/minyak.

3.8 Pengolahan Data Tabel Pengukuran GC-MS

Analisis data dalam penelitian ini dilakukan menggunakan metode Principal Component Analysis (PCA). Data yang dianalisis diperoleh dari hasil pengujian Gas Chromatography–Mass Spectrometry (GC-MS) terhadap sampel daging sapi dan daging babi murni. Hasil pengujian GC-MS berupa kromatogram yang menampilkan waktu retensi dan intensitas puncak senyawa volatil yang terdeteksi

pada masing-masing sampel, di mana setiap puncak kromatogram merepresentasikan senyawa kimia penyusun aroma daging.

Data hasil GC-MS selanjutnya diolah dalam bentuk matriks numerik yang terdiri atas nilai waktu retensi (retention time) dan luas area puncak (peak area) sebagai variabel masukan dalam analisis PCA. Proses analisis PCA dilakukan menggunakan perangkat lunak OriginPro 2024b dengan tujuan mereduksi dimensi data yang kompleks menjadi sejumlah komponen utama (principal components) yang memiliki kontribusi terbesar dalam menjelaskan variasi dan perbedaan karakteristik aroma antar sampel.

Metode PCA bekerja dengan mentransformasikan variabel asli yang saling berkorelasi menjadi sekumpulan variabel baru yang bersifat tidak saling berkorelasi, sehingga pola hubungan dan struktur data dapat diidentifikasi dengan lebih jelas. Hasil analisis PCA disajikan dalam bentuk score plot dan loading plot yang menggambarkan kedekatan maupun pemisahan antar sampel berdasarkan komposisi senyawa volatil yang terdeteksi.

3.9 Tabel Pengukuran GC-MS

Tabel 3.1 Data Hasil GC-MS Sampel 1

Real Time (menit)	Area (%)	Senyawa Volatil	Keterangan

Tabel 3.2 Data Hasil GC-MS Sampel 2

Real Time (menit)	Area (%)	Senyawa Volatil	Keterangan

Tabel 3.3 Data Hasil GC-MS Sampel 3

Real Time (menit)	Area (%)	Senyawa Volatil	Keterangan

Tabel 3.4 Data Hasil GC-MS Sampel 4

Real Time (menit)	Area (%)	Senyawa Volatil	Keterangan

Tabel 3.5 Data Hasil GC-MS Sampel 5

Real Time (menit)	Area (%)	Senyawa Volatil	Keterangan

Tabel 3.6 Data Hasil GC-MS Sampel 6

Real Time (menit)	Area (%)	Senyawa Volatil	Keterangan

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Prosedur Pengujian Sampel

4.1.1 Preparasi sampel

Sampel yang dianalisis dalam penelitian ini merupakan campuran daging sapi dan daging babi dengan variasi komposisi tertentu. Variasi komposisi sampel disusun untuk merepresentasikan perbedaan proporsi daging sapi dan daging babi dalam campuran, yang terdiri atas enam perbandingan sebagai berikut: Sampel 1 (100% daging sapi : 0% daging babi), Sampel 2 (90% daging sapi : 10% daging babi), Sampel 3 (80% daging sapi : 20% daging babi), Sampel 4 (70% daging sapi : 30% daging babi), Sampel 5 (60% daging sapi : 40% daging babi), dan Sampel 6 (50% daging sapi : 50% daging babi).

Sebelum dilakukan proses pencampuran dan ekstraksi, daging sapi dan daging babi segar terlebih dahulu dipreparasi hingga berbentuk serbuk. Tahap awal preparasi dilakukan dengan menimbang masing-masing sampel daging segar dan mencatat massanya sebagai berat awal (W_0). Selanjutnya, sampel dikeringkan menggunakan oven pada suhu rendah, yaitu berkisar antara 40–50 °C selama 24–48 jam, dengan tujuan untuk mengurangi kadar air tanpa menyebabkan degradasi senyawa volatil yang berperan dalam pembentukan profil aroma. Setelah proses pengeringan, sampel dikeluarkan dari oven dan didinginkan pada suhu ruang selama kurang lebih 15 menit, kemudian dilakukan penimbangan ulang hingga diperoleh berat kering konstan (W_1), yang ditandai dengan selisih hasil penimbangan berturut-turut kurang dari 0,01 gram.



Gambar 4.1 Sampel sebelum di oven



Gambar 4.2 Proses Peng-oven an Sampel



Gambar 4.3 Kondisi Sampel Setelah di Oven



Gambar 4.4 Proses Penghalusan Sampel



Gambar 4.5 Sampel Setelah menjadi Serbuk

Sampel kering selanjutnya digiling hingga diperoleh serbuk halus dan homogen. Proses penggilingan bertujuan untuk memperbesar luas permukaan sampel sehingga interaksi antara matriks daging dan pelarut ekstraksi dapat berlangsung lebih efektif. Serbuk daging yang dihasilkan kemudian disimpan dalam wadah tertutup untuk mencegah terjadinya kontaminasi serta degradasi senyawa volatil, dan diberi label sesuai dengan variasi komposisi masing-masing sampel. Selanjutnya, serbuk daging ditimbang kembali sesuai dengan komposisi yang telah ditentukan untuk digunakan pada tahap ekstraksi dan analisis lebih lanjut.

4.1.2 Proses Ekstraksi Sampel

Sampel yang telah melalui proses pengeringan dan penghalusan hingga berbentuk serbuk pada tahap sebelumnya selanjutnya ditimbang sesuai dengan komposisi yang telah ditetapkan. Penimbangan dilakukan menggunakan neraca analitik dengan mass sebesar 20 gram untuk setiap satu kali proses ekstraksi. Penetapan massa yang sama pada setiap perlakuan bertujuan untuk menjaga konsistensi dan meminimalkan variasi hasil yang disebabkan oleh perbedaan jumlah sampel.

Variasi komposisi sampel disusun dalam enam perlakuan dengan perbandingan bertahap antara daging sapi dan daging babi. Komposisi tersebut

meliputi: (1) 20 gram daging sapi (0% daging babi) sebagai sampel kontrol; (2) 18 gram daging sapi dan 2 gram daging babi; (3) 16 gram daging sapi dan 4 gram daging babi; (4) 14 gram daging sapi dan 6 gram daging babi; (5) 12 gram daging sapi dan 8 gram daging babi; serta (6) 10 gram daging sapi dan 10 gram daging babi. Variasi komposisi ini digunakan untuk merepresentasikan peningkatan proporsi daging babi secara bertahap dalam campuran daging sapi.

Sampel	Daging Sapi	+	Daging Babi
1.		+	-
2.		+	
3.		+	

4.		+	
5.		+	
6.		+	

Gambar 4.6 Proses penimbangan dan pembagian sampel berdasarkan variasi massa masing-masing perlakuan

Kemudian dimasukkan kedalam kertas saring yang telah dibentuk tabung dan dimasukkan kedalam tabung soxhlate yang telah dirangkai. Selanjutnya, diekstraksi dengan 260 mL pelarut n-heksana. Proses ekstraksi dilakukan sebanyak 7 siklus selama proses ekstraksi, ekstrak yang turun ke labu alas bulat akan mengalami pemanasan kembali sehingga pelarut n-heksana akan menguap dan mengembun ke dalam tabung ekstraktor. Sehingga dihasilkan ekstrak cair minyak daging yang berwarna kuning.



Gambar 4.7 Tabung Kertas Saring Tempat Sampel



Gambar 4.8 Proses Ekstraksi Soxhlet

Setelah itu, Setelah proses ekstraksi menggunakan metode Soxhlet selesai dilakukan, tahap berikutnya adalah penghilangan pelarut dari ekstrak lemak yang diperoleh. Tahap ini merupakan bagian penting dalam prosedur ekstraksi karena pelarut yang masih tersisa dapat memengaruhi massa rendemen, kestabilan sampel, serta proses analisis lanjutan. Secara umum, penghilangan pelarut pada ekstrak hasil Soxhlet dilakukan menggunakan alat rotary evaporator, yang bekerja berdasarkan prinsip penguapan pelarut pada tekanan rendah sehingga proses berlangsung lebih cepat dan efisien.

Namun, pada penelitian ini ekstrak yang diperoleh berasal dari sampel yang mengandung daging babi, sehingga penggunaan fasilitas rotary evaporator di laboratorium kimia tidak diperkenankan. Oleh karena itu, proses

penghilangan pelarut dilakukan menggunakan metode evaporasi alami. Metode ini dilakukan dengan cara mendiamkan ekstrak pada wadah tertutup sebagian pada suhu ruang dalam kondisi aman dan terlindung dari kontaminasi. Proses pendiaman dilakukan selama kurang lebih lima hari hingga pelarut n-heksana menguap secara bertahap dan diperoleh ekstrak lemak yang lebih pekat mendekati kondisi bebas pelarut. Pendekatan ini dipilih sebagai alternatif yang aman dan tetap memungkinkan diperolehnya ekstrak lemak untuk tahap analisis selanjutnya.



Gambar 4.9 Proses Evaporasi

Setelah sampel diekstraksi hasil ekstraksi perlu diesterifikasi, esterifikasi merupakan reaksi kimia yang mengubah bentuk lemak/asam lemak menjadi metil ester agar mudah diuapkan, lebih stabil, dan bisa dibaca oleh alat GC-MS. Proses esterifikasi diawali dengan, sampel ekstrak lemak sebanyak 3 ml dimasukkan kedalam labu alas bulat leher dua yang dirangkai dengan penanginan air dan kondensor. Selanjutnya, ditambahkan 1mL metanol yang mengandung NaOH 0.5N dipanaskan dengan suhu 40-60 C selama 20 menit. Pemberian NaOH 0.5N ini bertujuan untuk memecah ikatan ester pada trigliserida (asam lemak) dan menghasilkan asam lemak bebas dalam bentuk garam (sabun). Kemudian, didinginkan hingga suhu ruang lalu ditambahkan 2mL HCL 5% dalam metanol dan dipanaskan lagi selama 20 menit lalu

didinginkan hingga suhu ruang. Pemberian HCL 5% bertujuan untuk menetralkan basa (NaOH) yang tersisa dan mengubah garam asam lemak menjadi asam lemak bebas kembali.



Gambar 4.10 Proses Esterifikasi

Setelah itu, ekstrak yang sudah diberi NaOH 0.5N dan HCL 5% dituang ke dalam corong pisah lalu ditambah dengan 5mL n-Heksana lalu dikocok hingga tercampur dan membentuk 2 lapisan. Kemudian dipisahkan dari lapisan bawah (fasa air) dan diambil lapisan atas (fasa organik). Fasa air adalah lapisan larutan yang bersifat polar biasanya mengandung senyawa larut air misalnya, metanol, etanol, asam, basa dan fasa organik adalah lapisan larutan yang bersifat non-polar (tidak larut dengan air) mengandung senyawa larut lemak/minyak.



Gambar 4.11 Proses Pembentukan 2 fasa



Gambar 4.12 Hasil Akhir setelah esterifikasi dan sampel siap uji GC-MS

4.1.3 Pengujian GC-MS

Sampel yang sudah siap uji kemudian diuji menggunakan uji GC-MS. GC-MS sendiri merupakan alat yang menggunakan dua metode yaitu, kromatography gas spektrometri massa, untuk memisahkan dan mengidentifikasi senyawa kimia dalam suatu sampel (Komal Pramot et al, 2021). Prinsip kerja GC-MS adalah memisahkan senyawa dalam campuran menggunakan kromatografi gas (GC). kemudian mengidentifikasi dan mendeteksinya dengan spektrometri massa (MS). Pada tahap awal, sampel diuapkan dan dibawa oleh gas pembawa melewati kolom kromatografi, sehingga komponen terpisah berdasarkan perbedaan volatilitas dan interaksi dengan fase diam. Senyawa yang terelusi kemudian diionisasi dalam spektrometer massa, dipisahkan berdasarkan rasio massa terhadap muatan (m/z), dan menghasilkan spektrum massa dengan pola fragmentasi khas yang dapat dibandingkan dengan pustaka referensi untuk tujuan identifikasi.

Analisis menggunakan GC-MS dilakukan untuk mengidentifikasi profil senyawa volatil yang terdapat pada daging sapi dan daging babi murni dengan beberapa campuran yang berbeda. Penelitian ini menggunakan sampel campuran daging sapi dan daging babi murni terdiri atas 6 sampel yaitu, Sampel 1 (100%

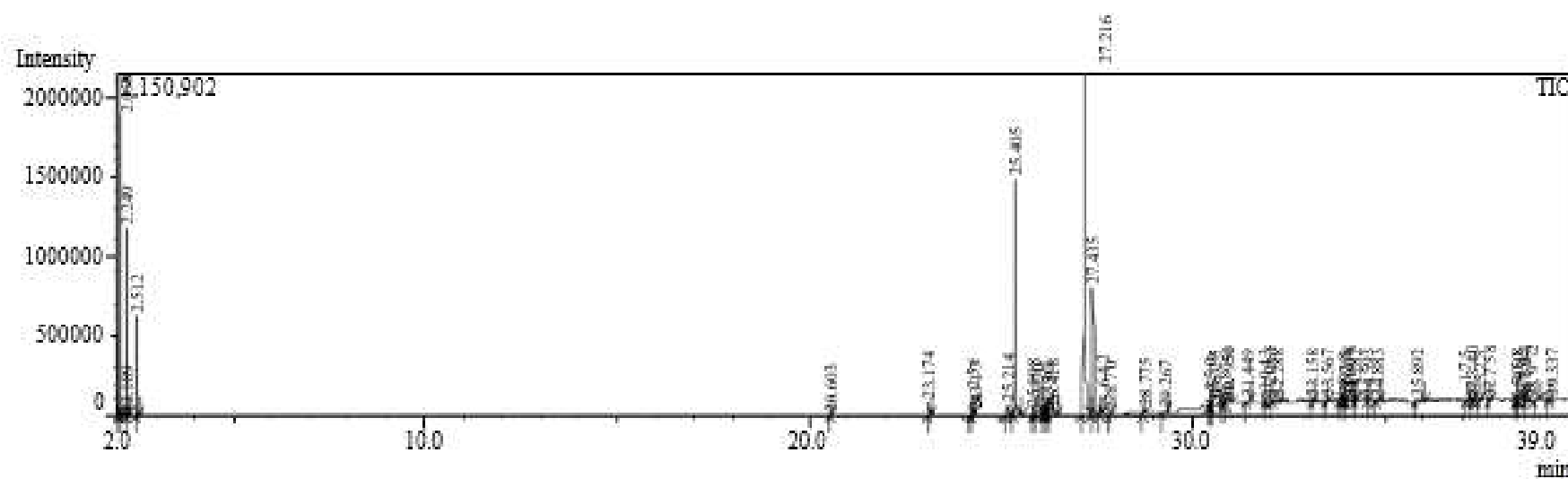
daging sapi : 0% daging babi), Sampel 2 (90% daging sapi : 10% daging babi), Sampel 3 (80% daging sapi : 20% daging babi), Sampel 4 (70% daging sapi : 30% daging babi), Sampel 5 (60% daging sapi : 40% daging babi), dan Sampel 6 (50% daging sapi : 50% daging babi).

4.2 Data Hasil GC-MS

Hasil kromatogram menunjukkan bahwa setiap sampel memiliki pola puncak (retention time) dan intensitas area yang berbeda-beda, mencerminkan variasi komposisi senyawa volatil yang khas dari masing-masing bahan dasar dan proses pengolahannya.

4.2.1 Hasil GC-MS Sampel 1

Chromatogram GC 16 C:\GC-MS\GCMS 2026\GCMS 06 APRIL 2026\GC 16 PROC.qgd



Gambar 4.13 Kromotografi Hasil Uji GC-MS Sampel 1 (100% daging sapi)

Kromatogram GC-16 menampilkan hubungan antara waktu retensi (menit) pada sumbu horizontal dan intensitas sinyal detector (abundance/intensity) pada sumbu vertikal. Hubungan ini menggambarkan distribusi senyawa volatil dan semi-volatil hasil derivatisasi asam lemak dalam sampel daging sapi. Secara umum, pola kromatogram menunjukkan dua wilayah utama, yaitu: peak awal pada RT 2–3 menit dan peak utama pada RT 23–27 menit. Distribusi ini menunjukkan pemisahan senyawa berdasarkan volatilitas dan interaksi dengan fase diam kolom GC.

Setiap peak yang muncul pada kromatogram GC-16 merepresentasikan senyawa volatil atau semi-volatil yang keluar dari kolom pada waktu retensi (RT) tertentu. Peak dengan RT lebih pendek menunjukkan senyawa yang lebih volatil, sedangkan RT yang lebih panjang menunjukkan senyawa asam lemak rantai panjang hasil derivatisasi metil ester. Peak dan senyawa yang terdapat pada sampel satu sebagai berikut:

Tabel 4.1 Tabel Hasil peak dan senyawa pada Sampel 1

Real Time (menit)	Area (%)	Senyawa Volatil	Keterangan
27.216	33.94%	<i>Methyl N-methyl-N-formyldithiocarbamate</i>	berasal dari komponen utama lemak daging
27.435	11.39%	<i>Palmitic Acid methyl ester</i>	Asam lemak jenuh (SFA) utama; merupakan biomarker khas lemak daging sapi
31.449	0.22%	<i>Long chain fatty acid</i>	Asam lemak rantai panjang; berkontribusi pada profil lipid daging dan umumnya berkaitan dengan

			lemak hewani (dominan pada sapi)
--	--	--	-------------------------------------

Berdasarkan tabel hasil analisis GC-MS, teridentifikasi tiga senyawa utama pada rentang waktu retensi 27–31 menit. Puncak dominan muncul pada RT 27,216 menit dengan persentase area sebesar 33,94%, yang diidentifikasi sebagai Methyl N-methyl-N-formyldithiocarbamate. Nilai area yang tinggi menunjukkan bahwa senyawa ini merupakan komponen yang terdeteksi dalam jumlah besar. Namun, secara kimia, senyawa ini bukan komponen utama alami lemak daging, melainkan lebih mungkin berasal dari residu proses, degradasi, atau kontaminasi selama preparasi dan analisis (misalnya dari reagen atau lingkungan).

Selanjutnya, pada RT 27,435 menit terdeteksi Palmitic acid methyl ester dengan area sebesar 11,39%. Senyawa ini merupakan asam lemak jenuh (SFA) yang umum ditemukan dalam lemak hewani, khususnya daging sapi. Keberadaan palmitat dalam jumlah signifikan menunjukkan bahwa sampel memiliki karakteristik lipid yang khas dari daging sapi, karena asam lemak ini merupakan salah satu komponen dominan dalam jaringan adiposa hewan ruminansia.

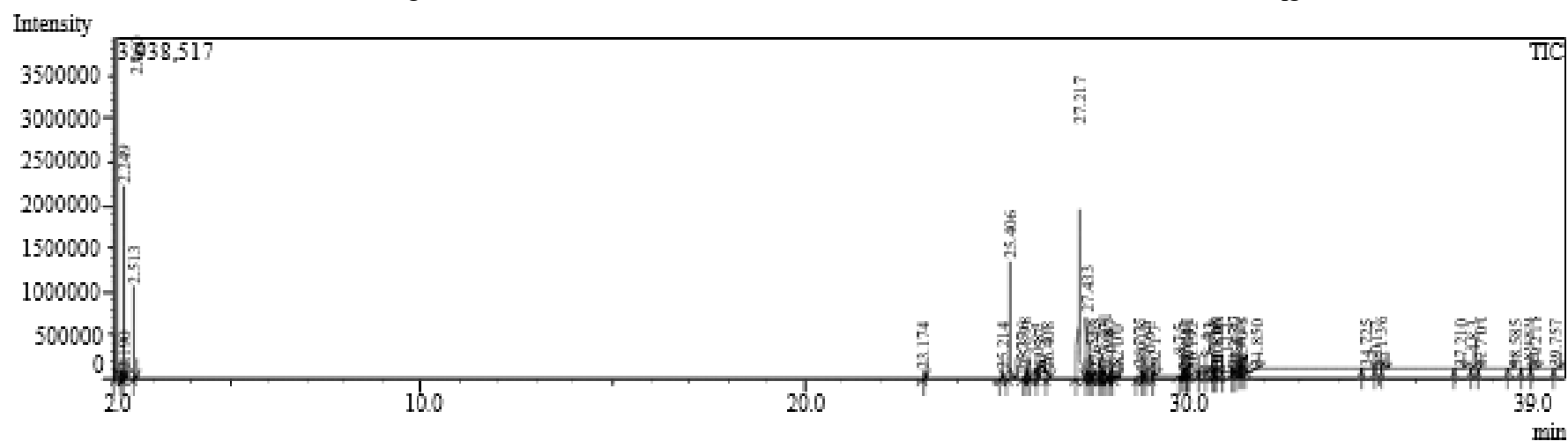
Pada RT 31,449 menit, terdeteksi long chain fatty acid dengan area sebesar 0,22%. Meskipun jumlahnya relatif kecil, senyawa ini tetap berperan dalam membentuk profil lipid keseluruhan. Asam lemak rantai panjang umumnya berasal dari struktur trigliserida dalam lemak hewani dan dapat digunakan sebagai indikator tambahan keberadaan komponen lipid alami.

Hasil penelitian ini sejalan dengan berbagai penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa profil lemak daging sapi didominasi oleh asam lemak

jenuh, terutama palmitic acid (C16:0) dan stearic acid (C18:0). Menurut penelitian oleh Wood et al. (2008) dan Daley et al. (2010), daging sapi memiliki kandungan SFA yang lebih tinggi dibandingkan dengan daging non-ruminansia, sehingga keberadaan palmitic acid methyl ester dalam hasil GC-MS merupakan indikator yang kuat untuk identifikasi daging sapi.

4.2.2 Hasil GC-MS Sampel 2

Chromatogram GC 17 C:\GC-MS\GCMS 2026\GCMS 06 APRIL 2026\GC 17 PROC.qgd



Gambar 4.14 Kromotografi Hasil Uji GC-MS Sampel 2 (90% daging sapi + 10% daging babi)

Kromatogram GC-17 menunjukkan bahwa setiap peak pada waktu retensi tertentu merepresentasikan senyawa volatil, semi-volatil, dan komponen lipid hasil metilasi asam lemak dari campuran daging sapi dan daging babi. Karena komposisi sampel masih didominasi 90% daging sapi, maka peak utama masih menyerupai sapi murni, tetapi sudah mulai muncul marker khas kontribusi lipid babi pada beberapa area tertentu. Peak dan senyawa yang terdapat pada sampel 2 sebagai berikut :

Tabel 4.2 Tabel Hasil peak dan senyawa pada Sampel 2

<i>Real Time (menit)</i>	<i>Area (%)</i>	<i>Senyawa Volatil</i>	<i>Keterangan</i>
27.217	23.01%	<i>Methyl N-methyl-N-formyldithiocarbamate</i>	berasal dari komponen utama lemak daging
27.593	1.01%	<i>Palmitic Acid methyl ester</i>	Asam lemak jenuh (SFA) utama; merupakan biomarker khas lemak daging sapi
30.042	0.06%	<i>Long chain fatty acid</i>	Asam lemak rantai panjang; berkontribusi pada profil lipid daging dan umumnya berkaitan dengan lemak hewani (dominan pada sapi)
28.777	0.48%	<i>Oleic Acid Methyl ester</i>	Asam lemak tak jenuh tunggal (MUFA); umumnya ditemukan pada lemak hewani dan cenderung lebih tinggi pada daging babi
29.093	0.20%	<i>Linoleic acid Derevative</i>	Asam lemak tak jenuh ganda (PUFA); berperan dalam profil lipid dan sering dikaitkan

			dengan lemak non-ruminansia seperti babi
--	--	--	--

Berdasarkan hasil analisis GC-MS pada tabel tersebut, teridentifikasi beberapa senyawa pada rentang waktu retensi 27–30 menit dengan kontribusi area yang berbeda. Puncak dominan muncul pada waktu retensi 27,217 menit dengan persentase area sebesar 23,01% yang diidentifikasi sebagai *Methyl N-methyl-N-formyldithiocarbamate*. Meskipun memiliki nilai area yang paling tinggi, senyawa ini secara kimia bukan merupakan komponen utama alami dari lemak daging, melainkan lebih mungkin merupakan artefak atau kontaminan yang terbentuk selama proses preparasi sampel maupun analisis GC-MS. Selanjutnya, pada waktu retensi 27,593 menit terdeteksi *palmitic acid methyl ester* dengan area sebesar 1,01%, yang merupakan asam lemak jenuh (SFA) dan dikenal sebagai salah satu komponen utama lemak hewani, khususnya pada daging sapi. Keberadaan senyawa ini menunjukkan karakteristik khas lipid daging sapi yang kaya akan asam lemak jenuh. Pada waktu retensi 30,042 menit, teridentifikasi *long chain fatty acid* dengan area sebesar 0,06% yang berperan sebagai bagian dari struktur lipid dan berkontribusi terhadap profil lemak secara keseluruhan, meskipun dalam jumlah yang relatif kecil. Selain itu, ditemukan pula senyawa asam lemak tak jenuh, yaitu *oleic acid methyl ester* pada waktu retensi 28,777 menit dengan area sebesar 0,48% dan *linoleic acid derivative* pada waktu retensi 29,093 menit dengan area sebesar 0,20%. Kedua senyawa ini termasuk dalam kelompok asam lemak tak jenuh tunggal (MUFA) dan tak jenuh ganda (PUFA) yang umumnya terdapat dalam lemak hewani, namun dalam literatur diketahui lebih dominan pada daging babi dibandingkan daging sapi.

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian terdahulu yang menyatakan bahwa profil lipid daging sapi didominasi oleh asam lemak jenuh seperti palmitic acid (C16:0), sedangkan daging babi cenderung memiliki kandungan asam lemak tak jenuh yang lebih tinggi, seperti oleic acid (C18:1) dan linoleic acid (C18:2). Penelitian oleh Wood et al. (2008) dan Daley et al. (2010) menunjukkan bahwa perbedaan komposisi asam lemak ini dapat digunakan sebagai dasar dalam identifikasi dan autentikasi jenis daging. Keberadaan palmitic acid methyl ester dalam hasil penelitian ini memperkuat indikasi karakteristik daging sapi, sementara ditemukannya oleic dan linoleic acid menunjukkan adanya kontribusi asam lemak tak jenuh yang dapat mengindikasikan campuran atau variasi komposisi lipid. Selain itu, menurut Mottram (1998), senyawa yang terdeteksi dalam analisis GC-MS tidak sepenuhnya berasal dari komponen asli bahan, tetapi juga dapat terbentuk akibat proses oksidasi, pemanasan, maupun interaksi selama preparasi dan analisis. Hal ini mendukung temuan adanya senyawa seperti *Methyl N-methyl-N-formyldithiocarbamate* yang diduga merupakan artefak. Dengan demikian, hasil penelitian ini konsisten dengan literatur sebelumnya dan menunjukkan bahwa analisis GC-MS efektif dalam mengidentifikasi profil senyawa lipid serta membedakan karakteristik antara daging sapi dan daging babi.

Gambar 4.15 Kromotografi Hasil Uji GC-MS Sampel 3 (80% daging sapi + 20% daging babi)

Kromatogram GC-18 menunjukkan pemisahan senyawa volatil dan semi-volatil hasil derivatisasi asam lemak dari campuran daging sapi dan babi. Peak utama masih didominasi komponen sapi, namun peningkatan proporsi babi menjadi 20% menyebabkan bertambahnya peak marker khas pork pada area RT menengah hingga akhir.

Tabel 4.3 Hasil peak dan senyawa pada Sampel 3

Real Time (menit)	Area (%)	Senyawa Volatil	Keterangan
27.218	28.41%	<i>Methyl N-methyl-N-formyldithiocarbamate</i>	berasal dari komponen utama lemak daging
27.602	4.75%	<i>Palmitic Acid methyl ester</i>	Asam lemak jenuh (SFA) utama; merupakan biomarker khas lemak daging sapi
30.092	0.06%	<i>Long chain fatty acid</i>	Asam lemak rantai panjang; berkontribusi pada profil lipid daging dan umumnya berkaitan dengan lemak hewani (dominan pada sapi)
28.776	0.75%	<i>Oleic Acid Methyl ester</i>	Asam lemak tak jenuh tunggal (MUFA); umumnya ditemukan pada lemak hewani dan cenderung lebih tinggi pada daging babi
29.087	0.28%	<i>Linoleic acid Derivative</i>	Asam lemak tak jenuh ganda (PUFA); berperan dalam profil lipid dan sering dikaitkan dengan lemak non-ruminansia seperti babi

30.634	0.17%	<i>Lineloic acid methyl ester</i>	Asam lemak tak jenuh ganda (PUFA); indikator lipid tak jenuh, cenderung lebih tinggi pada daging babi.
--------	-------	-----------------------------------	--

Berdasarkan tabel hasil GC-MS, puncak dominan terdapat pada RT 27,218 menit dengan area 28,41% yang diidentifikasi sebagai *Methyl N-methyl-N-formyldithiocarbamate*. Meskipun nilainya tinggi, senyawa ini lebih tepat dianggap sebagai artefak atau kontaminan dari proses analisis, bukan komponen utama lemak daging. Senyawa yang relevan secara biologis adalah *palmitic acid methyl ester* (RT 27,602; 4,75%) yang merupakan asam lemak jenuh (SFA) dan menjadi indikator khas lemak daging sapi. Selain itu, *long chain fatty acid* (RT 30,092; 0,06%) turut menyusun profil lipid daging. Kehadiran *oleic acid methyl ester* (RT 28,776; 0,75%) serta *linoleic acid derivative* (RT 29,087; 0,28%) dan *linoleic acid methyl ester* (RT 30,634; 0,17%) menunjukkan adanya asam lemak tak jenuh (MUFA dan PUFA) yang umumnya lebih tinggi pada daging babi.

Hasil ini sejalan dengan penelitian terdahulu yang menyatakan bahwa daging sapi didominasi oleh asam lemak jenuh seperti palmitat, sedangkan daging babi lebih kaya akan asam lemak tak jenuh seperti oleat dan linoleat (Wood et al., 2008; Daley et al., 2010). Dengan demikian, kombinasi senyawa yang terdeteksi menunjukkan profil lipid yang dapat digunakan untuk membedakan karakteristik daging sapi dan babi, serta menegaskan bahwa analisis GC-MS efektif dalam studi autentikasi daging.

4.2.4 Hasil GC-MS Sampel 4

Kromatogram GC-19 menunjukkan distribusi senyawa volatil dan semi-volatil hasil derivatisasi asam lemak yang lebih kompleks dibanding GC-18. Peningkatan proporsi daging babi menjadi 30% menyebabkan munculnya lebih banyak peak minor dan variasi ester asam lemak rantai panjang.

Tabel 4.4 Tabel Hasil peak dan senyawa pada Sampel 4

Real Time (menit)	Area (%)	Senyawa Volatil	Keterangan
27.203	13.86%	<i>Methyl N-methyl-N-formyldithiocarbamate</i>	berasal dari komponen utama lemak daging
27.578	1.59%	<i>Palmitic Acid methyl ester</i>	Asam lemak jenuh (SFA) utama; merupakan biomarker khas lemak daging sapi
30.058	0.18%	<i>Long chain fatty acid</i>	Asam lemak rantai panjang; berkontribusi pada profil lipid daging dan umumnya berkaitan dengan lemak hewani (dominan pada sapi)
30.655	0.94%	<i>Oleic Acid Methyl ester</i>	Asam lemak tak jenuh tunggal (MUFA); umumnya ditemukan pada lemak hewani dan cenderung lebih tinggi pada daging babi
30.776	0.57%	<i>Lineloic acid methyl ester</i>	Asam lemak tak jenuh ganda (PUFA); indikator lipid tak jenuh, cenderung lebih tinggi pada daging babi.

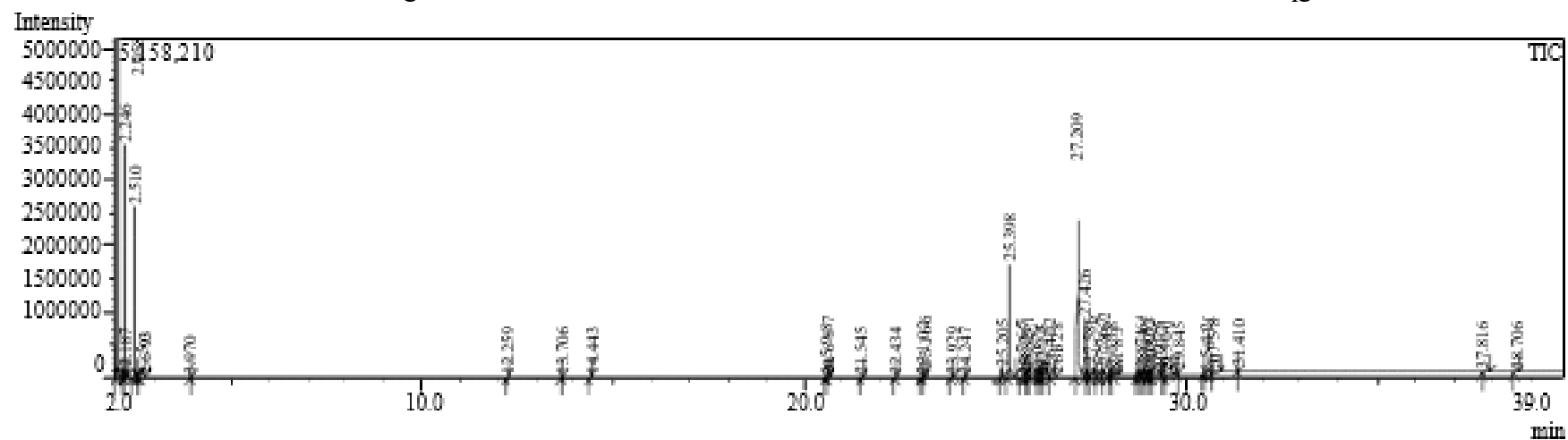
Berdasarkan tabel hasil analisis GC-MS, puncak dominan terdeteksi pada RT 27,203 menit dengan area 13,86% yang diidentifikasi sebagai *Methyl N-*

methyl-N-formyldithiocarbamate. Meskipun memiliki intensitas relatif tinggi, senyawa ini tidak merepresentasikan komponen utama lemak daging, melainkan lebih tepat dikategorikan sebagai artefak atau hasil samping proses analisis. Senyawa yang relevan secara biologis adalah *palmitic acid methyl ester* (RT 27,578; 1,59%) yang merupakan asam lemak jenuh (SFA) dan menjadi indikator khas lemak daging sapi. Selain itu, *long chain fatty acid* (RT 30,058; 0,18%) turut berkontribusi terhadap profil lipid. Keberadaan *oleic acid methyl ester* (RT 30,655; 0,94%) dan *linoleic acid methyl ester* (RT 30,776; 0,57%) menunjukkan adanya asam lemak tak jenuh (MUFA dan PUFA) yang umumnya lebih dominan pada daging babi.

Hasil penelitian ini sejalan dengan studi terdahulu yang menyatakan bahwa lemak daging sapi didominasi oleh asam lemak jenuh seperti palmitat, sedangkan daging babi memiliki kandungan asam lemak tak jenuh yang lebih tinggi, terutama oleat dan linoleat (Wood et al., 2008; Daley et al., 2010). Dengan demikian, profil senyawa yang diperoleh mendukung penggunaan analisis GC-MS sebagai metode yang efektif dalam mengidentifikasi karakteristik lipid serta membedakan jenis daging berdasarkan komposisi asam lemaknya.

4.2.5 Hasil GC-MS Sampel 5

Chromatogram GC 20 C:\GC-MS\GCMS 2026\GCMS 07 APRIL 2026\GC 20 PROC.qgd



Kromatogram GC-20 menunjukkan profil pemisahan senyawa volatil dan semi-volatil yang lebih kompleks dibandingkan GC-19, sejalan dengan peningkatan proporsi daging babi menjadi 40%. Secara umum, pola kromatogram pada sampel ini dapat dibagi menjadi tiga zona utama, yaitu zona volatil awal (RT 2–3 menit), zona asam lemak utama (RT 23–27 menit), dan zona ester rantai panjang kompleks (RT 28–31 menit). Dibandingkan sampel sebelumnya, GC-20 menunjukkan peningkatan jumlah peak minor dan pelebaran zona peak akhir, yang menandakan bahwa fraksi lipid babi semakin memberikan kontribusi besar terhadap fingerprint total.

Tabel 4.5 Tabel Hasil peak dan senyawa pada Sampel 5

<i>Real Time (menit)</i>	<i>Area (%)</i>	<i>Senyawa Volatil</i>	<i>Keterangan</i>
27.586	0.81%	<i>Palmitic Acid methyl ester</i>	Asam lemak jenuh (SFA) utama; merupakan biomarker khas lemak daging sapi
30.542	0.07%	<i>Long chain fatty acid</i>	Asam lemak rantai panjang; berkontribusi pada profil lipid daging dan umumnya berkaitan dengan lemak hewani (dominan pada sapi)
28.769	1.68%	<i>Oleic Acid Methyl ester</i>	Asam lemak tak jenuh tunggal (MUFA); umumnya ditemukan pada lemak hewani dan cenderung lebih tinggi pada daging babi
30.758	1.54%	<i>Linoleic acid methyl ester</i>	Asam lemak tak jenuh ganda (PUFA); indikator lipid tak jenuh,

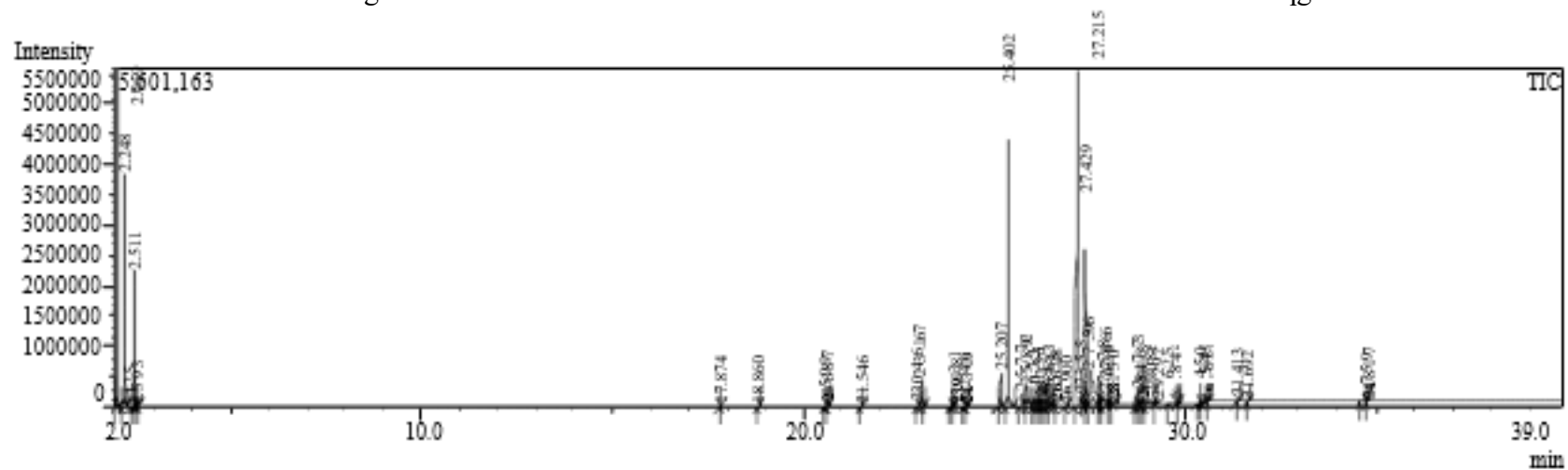
			cenderung lebih tinggi pada daging babi.
29.275	0.08%	<i>Polyunsaturated fatty acid ester</i>	Ester asam lemak tak jenuh ganda (PUFA); indikator lipid tak jenuh dominan ke babi.

Berdasarkan tabel hasil GC-MS, senyawa yang teridentifikasi didominasi oleh komponen asam lemak jenuh dan tak jenuh. *Palmitic acid methyl ester* (RT 27,586; 0,81%) merupakan asam lemak jenuh (SFA) yang menjadi indikator khas lemak daging sapi. Keberadaan *long chain fatty acid* (RT 30,542; 0,07%) turut memperkuat adanya komponen lipid hewani, meskipun dalam jumlah kecil. Di sisi lain, terdeteksi *oleic acid methyl ester* (RT 28,769; 1,68%), *linoleic acid methyl ester* (RT 30,758; 1,54%), serta *polyunsaturated fatty acid ester* (RT 29,275; 0,08%) yang merupakan asam lemak tak jenuh (MUFA dan PUFA). Senyawa-senyawa ini umumnya lebih dominan pada daging babi, sehingga menunjukkan adanya kontribusi lipid tak jenuh dalam sampel.

Hasil ini sejalan dengan penelitian terdahulu yang menyatakan bahwa daging sapi cenderung kaya akan asam lemak jenuh seperti palmitat, sedangkan daging babi memiliki kandungan asam lemak tak jenuh yang lebih tinggi, seperti oleat dan linoleat. Dengan demikian, kombinasi senyawa yang terdeteksi menunjukkan karakteristik campuran antara profil lemak sapi dan babi, serta menegaskan bahwa analisis GC-MS efektif dalam membedakan jenis daging berdasarkan komposisi asam lemaknya.

4.2.6 Hasil GC-MS Sampel 6

Chromatogram GC 21 C:\GC-MS\GCMS 2026\GCMS 07 APRIL 2026\GC 21 PROC.qgd



Gambar 4.18 Kromotografi Hasil Uji GC-MS Sampel 6 (50% daging sapi + 50% daging babi)

Kromatogram GC-21 menunjukkan profil pemisahan senyawa volatil dan semi-volatil yang paling kompleks dibandingkan seluruh sampel sebelumnya. Kompleksitas ini sejalan dengan komposisi campuran 50% daging sapi dan 50% daging babi, di mana kedua sumber lipid memberikan kontribusi yang hampir seimbang terhadap fingerprint total. Secara umum, pola kromatogram dapat dibagi menjadi empat zona utama, yaitu: zona volatil awal (RT 2–3 menit) , zona asam lemak utama (RT 23–27 menit) , zona ester kompleks dan isomer (RT 26–31 menit) , dan zona long-chain minor lipid (RT 34–35 menit) Dibandingkan GC-20, sampel ini menunjukkan kepadatan peak yang lebih tinggi dan sebaran waktu retensi yang lebih panjang, yang menandakan kompleksitas lipid campuran berada pada titik maksimum dalam rentang 0–50% pork.

Tabel 4.6 Tabel Hasil peak dan senyawa pada Sampel 6

Real Time (menit)	Area (%)	Senyawa Volatil	Keterangan
27.596	0.52%	<i>Palmitic Acid methyl ester</i>	Asam lemak jenuh (SFA) utama; merupakan biomarker khas lemak daging sapi
30.450	0.08%	<i>Long chain fatty acid</i>	Asam lemak rantai panjang; berkontribusi pada profil lipid daging dan umumnya berkaitan dengan lemak hewani (dominan pada sapi)
28.773	0.91%	<i>Oleic Acid Methyl ester</i>	Asam lemak tak jenuh tunggal (MUFA); umumnya ditemukan pada lemak hewani dan cenderung lebih tinggi pada daging babi

30.632	0.13%	<i>Linoleic acid methyl ester</i>	Asam lemak tak jenuh ganda (PUFA); indikator lipid tak jenuh, cenderung lebih tinggi pada daging babi.
29.292	0.78%	<i>Polyunsaturated fatty acid ester</i>	Ester asam lemak tak jenuh ganda (PUFA); indikator lipid tak jenuh dominan ke babi.

Berdasarkan tabel hasil analisis GC-MS, teridentifikasi senyawa asam lemak jenuh dan tak jenuh dengan proporsi yang berbeda. *Palmitic acid methyl ester* (RT 27,596; 0,52%) merupakan asam lemak jenuh (SFA) yang menjadi indikator khas lemak daging sapi, sedangkan *long chain fatty acid* (RT 30,450; 0,08%) menunjukkan keberadaan komponen lipid hewani. Di sisi lain, terdeteksi *oleic acid methyl ester* (RT 28,773; 0,91%), *linoleic acid methyl ester* (RT 30,632; 0,13%), serta *polyunsaturated fatty acid ester* (RT 29,292; 0,78%) yang termasuk dalam kelompok asam lemak tak jenuh (MUFA dan PUFA) dan cenderung lebih dominan pada daging babi.

Hasil ini menunjukkan adanya kombinasi profil asam lemak jenuh dan tak jenuh, yang mengindikasikan karakteristik campuran antara lemak daging sapi dan babi. Temuan ini sejalan dengan penelitian terdahulu yang menyatakan bahwa daging sapi didominasi oleh asam lemak jenuh seperti palmitat, sedangkan daging babi memiliki kandungan asam lemak tak jenuh yang lebih tinggi seperti oleat dan linoleat, sehingga analisis GC-MS efektif digunakan untuk membedakan komposisi kedua jenis daging tersebut.

4.3 Hasil Pengolahan Data Menggunakan Metode PCA terhadap GC-MS

Analisis Principal Component Analysis (PCA) merupakan salah satu metode statistik multivariat yang umum digunakan untuk mengolah data kompleks seperti hasil Gas Chromatography–Mass Spectrometry (GC-MS). Dalam penelitian ini, PCA diaplikasikan untuk mereduksi dimensi data GC-MS sehingga pola atau perbedaan karakteristik senyawa volatil pada sampel kornet sapi dan kornet babi dapat diinterpretasikan dengan lebih jelas. Proses PCA dilakukan terhadap data puncak kromatogram hasil GC-MS yang telah dikonversi menjadi data numerik (area dan waktu retensi) sebagai variabel input.

Tabel 4. 7 Nilai Area Senyawa Hasil GC-MS Sebagai Data Input PCA

<i>long chain fatty acid ester</i>	0	0	0	33551
<i>Unsaturated fatty acid ester</i>	28.915	0	0	41793
<i>linoleic acid methyl ester</i>	88.877	109194	93315	62769
<i>Linoleic acid derivative</i>	0	51016	157438	
<i>Oleic acid methyl ester</i>	28775	121497	417515	104523
<i>Palmitic Acid</i>	0	186121	962486	97509
<i>Palmitic acid methyl ester</i>	0	257173	2630193	176455
<i>Methyl N-Methyl-N formylthiocarbamate</i>	6243521	5879650	15733628	1533676
Sample	GC1	GC2	GC3	GC4

GC5	7529438	1027838	361564	250083	51319	74143	60477	0
GC6	20688438	3541026	961534	640367	289515	92246	195145	18888

Tabel 4.8 Tabel Nilai Eigen, Presentasi variasi dan komulatif GC-MS

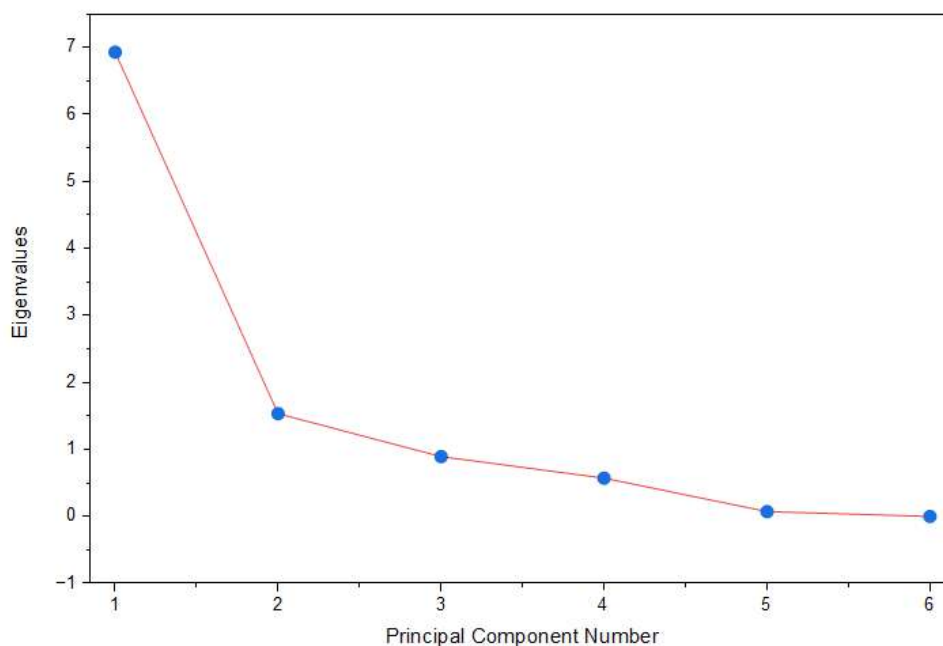
No	<i>Eigenvalue</i>	<i>Percentage of Variance</i>	<i>Cumulative</i>
1.	6.9307	69.31%	69.31%
2.	1.53452	15.35%	84.65%
3.	0.89209	8.92 %	93.57%
4.	0.57048	5.70%	99.28%
5.	0.07221	0.72%	100.00%
6.	0	0.00%	100.00%

Berdasarkan Tabel 4.8, hasil *Principal Component Analysis* (PCA) tersebut menunjukkan bahwa komponen utama pertama (PC1) memiliki nilai eigenvalue sebesar 6,9307 dengan kontribusi varian sebesar 69,31%, sehingga dapat dikatakan sebagai komponen yang paling dominan dalam menjelaskan keragaman data. Komponen kedua (PC2) memiliki eigenvalue sebesar 1,53452 dengan kontribusi tambahan sebesar 15,35%, sehingga secara kumulatif kedua komponen tersebut mampu menjelaskan 84,65% total variasi data. Sementara itu, komponen ketiga (PC3) hanya memberikan tambahan variasi sebesar 8,92% dengan eigenvalue di bawah 1, yang mengindikasikan bahwa kontribusinya relatif lebih kecil dibandingkan dua komponen sebelumnya. Komponen keempat hingga keenam menunjukkan nilai eigenvalue yang sangat rendah, sehingga kontribusinya terhadap total variasi data dapat diabaikan.

Berdasarkan kriteria Kaiser, komponen dengan eigenvalue lebih besar dari satu dianggap signifikan dan layak dipertahankan dalam analisis, sehingga dalam konteks ini hanya dua komponen utama yang memenuhi kriteria tersebut. Selain

itu, proporsi varians kumulatif yang telah melampaui 80% menunjukkan bahwa reduksi dimensi dari enam variabel menjadi dua komponen utama sudah mampu merepresentasikan sebagian besar informasi dalam data secara efisien. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa struktur data yang dianalisis didominasi oleh satu hingga dua faktor utama, dan penggunaan dua komponen utama sudah memadai untuk keperluan interpretasi lebih lanjut (Purba, 2021).

4.3.1 Hasil screen plot GC-MS



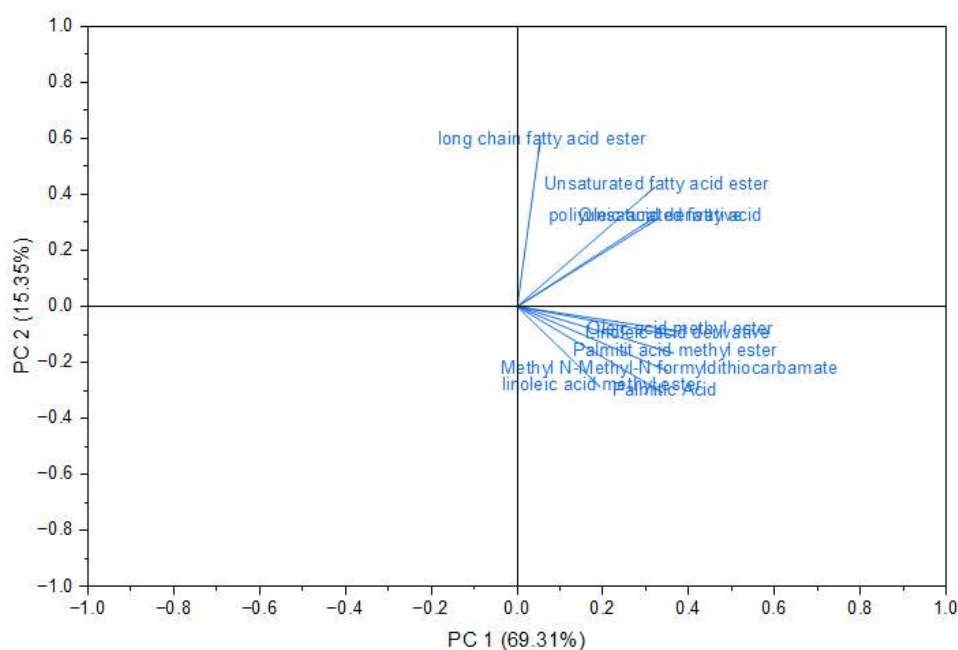
Gambar 4.19 Hasil Screen plot GC-MS

Grafik yang ditampilkan merupakan scree plot yang digunakan dalam analisis Principal Component Analysis (PCA) untuk mengevaluasi jumlah komponen utama yang layak dipertahankan. Berdasarkan grafik tersebut, terlihat bahwa nilai eigenvalue pada komponen pertama sangat tinggi (sekitar 6,9), kemudian mengalami penurunan yang sangat tajam pada komponen kedua (sekitar 1,5). Setelah komponen kedua, penurunan nilai eigenvalue berlangsung secara bertahap dan cenderung landai hingga komponen keenam.

Pola ini menunjukkan adanya titik “elbow” atau titik tekuk yang jelas pada komponen kedua. Dalam interpretasi akademik, titik elbow menandakan batas antara komponen yang signifikan dan komponen yang kurang memberikan kontribusi berarti. Dengan demikian, dua komponen pertama dapat dianggap sebagai komponen yang paling dominan dalam menjelaskan variasi data, sedangkan komponen ketiga hingga keenam hanya memberikan tambahan informasi yang relatif kecil. Selain itu, nilai eigenvalue pada komponen ketiga dan seterusnya berada di bawah atau mendekati 1, yang semakin menguatkan bahwa kontribusinya tidak signifikan.

Oleh karena itu, grafik ini mengindikasikan bahwa reduksi dimensi data secara optimal dapat dilakukan dengan mempertahankan dua komponen utama, karena keduanya sudah mampu merepresentasikan sebagian besar struktur variasi dalam data secara efisien.

4.3.2 Hasil Loading Plot GC-MS



Gambar 4.20 Hasil Loading Plot GC-MS

Gambar yang ditampilkan merupakan biplot PCA (loading plot) yang menggambarkan kontribusi dan hubungan antar variabel terhadap dua komponen utama, yaitu PC1 (69,31%) dan PC2 (15,35%). Secara keseluruhan, kedua komponen ini telah mampu menjelaskan sebagian besar variasi data, sehingga interpretasi terhadap struktur data dapat difokuskan pada bidang dua dimensi ini.

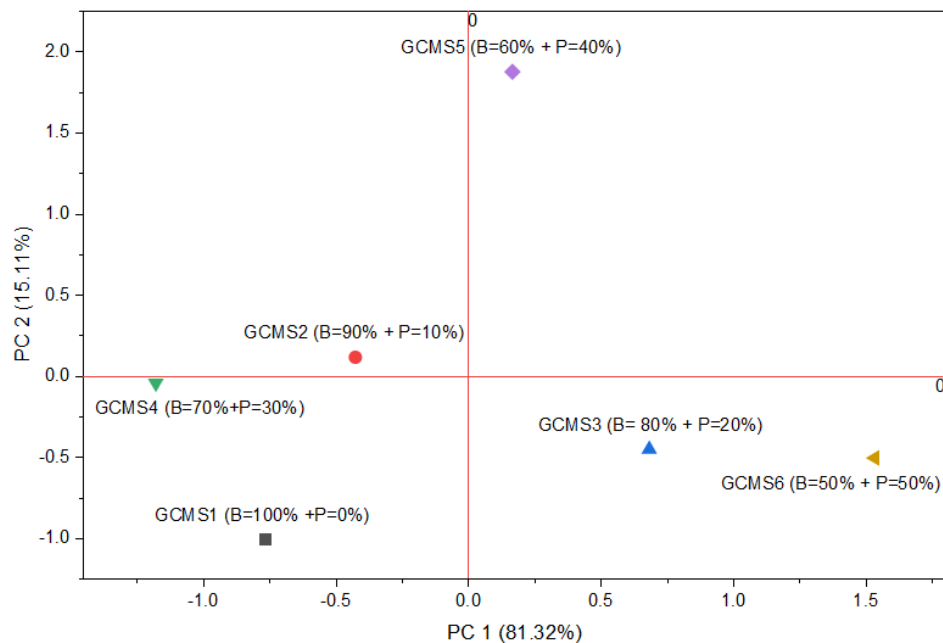
Berdasarkan grafik, setiap panah merepresentasikan suatu variabel, di mana arah panah menunjukkan hubungan (korelasi) dengan komponen utama, sedangkan panjang panah mencerminkan besar kontribusi variabel tersebut terhadap pembentukan komponen. Variabel yang memiliki panah lebih panjang dan menjauh dari titik pusat (origin) menunjukkan kontribusi yang lebih besar dalam menjelaskan variasi data.

Terlihat bahwa sebagian besar variabel mengarah ke sisi positif PC1, yang menunjukkan bahwa komponen utama pertama didominasi oleh variabel-variabel tersebut dan menjadi faktor utama pembentuk variasi data. Beberapa variabel seperti unsaturated fatty acid ester, polyunsaturated fatty acid, dan long chain fatty acid ester memiliki arah yang relatif searah dan membentuk sudut kecil satu sama lain, yang mengindikasikan adanya korelasi positif yang kuat antar variabel tersebut. Artinya, variabel-variabel ini cenderung meningkat secara bersamaan dalam data.

Di sisi lain, terdapat beberapa variabel seperti palmitic acid, methyl ester, dan senyawa lainnya yang cenderung mengarah ke arah bawah (nilai negatif pada PC2). Hal ini menunjukkan bahwa variabel-variabel tersebut memiliki kontribusi yang berbeda terhadap komponen kedua, serta dapat diinterpretasikan

memiliki hubungan yang berlawanan terhadap variabel yang berada di bagian atas grafik (nilai positif PC2).

4.3.3 Hasil Score Plot 2D GC-MS



Gambar 4.21 Hasil Score Plot 2D GC-MS

Gambar yang ditampilkan merupakan score plot Principal Component Analysis (PCA) yang memperlihatkan distribusi dan pengelompokan sampel berdasarkan dua komponen utama, yaitu PC1 (81,32%) dan PC2 (15,11%). Kedua komponen tersebut secara kumulatif mampu menjelaskan 96,43% total variasi data, sehingga plot ini sudah sangat representatif dalam menggambarkan hubungan dan perbedaan antar sampel. Dengan persentase variasi yang tinggi tersebut, interpretasi yang diperoleh dari score plot dapat dianggap cukup akurat untuk menjelaskan karakteristik masing-masing sampel.

Berdasarkan grafik, setiap titik merepresentasikan satu sampel, yaitu GCMS1 hingga GCMS6 dengan variasi komposisi B dan P yang berbeda. Posisi

masing-masing titik terhadap sumbu PC1 dan PC2 menunjukkan karakteristik relatif sampel terhadap variabel-variabel yang dianalisis. Sampel yang berada berdekatan menunjukkan tingkat kemiripan yang tinggi, sedangkan sampel yang terpisah jauh menunjukkan karakteristik yang berbeda secara signifikan.

Terlihat bahwa GCMS6 (B=50% + P=50%) berada paling jauh pada sisi positif PC1. Posisi ini menunjukkan bahwa sampel tersebut memiliki karakteristik yang paling berbeda dibandingkan sampel lainnya, terutama terhadap variabel-variabel yang memberikan kontribusi besar pada komponen utama pertama. Letaknya yang jauh dari kelompok sampel lain mengindikasikan bahwa komposisi seimbang antara B dan P menghasilkan profil karakteristik yang unik.

Sementara itu, GCMS3 (B=80% + P=20%) juga berada pada sisi positif PC1, tetapi terletak pada kuadran kanan bawah dengan nilai PC2 negatif. Posisi ini menunjukkan bahwa GCMS3 memiliki karakteristik yang berbeda dari kelompok sampel yang berada di sisi kiri grafik, meskipun tingkat perbedaannya tidak sebesar GCMS6. Kedekatan posisi GCMS3 dengan GCMS6 mengindikasikan adanya kemiripan karakteristik tertentu yang dipengaruhi oleh variabel yang berkontribusi pada PC1.

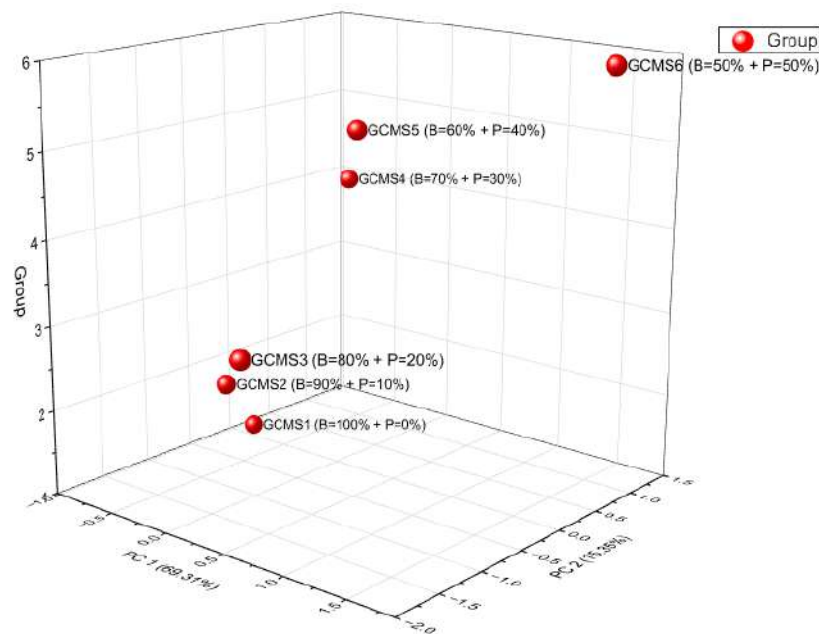
Di sisi lain, GCMS1 (B=100% + P=0%), GCMS2 (B=90% + P=10%), dan GCMS4 (B=70% + P=30%) cenderung berada pada sisi kiri grafik dengan nilai PC1 negatif. Hal ini menunjukkan bahwa ketiga sampel tersebut memiliki karakteristik yang relatif mirip dan membentuk kelompok tersendiri. Namun demikian, terdapat variasi internal dalam kelompok tersebut yang ditunjukkan oleh perbedaan nilai PC2. GCMS2 berada sedikit di atas sumbu horizontal

dengan nilai PC2 positif, sedangkan GCMS1 dan GCMS4 berada pada nilai PC2 negatif. Perbedaan ini mengindikasikan bahwa meskipun memiliki kemiripan umum berdasarkan PC1, masih terdapat faktor lain yang menyebabkan variasi karakteristik di antara ketiga sampel tersebut.

Selain itu, GCMS5 (B=60% + P=40%) menempati posisi yang berbeda dibandingkan sampel lainnya, yaitu berada pada kuadran kanan atas dengan nilai PC2 tertinggi. Posisi ini menunjukkan bahwa GCMS5 memiliki karakteristik yang cukup unik dan dipengaruhi secara kuat oleh variabel-variabel yang berkontribusi pada komponen utama kedua. Letaknya yang terpisah dari kelompok sampel lain mengindikasikan bahwa formulasi dengan komposisi B 60% dan P 40% menghasilkan profil karakteristik yang berbeda dibandingkan formulasi lainnya.

Secara keseluruhan, score plot PCA menunjukkan adanya pemisahan yang cukup jelas antar sampel berdasarkan komposisi B dan P. Sampel dengan kandungan B yang lebih tinggi cenderung berada pada sisi negatif PC1, sedangkan sampel dengan proporsi P yang lebih tinggi cenderung bergeser ke arah positif PC1. Kondisi ini menunjukkan bahwa PC1 merupakan komponen utama yang paling berperan dalam membedakan karakteristik antar sampel, sementara PC2 berfungsi sebagai komponen tambahan yang menjelaskan variasi spesifik pada beberapa formulasi, terutama GCMS5. Dengan demikian, perubahan komposisi B dan P memberikan pengaruh yang nyata terhadap karakteristik sampel, yang tercermin dari pola pengelompokan dan pemisahan yang terbentuk pada hasil analisis PCA.

4.3.4 Hasil Score Plot 3D GC-MS



Gambar 4.22 Hasil Score Plot 3D GC-MS

Gambar tersebut merupakan visualisasi 3D score plot dari hasil Principal Component Analysis (PCA) yang menampilkan distribusi sampel berdasarkan tiga dimensi, yaitu PC1 (69,31%), PC2 (15,35%), dan satu dimensi tambahan berupa pengelompokan (group). Visualisasi tiga dimensi ini bertujuan untuk memberikan representasi yang lebih komprehensif terhadap pola pemisahan dan hubungan antar sampel dibandingkan plot dua dimensi.

Secara umum, terlihat adanya pola pemisahan yang jelas antar sampel berdasarkan komposisi lemak sapi (B) dan babi (P). Sampel dengan komposisi lemak sapi yang tinggi, seperti GCMS1 (B=100% + P=0%) dan GCMS2 (B=90% + P=10%), cenderung berada berdekatan dan terkelompok pada area dengan nilai PC1 negatif. Hal ini menunjukkan bahwa kedua sampel tersebut memiliki karakteristik kimia yang serupa. Sementara itu, GCMS3 (B=80% +

P=20%) mulai menunjukkan pergeseran posisi, yang mengindikasikan adanya perubahan komposisi kimia seiring meningkatnya proporsi lemak babi.

Pada sisi lain, sampel dengan kandungan lemak babi yang lebih tinggi, seperti GCMS4 (B=70% + P=30%), GCMS5 (B=60% + P=40%), dan terutama GCMS6 (B=50% + P=50%), terlihat bergerak ke arah nilai PC1 yang lebih positif dan menempati posisi yang semakin berjauhan dari kelompok awal. Hal ini mengindikasikan bahwa peningkatan proporsi lemak babi memberikan pengaruh signifikan terhadap karakteristik kimia yang tertangkap oleh komponen utama pertama.

Dimensi PC2 turut memberikan pemisahan tambahan, terutama dalam membedakan variasi internal antar sampel dengan komposisi yang berdekatan. Sementara itu, dimensi ketiga (group) mempertegas urutan atau klasifikasi sampel, yang secara konsisten menunjukkan tren gradien perubahan dari lemak sapi murni menuju campuran dengan proporsi lemak babi yang lebih tinggi.

Dengan demikian, grafik ini secara jelas menunjukkan bahwa PCA mampu mengelompokkan sampel secara sistematis berdasarkan variasi komposisi lemak, serta mengindikasikan adanya hubungan linier atau bertahap antara peningkatan kandungan lemak babi dan perubahan profil kimia sampel. Visualisasi ini juga memperkuat bahwa komponen utama pertama (PC1) merupakan faktor dominan dalam membedakan karakteristik antar sampel.

4.4 Pembahasan

4.4.1 Penerapan Teknologi GC-MS dalam Identifikasi Daging Sapi dan Daging Babi

Berdasarkan hasil interpretasi kromatogram GC16–GC21, marker spesifik daging sapi ditunjukkan oleh pola *peak methyl stearate* yang relatif tunggal dan sederhana pada RT sekitar 27,43 menit, serta dominasi *methyl oleate* dengan jumlah isomer yang minimal. Sebaliknya, marker spesifik daging babi ditunjukkan oleh kemunculan *branched-chain fatty acid methyl esters*, *short-chain volatile acids* seperti *hexanoic acid*, *heptanoic acid*, dan *5-methylhexanoic acid*, serta *odd-chain* dan *long-chain methyl esters* yang meningkat seiring kenaikan proporsi babi. Marker-marker tersebut konsisten mulai muncul dari GC-17 hingga mencapai kompleksitas maksimum pada GC-21, sehingga sangat potensial digunakan sebagai chemical markers autentikasi pembeda antara daging sapi dan daging babi.

Tabel 4.9 Tabel Senyawa Marker Pembeda Komposisi Lemak Sapi dan Babi Berdasarkan Kromatogram GC-MS

No	Senyawa	Karakteristik pada lemak Sapi	Karakteristik pada lemak babi	Peran Sebagai Marker
1.	<i>Asam Palmitat</i>	Tinggi	Tinggi	Marker umum (tidak spesifik)
2.	<i>Asam Stearat</i>	Lebih Tinggi (dominan)	Lebih Rendah	Marker khas lemak sapi
3.	<i>Asam Oleat</i>	Tinggi	Sangat Tinggi (dominan)	Marker utama lemak babi
4.	<i>Asam Linoleat</i>	Lebih Rendah	Lebih Tinggi	Indikator Lemak Babi
5.	<i>Asam Palmitoleat</i>	Rendah	Lebih Tinggi	Marker Pembeda lard
6.	<i>Asam Miristat</i>	Sedang	Sedang	Marker Pendukung
7.	<i>Asam Linolenat</i>	Sangat Rendah	Sedang	Indikator Sedang
8.	<i>Asam Arachidat</i>	Lebih Tinggi	Rendah	Marker Lemak Sapi
9.	<i>γ-Linolenic acid (GLA)</i>	Tidak Ada	Teridentifikasi pada lard	Marker Spesifik Babi

10.	<i>Rasio Oleat/Linoleat</i>	Lebih Rendah	Lebih Tinggi	Marker Komparatif Penting
-----	---------------------------------	--------------	--------------	---------------------------------

Gas Chromatography–Mass Spectrometry (GC-MS) merupakan teknik analisis instrumental yang mengombinasikan kemampuan pemisahan senyawa oleh kromatografi gas dengan kemampuan identifikasi berdasarkan spektrum massa. Dalam konteks analisis pangan, khususnya daging, GC-MS berperan penting dalam mengidentifikasi senyawa volatil yang menjadi komponen utama pembentuk aroma. Setiap jenis daging memiliki profil senyawa volatil yang khas, sehingga menghasilkan fingerprint kimia yang dapat digunakan sebagai dasar pembedaan antara daging sapi dan daging babi.

Pada penelitian ini, sampel daging dianalisis menggunakan GC-MS setelah melalui tahapan preparasi, termasuk ekstraksi dan derivatisasi menjadi *fatty acid methyl esters* (FAME). Proses ini bertujuan untuk meningkatkan volatilitas dan stabilitas termal senyawa sehingga lebih mudah terdeteksi oleh instrumen. Hasil kromatogram menunjukkan bahwa daging sapi umumnya didominasi oleh senyawa seperti methyl palmitate, methyl oleate, dan methyl stearate dengan pola yang relatif sederhana, sedangkan daging babi menunjukkan profil yang lebih kompleks dengan kemunculan senyawa khas seperti *branched-chain fatty acids*, *short-chain volatile acids*, *odd-chain esters*, dan *long-chain esters*.

Perbedaan komposisi tersebut berkaitan erat dengan karakteristik lipid masing-masing jenis daging. Daging sapi cenderung memiliki kandungan asam lemak jenuh yang lebih tinggi, sedangkan daging babi mengandung lebih banyak asam lemak tak jenuh. Perbedaan ini memengaruhi proses oksidasi lipid dan

degradasi termal yang menghasilkan senyawa volatil dengan karakteristik aroma yang berbeda .

Meskipun GC-MS mampu menghasilkan data yang sangat detail, data yang diperoleh bersifat kompleks dan multidimensi karena melibatkan banyak variabel seperti waktu retensi dan luas area puncak. Oleh karena itu, diperlukan metode statistik multivariat seperti *Principal Component Analysis* (PCA) untuk menyederhanakan data dan mengidentifikasi pola utama dalam dataset .

PCA bekerja dengan mentransformasikan variabel yang saling berkorelasi menjadi komponen utama yang tidak berkorelasi, sehingga variasi data dapat dijelaskan oleh sejumlah kecil komponen. Dalam penelitian ini, dua komponen utama pertama (PC1 dan PC2) mampu menjelaskan sebesar 96,43% variasi total data, dengan kontribusi masing-masing sebesar 81,32% dan 15,11% . Hal ini menunjukkan bahwa PCA sangat efektif dalam mereduksi kompleksitas data GC-MS tanpa kehilangan informasi penting.

Visualisasi hasil PCA dalam bentuk score plot dan loading plot memungkinkan identifikasi pola pemisahan antar sampel berdasarkan profil aroma. Sampel yang memiliki komposisi senyawa volatil serupa akan mengelompok dalam ruang PCA, sedangkan sampel dengan komposisi berbeda akan terpisah secara signifikan. Dalam konteks ini, PCA mampu membedakan secara jelas antara kelompok daging sapi dan daging babi berdasarkan *fingerprint* kimia yang dihasilkan oleh GC-MS.

Selain itu, PCA juga memungkinkan identifikasi variabel yang berkontribusi terhadap pemisahan tersebut. Senyawa seperti *methyl oleate*, *methyl palmitate*, dan *ester* rantai panjang berperan sebagai variabel dominan

dalam membentuk komponen utama, sedangkan senyawa khas babi seperti *branched-chain fatty acids* dan *odd-chain esters* menjadi marker penting dalam membedakan kedua jenis daging.

Kombinasi antara GC-MS dan PCA terbukti sebagai pendekatan yang efektif dalam autentikasi bahan pangan, khususnya dalam identifikasi jenis daging. GC-MS memberikan informasi detail mengenai komposisi senyawa volatil, sementara PCA menyederhanakan dan menginterpretasikan data tersebut menjadi pola yang mudah dipahami. Dengan demikian, metode ini tidak hanya mampu mengidentifikasi perbedaan aroma secara objektif, tetapi juga memiliki potensi besar dalam mendukung sistem jaminan halal melalui deteksi keberadaan komponen babi dalam produk pangan .

Secara keseluruhan, penerapan teknologi GC-MS yang dipadukan dengan metode PCA memberikan pendekatan analisis yang komprehensif, akurat, dan reliabel dalam mengklasifikasikan aroma daging sapi dan daging babi. Metode ini mampu mengungkap perbedaan karakteristik kimia secara mendalam serta menyediakan dasar ilmiah yang kuat untuk pengembangan sistem autentikasi pangan berbasis fingerprint kimia.

4.4.2 Pola Data GC-MS Berdasarkan Analisis PCA

Berdasarkan hasil analisis Principal Component Analysis (PCA), pola data menunjukkan adanya struktur pengelompokan (*clustering*) yang jelas serta hubungan korelatif antar variabel yang membentuk sistem secara keseluruhan. Dua komponen utama, yaitu PC1 dan PC2, mampu menjelaskan sebesar 96,43% dari total variansi data, sehingga representasi pola dalam ruang dua dimensi dinilai telah memadai dan informatif.

Pola distribusi data pada score plot menunjukkan bahwa sampel tidak tersebar secara acak, melainkan membentuk kelompok-kelompok tertentu yang mencerminkan kemiripan karakteristik kimia. Sampel yang terletak berdekatan menunjukkan kesamaan komposisi senyawa volatil, sedangkan sampel yang berjauhan mengindikasikan adanya perbedaan signifikan dalam profil kimianya. Dengan demikian, PCA berhasil mengungkap struktur laten dalam data yang sebelumnya tidak terlihat secara langsung.

Komponen utama pertama (PC1) berperan sebagai sumbu utama yang mengontrol variasi terbesar dalam data. Pola pemisahan sepanjang PC1 menunjukkan adanya gradasi komposisi, yang kemungkinan berkaitan dengan perbedaan konsentrasi total senyawa atau dominasi kelompok senyawa tertentu, seperti ester dan hidrokarbon. Sampel dengan nilai PC1 positif cenderung didominasi oleh senyawa dengan berat molekul lebih tinggi dan struktur kompleks, sedangkan nilai PC1 negatif mengarah pada senyawa dengan struktur lebih sederhana.

Sementara itu, komponen utama kedua (PC2) berfungsi sebagai faktor pembeda tambahan yang memperjelas variasi yang tidak tertangkap oleh PC1. Pola distribusi pada PC2 menunjukkan pemisahan berdasarkan karakteristik struktural senyawa, seperti tingkat kejenuhan atau jenis gugus fungsi. Hal ini terlihat dari pemisahan antara kelompok senyawa ester dan hidrokarbon yang memiliki sifat fisikokimia berbeda.

Analisis loading plot memperkuat interpretasi pola data dengan menunjukkan arah dan besar kontribusi masing-masing variabel. Variabel yang memiliki arah vektor yang serupa menunjukkan korelasi positif, sedangkan

variabel dengan arah berlawanan menunjukkan korelasi negatif. Dalam konteks ini, senyawa-senyawa ester membentuk satu kelompok yang terkoordinasi, sementara senyawa hidrokarbon membentuk kelompok lain yang terpisah.

Selain itu, pola sudut antar vektor memberikan informasi penting mengenai hubungan antar variabel. Sudut yang kecil menunjukkan hubungan linear yang kuat, sedangkan sudut mendekati 90° menunjukkan hubungan yang lemah. Hal ini mengindikasikan bahwa struktur data tidak hanya dipengaruhi oleh satu variabel, melainkan oleh interaksi kompleks antar berbagai senyawa.

Secara keseluruhan, pola data yang dihasilkan dari analisis PCA menunjukkan adanya pemisahan yang sistematis dan bermakna antara kelompok senyawa, serta hubungan korelatif yang kuat dalam masing-masing kelompok. Pola ini mencerminkan bahwa variasi dalam data didominasi oleh perbedaan komposisi kimia, sehingga PCA dapat digunakan secara efektif sebagai alat untuk eksplorasi data, klasifikasi, dan interpretasi sistem kimia yang kompleks.

4.5 Keterkaitan Hasil Dalam Prespektif Islam

Berdasarkan hasil analisis menggunakan instrumen *Gas Chromatography–Mass Spectrometry* (GC-MS), sampel campuran daging sapi dan daging babi menunjukkan adanya profil kromatogram yang merepresentasikan keberadaan senyawa volatil serta turunan asam lemak dari kedua jenis daging. Pada sampel campuran daging sapi dan daging babi, beberapa puncak kromatogram memperlihatkan kemunculan senyawa biomarker yang secara karakteristik berkaitan dengan lipid babi. Temuan tersebut mengindikasikan bahwa komponen babi tetap terdeteksi secara kimiawi meskipun telah melalui tahapan preparasi, meliputi ekstraksi Soxhlet, evaporasi pelarut, dan esterifikasi.

Dalam perspektif Islam, keberadaan unsur babi yang terdeteksi pada suatu produk pangan dapat dikaitkan dengan prinsip menjaga kemurnian kebenaran dan menghindari pencampuran antara yang hak dan yang batil. Prinsip tersebut ditegaskan dalam firman Allah SWT pada Surah Ali Imran ayat 71:

يَا أَهْلَ الْكِتَابِ لِمَ تَلْبِسُونَ الْحَقَّ بِالْبَاطِلِ وَتَكْتُمُونَ الْحَقَّ وَأَنْتُمْ تَعْلَمُونَ ﴿٧١﴾

Yang Artinya : *"Wahai ahlul kitab, mengapa kamu mencampuradukkan yang hak dan yang bathil dan kamu menyembunyikan kebenaran, padahal kamu mengetahui"*

Ayat tersebut mengandung pesan bahwa kebenaran harus disampaikan secara jelas dan tidak boleh dicampur dengan unsur yang bertentangan dengannya. Dalam konteks penelitian ini, daging sapi sebagai bahan yang halal dan daging babi sebagai bahan yang haram memiliki status hukum yang berbeda. Ketika keduanya dicampurkan dalam satu produk, maka terjadi percampuran antara unsur yang diperbolehkan dan unsur yang dilarang. Hasil analisis GC-MS yang masih mampu mendeteksi biomarker khas babi menunjukkan bahwa unsur haram tersebut masih terdapat dalam sampel sehingga keberadaannya dapat dibuktikan secara ilmiah.

Prinsip tidak mencampuradukkan yang hak dan yang batil juga sejalan dengan hadis Rasulullah ﷺ yang diriwayatkan oleh Al-Hasan bin Ali r.a.:

عَنْ الْحَسَنِ بْنِ عَلِيٍّ رَضِيَ اللَّهُ عَنْهُمَا قَالَ: حَفِظْتُ مِنْ رَسُولِ اللَّهِ ﷺ: دَعْ مَا يَرِيبُكَ إِلَى مَا لَا يَرِيبُكَ، فَإِنَّ الصِّدْقَ طَمَئِينَةٌ،

Yang Artinya: *"Tinggalkanlah apa yang meragukanmu kepada apa yang tidak meragukanmu. Sesungguhnya kebenaran itu membawa ketenangan, sedangkan kebatilan (dusta) menimbulkan keraguan."* (HR. At-Tirmidzi No. 2518 dan An-Nasa'i No. 5711).

Hadis tersebut memberikan pemahaman bahwa kebenaran harus dapat dibuktikan secara jelas dan menghasilkan keyakinan. Dalam penelitian ini,

identifikasi biomarker khas babi melalui GC-MS menjadi bukti ilmiah yang menunjukkan adanya unsur babi dalam sampel. Oleh karena itu, hasil analisis tidak hanya berfungsi sebagai data kimia, tetapi juga sebagai sarana verifikasi yang mendukung transparansi informasi produk sehingga tidak terjadi pencampuran antara yang hak dan yang batil sebagaimana dilarang dalam Al-Qur'an.

Hal tersebut sejalan dengan kaidah fikih:

إِذَا اجْتَمَعَ الْحَلَالُ وَالْحَرَامُ غَلَبَ الْحَرَامُ

yang bermakna “*apabila unsur halal bercampur dengan unsur haram, maka hukum haram yang didahulukan.*” Kaidah ini memiliki relevansi yang sangat kuat terhadap hasil penelitian, sebab dominasi persentase daging sapi tidak mengubah status hukum apabila keberadaan senyawa khas babi masih dapat dideteksi oleh GC-MS.

Dengan demikian, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa GC-MS memiliki validitas saintifik yang tinggi sebagai metode autentikasi halal berbasis profil senyawa lipid. Kemampuan instrumen dalam mendeteksi biomarker khas babi mendukung penerapan prinsip syariat Islam dalam verifikasi kehalalan pangan, khususnya untuk mengidentifikasi praktik adulterasi pada campuran daging sapi dan daging babi.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan menggunakan metode Gas Chromatography–Mass Spectrometry (GC-MS) yang dikombinasikan dengan Principal Component Analysis (PCA), dapat disimpulkan bahwa:

1. Hasil menunjukkan bahwa kedua jenis daging memiliki profil senyawa volatil yang berbeda, di mana senyawa yang teridentifikasi didominasi oleh kelompok hidrokarbon dan *ester (fatty acid methyl esters/FAME)*. Daging babi cenderung menunjukkan komposisi senyawa yang lebih kompleks dibandingkan daging sapi, sehingga menghasilkan karakteristik aroma yang berbeda.
2. Hasil PCA menunjukkan bahwa dua komponen utama (PC1 dan PC2) mampu menjelaskan sebesar 96,43% variasi total data. Visualisasi *score plot* memperlihatkan adanya pemisahan yang jelas antar kelompok sampel, sehingga metode PCA efektif dalam mengklasifikasikan dan membedakan daging sapi dan daging babi berdasarkan profil senyawa volatilnya.
3. Kombinasi GC-MS dan PCA mampu menghasilkan fingerprint kimia yang khas serta pola klasifikasi yang jelas, sehingga berpotensi digunakan sebagai metode analisis yang objektif dan ilmiah dalam mendukung proses autentifikasi halal, khususnya dalam mendeteksi perbedaan antara daging sapi dan daging babi.

5.2 Saran

Saran untuk selanjutnya yaitu memperluas variasi sampel kornet, meningkatkan sensitivitas dan selektivitas sensor E-Nose, serta mengoptimalkan metode pemanasan agar menghasilkan volatil yang lebih stabil. Selain itu, analisis klasifikasi dapat dikembangkan menggunakan algoritma machine learning untuk meningkatkan akurasi, serta menambahkan metode ekstraksi atau deteksi lain seperti HS-SPME untuk memperkaya data volatil.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahamed, Z., et al. (2024). Volatile compounds for discrimination between beef, pork and their admixtures using SPME-GC-MS and chemometrics. (Journal/PMC).
- An-Nu'man bin Basyir (1993). Al Mustasyfa min Ilm al-Usul. Dar al-kutub al ilmiyyah
- Al-Qurthubi Muhammad ibn Ahmad. (2006). Al-Jami' li Ahkam alqur'an. Mu'assasah ar-Risalah.
- Aprilia, P., et al. (2022). Comparison of ELISA and PCR assays for detection of pork adulteration in halal-labelled beef products. Journal of Food Quality (2022).
- Diana Chandra., et al. (2023). Identification of Volatile compounds in several meat and bone broth solid phase micro ekstraktion – Gas Chromatography Mass Spectrometry (SPME-GCMS) for Initial Detection of Halal and Non Halal. J. Pure App. Chem, Res., 2023, 12 (02), 65-79.
- Gema R. 2015. Halal dan Haram dalam Islam. Jurnal Ilmiah Penegak Hukum. Vol. 2(1), 20–26: 10.31289.
- Harizal, M., Nurjannah, D., & Rahmadani, E. (2019). “Analisis Kadar Lemak pada Bahan Pangan Menggunakan Metode Soxhlet.” Jurnal Sains dan Teknologi, 8(2), 45–52.
- Hermanto S., Muawanah A., Harahap R. (2008). Profil dan Karakteristik Lemak Hewani (Ayam, Sapi dan Babi) Hasil Analisa FTIR dan GCMS. Jurnal Kimia Valensi, 1(3), 102–109
- Islami MN., Fatahillah R., Suriana S., Wati A., Aini SK. (2020). Analisis Lemak Babi pada Bakso menggunakan Spektrofotometer FTIR. ALKIMIA : Jurnal Ilmu Kimia dan Terapan, 3(2), 75–78.
- Khopkar, S. M. (2008). Konsep Dasar Kimia Analitik. Jakarta: UI Press.[
- Nugraha I., Iswati Utami P., Sri Rahayu W. (2018). Analisis Asam Lemak Daging Anjing pada Bakso Sapi Menggunakan GCMS yang Dikombinasikan dengan PCA. Indonesia Journal of Halal, 1(2), 117–124. DOI: 10.14710/halal.v1i2.3668.
- Nurani, L. H., et al. (2022). Use of chromatographic-based techniques and volatilomics for pork analysis (HS-SPME/MS)
- Purba, M. (2021). Analisis PCA terhadap prestasi akademik mahasiswa. JEBIT Mandiri. <https://ejournal.politeknikmbp.ac.id/index.php/jebit/article/download/18/38>
- Prabawati YS., Imelda F. (2018). Analisis Lemak Sapi dan Lemak Babi Menggunakan GC dan FTIR-2D untuk Autentikasi Halal. Indonesia Journal of Halal, 1(2). DOI: 10.14710/halal.v1i2.4119.
- Rusydah Muthia Kautsar., et al. (2025). Physicochemical Characteristics and SPME-GCMS Based volatilomics for discrimination of beef and pork patties. Food Technology, nutrition and Culinary, 2025; 8 (1):1-21
- Skoog, D. A., Holler, F. J., & Crouch, S. R. (2014). Principles of Instrumental Analysis

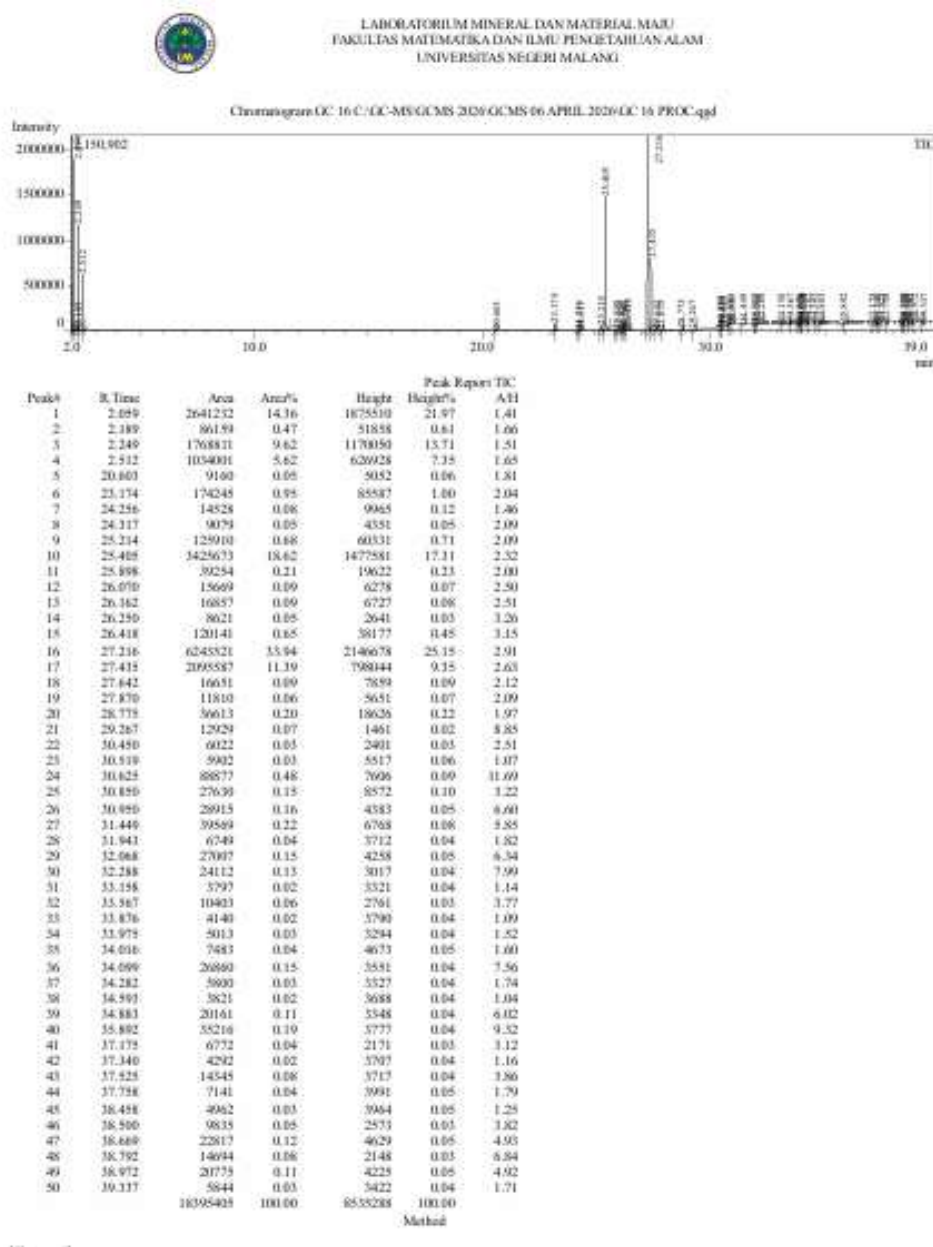
(7th ed.). Belmont: Cengage Learning.

Tazi, I., Laila Isnaini, N., & Ainur, A. (2019). Principal Component Analysis (PCA) Method for Classification of Beef and Pork Aroma Based on Electronic Nose. *Indonesian Journal of Halal Research*, 1(1), 5–8.
<https://doi.org/10.15575/ijhar.4155>

LAMPIRAN

Lampiran 1 Report Hasil GC-MS Setiap Sampel

1. Report Hasil GC-MS Sampel 1

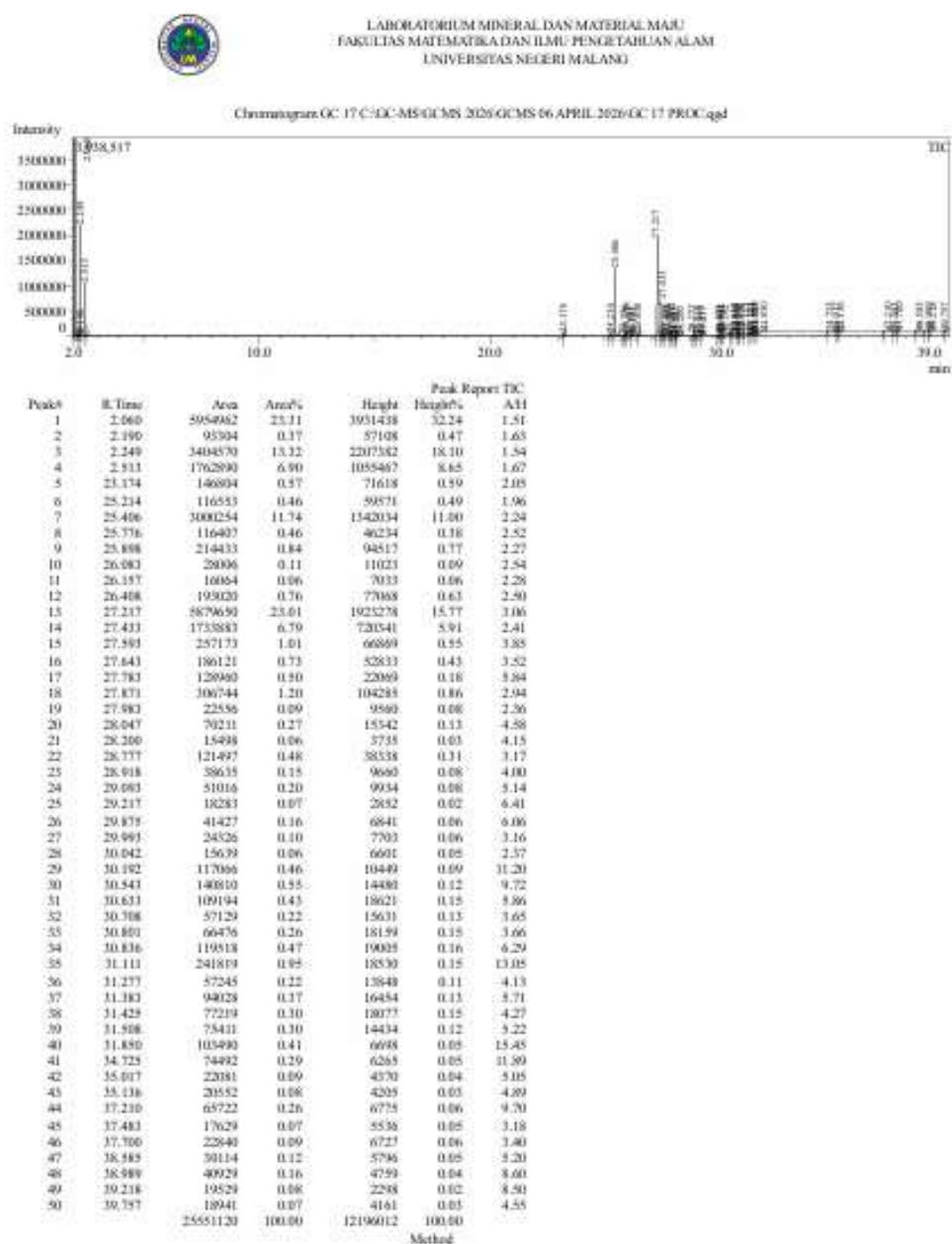


Peak	R. Time	Area	Area %	Height	Height %	A/H	Nama Senyawa
1	2.059	2.641.23	14.36	1.875.51	21.97	1.41	<i>n-Hexane</i>
2	2.189	86.159	0.47	51.858	0.61	1.66	<i>2-Methylpentane</i>
3	2.249	1.768.81	9.62	1.170.05	13.71	1.51	<i>Cyclohexane</i>
4	2.512	1.034.00	5.62	626.928	7.35	1.65	<i>1-Pentene, 4-methyl-</i>
5	20.603	9.160	0.05	5.052	0.06	1.81	<i>Organic acid</i>

6	23.17 4	174.245	0.95	85.587	1.00	2.04	<i>Aziridine derivative</i>
7	24.25 6	14.528	0.08	9.965	0.12	1.46	<i>Fatty acid fragment</i>
8	24.31 7	9.079	0.05	4.351	0.05	2.09	<i>Organic compound</i>
9	25.21 4	125.910	0.68	60.331	0.71	2.09	<i>Fatty acid ester</i>
10	25.40 5	3.425.67 3	18.62	1.477.58 1	17.31	2.32	<i>Pentafluoroethyl propionate</i>
11	25.89 8	39.254	0.21	19.622	0.23	2.00	<i>Short-chain ester</i>
12	26.07 0	15.669	0.09	6.278	0.07	2.50	<i>Fatty acid methyl ester</i>
13	26.16 2	16.857	0.09	6.727	0.08	2.51	<i>Fatty acid derivative</i>
14	26.25 0	8.621	0.05	2.641	0.03	3.26	<i>Fatty acid fragment</i>
15	26.41 8	120.141	0.65	38.177	0.45	3.15	<i>Homoserine</i>
16	27.21 6	6.243.52 1	33.94	2.146.67 8	25.15	2.91	<i>Methyl N-methyl-N-formyldithiocarbamate</i>
17	27.43 5	2.095.58 7	11.39	798.044	9.35	2.63	<i>Fatty acid methyl ester</i>
18	27.64 2	16.651	0.09	7.859	0.09	2.12	<i>Fatty acid ester</i>
19	27.87 0	11.810	0.06	5.651	0.07	2.09	<i>Fatty acid ester</i>
20	28.77 5	36.613	0.20	18.626	0.22	1.97	<i>Oleic acid methyl ester</i>
21	29.26 7	12.929	0.07	1.461	0.02	8.85	<i>Polyunsaturated fatty acid</i>
22	30.45 0	6.022	0.03	2.401	0.03	2.51	<i>Long-chain fatty acid ester</i>
23	30.51 9	5.902	0.03	5.517	0.06	1.07	<i>Long-chain ester</i>
24	30.62 5	88.877	0.48	7.606	0.09	11.6 9	<i>Linoleic acid methyl ester</i>
25	30.85 0	27.630	0.15	8.572	0.10	3.22	<i>Unsaturated fatty acid ester</i>
26	30.95 0	28.915	0.16	4.383	0.05	6.60	<i>Unsaturated fatty acid ester</i>
27	31.44 9	39.569	0.22	6.768	0.08	5.85	<i>Long-chain fatty acid</i>
28	31.94 3	6.749	0.04	3.712	0.04	1.82	<i>Long-chain fatty acid</i>
29	32.06 8	27.007	0.15	4.258	0.05	6.34	<i>Fatty acid derivative</i>
30	32.28 8	24.112	0.13	3.017	0.04	7.99	<i>Fatty acid derivative</i>

31	33.15 8	3.797	0.02	3.321	0.04	1.14	<i>Aromatic compound</i>
32	33.57 6	10.403	0.06	2.761	0.03	3.77	<i>Aromatic ester</i>
33	33.87 6	4.140	0.02	3.790	0.04	1.09	<i>Aromatic compound</i>
34	33.97 5	5.013	0.03	3.294	0.04	1.52	<i>Aromatic compound</i>
35	34.01 6	7.483	0.04	4.673	0.05	1.60	<i>Aromatic compound</i>
36	34.09 9	26.860	0.15	3.551	0.04	7.56	<i>Phthalate ester</i>
37	34.28 2	5.800	0.03	3.327	0.04	1.74	<i>Aromatic compound</i>
38	34.59 3	3.821	0.02	3.688	0.04	1.04	<i>Aromatic compound</i>
39	34.88 3	20.161	0.11	3.348	0.04	6.02	<i>Aromatic ester</i>
40	35.89 2	35.216	0.19	3.777	0.04	9.32	<i>Long-chain ester</i>
41	37.17 5	6.772	0.04	2.171	0.03	3.12	<i>Phthalic acid derivative</i>
42	37.34 0	4.292	0.02	3.707	0.04	1.16	<i>Aromatic compound</i>
43	37.52 5	14.345	0.08	3.717	0.04	3.86	<i>Aromatic ester</i>
44	37.75 8	7.141	0.04	3.991	0.05	1.79	<i>Aromatic compound</i>
45	38.45 8	4.962	0.03	3.964	0.05	1.25	<i>Aromatic compound</i>
46	38.50 0	9.835	0.05	2.573	0.03	3.82	<i>Long-chain ester</i>
47	38.66 9	22.817	0.12	4.629	0.05	4.93	<i>Long-chain ester</i>
48	38.79 2	14.694	0.08	2.148	0.03	6.84	<i>Long-chain ester</i>
49	38.97 2	20.775	0.11	4.225	0.05	4.92	<i>Long-chain ester</i>
50	39.33 7	5.844	0.03	3.422	0.04	1.71	<i>Long-chain ester</i>

2. Report Hasil GC-MS Sampel 2



Peak	R. Time	Area	Area %	Height	Height %	A/H	Nama Senyawa
1	2.060	5954962	23.31	3931438	32.24	1.51	<i>n-Hexane</i>
2	2.190	93304	0.37	57108	0.47	1.63	<i>2-Methylpentane</i>
3	2.249	3404570	13.32	2207382	18.10	1.54	<i>Cyclohexane</i>
4	2.513	1762890	6.90	1055467	8.65	1.67	<i>1-Pentene, 4-methyl-</i>
5	23.174	146804	0.57	71618	0.59	2.05	<i>Aziridine derivative</i>
6	25.214	116553	0.46	59571	0.49	1.96	<i>Fatty acid ester</i>

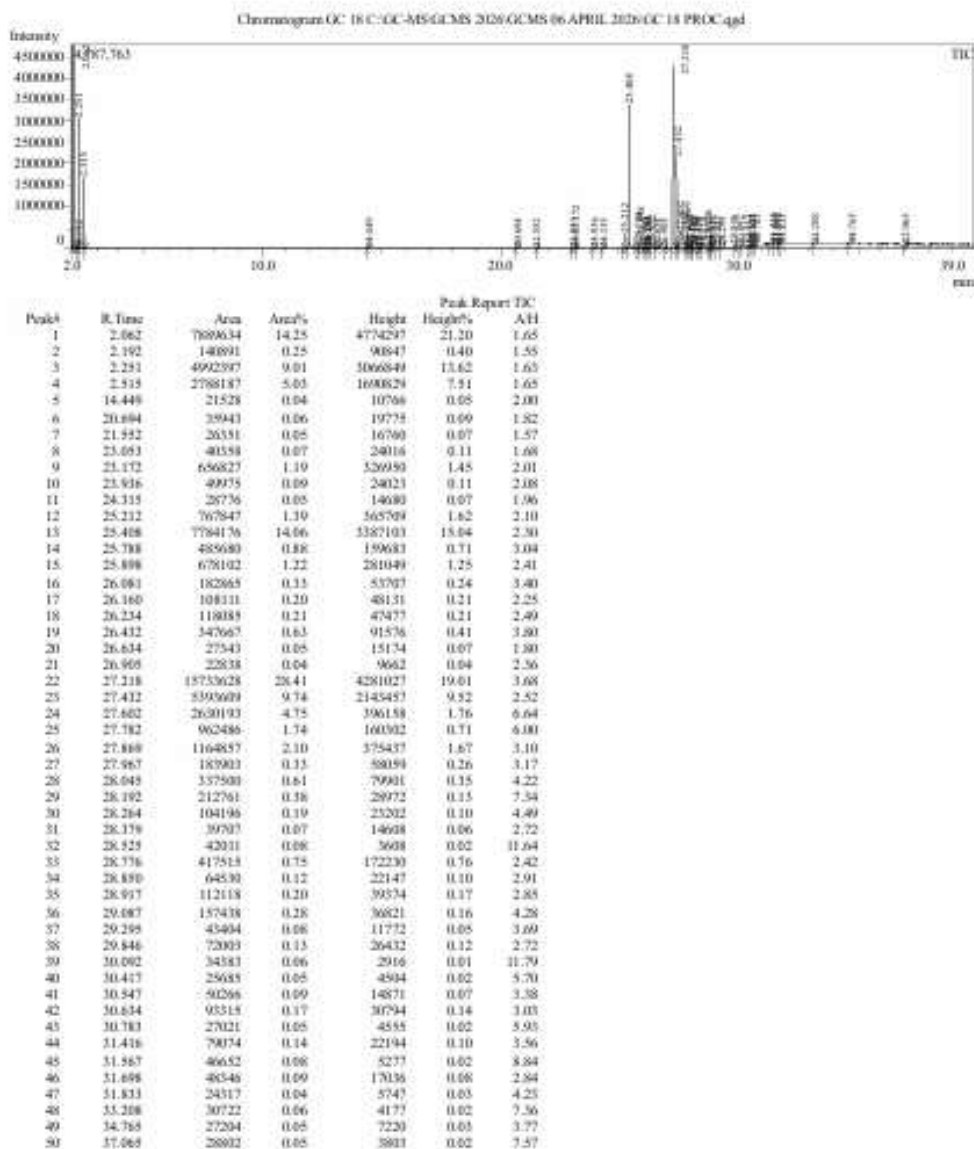
7	25.406	3000254	11.74	1342034	11.00	2.24	<i>Pentafluoroethyl propionate</i>
8	25.776	116407	0.46	46234	0.38	2.52	<i>Short-chain ester</i>
9	25.898	214433	0.84	94517	0.77	2.27	<i>Fatty acid ester</i>
10	26.083	28006	0.11	11023	0.09	2.54	<i>Fatty acid methyl ester</i>
11	26.157	16064	0.06	7033	0.06	2.28	<i>Fatty acid derivative</i>
12	26.408	193020	0.76	77068	0.63	2.50	<i>Homoserine</i>
13	27.217	5879650	23.01	1923278	15.77	3.06	<i>Methyl N-methyl-N-formyldithiocarbamate</i>
14	27.433	1733883	6.79	720341	5.91	2.41	<i>Fatty acid methyl ester</i>
15	27.593	257173	1.01	66869	0.55	3.85	<i>Palmitic acid methyl ester</i>
16	27.643	186121	0.73	52833	0.43	3.52	<i>Palmitic acid</i>
17	27.783	128960	0.50	22069	0.18	5.84	<i>Fatty acid ester</i>
18	27.871	306744	1.20	104285	0.86	2.94	<i>Fatty acid ester</i>
19	27.983	22556	0.09	9560	0.08	2.36	<i>Fatty acid fragment</i>
20	28.047	70211	0.27	15342	0.13	4.58	<i>Fatty acid ester</i>
21	28.200	15498	0.06	3735	0.03	4.15	<i>Fatty acid ester</i>
22	28.777	121497	0.48	38338	0.31	3.17	<i>Oleic acid methyl ester</i>
23	28.918	38635	0.15	9660	0.08	4.00	<i>Oleic acid derivative</i>
24	29.093	51016	0.20	9934	0.08	5.14	<i>Linoleic acid derivative</i>
25	29.217	18283	0.07	2852	0.02	6.41	<i>Polyunsaturated fatty acid</i>
26	29.875	41427	0.16	6841	0.06	6.06	<i>Stearic acid derivative</i>
27	29.993	24326	0.10	7703	0.06	3.16	<i>Stearic acid methyl ester</i>
28	30.042	15639	0.06	6601	0.05	2.37	<i>Long-chain fatty acid</i>
29	30.192	117066	0.46	10449	0.09	11.20	<i>Unsaturated fatty acid ester</i>
30	30.543	140810	0.55	14480	0.12	9.72	<i>Oleic acid ester</i>
31	30.633	109194	0.43	18621	0.15	5.86	<i>Linoleic acid methyl ester</i>
32	30.708	57129	0.22	15631	0.13	3.65	<i>Unsaturated fatty acid ester</i>
33	30.801	66476	0.26	18159	0.15	3.66	<i>Unsaturated fatty acid ester</i>
34	30.836	119518	0.47	19005	0.16	6.29	<i>Unsaturated fatty acid ester</i>
35	31.111	241819	0.95	18530	0.15	13.05	<i>Unsaturated fatty acid ester</i>
36	31.277	57245	0.22	13848	0.11	4.13	<i>Long-chain fatty acid ester</i>
37	31.383	94028	0.37	16454	0.13	5.71	<i>Long-chain fatty acid</i>

38	31.425	77219	0.30	18077	0.15	4.27	<i>Long-chain fatty acid ester</i>
39	31.508	75411	0.30	14434	0.12	5.22	<i>Long-chain fatty acid ester</i>
40	31.850	103490	0.41	6698	0.05	15.45	<i>Long-chain fatty acid ester</i>
41	34.725	74492	0.29	6265	0.05	11.89	<i>Long-chain fatty acid</i>
42	35.017	22081	0.09	4370	0.04	5.05	<i>Phthalic acid ester</i>
43	35.136	20552	0.08	4205	0.03	4.89	<i>Aromatic compound</i>
44	37.210	65722	0.26	6775	0.06	9.70	<i>Aromatic compound</i>
45	37.483	17629	0.07	5536	0.05	3.18	<i>Aromatic ester</i>
46	37.700	22840	0.09	6727	0.06	3.40	<i>Aromatic compound</i>
47	38.585	30114	0.12	5796	0.05	5.20	<i>Aromatic compound</i>
48	38.989	40929	0.16	4759	0.04	8.60	<i>Long-chain ester</i>
49	39.218	19529	0.08	2298	0.02	8.50	<i>Long-chain ester</i>
50	39.757	18941	0.07	4161	0.03	4.55	<i>Long-chain ester</i>

3. Report Hasil GC-MS Sampel 3



LABORATORIUM MINERAL DAN MATERIAL MAJU
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI MALANG

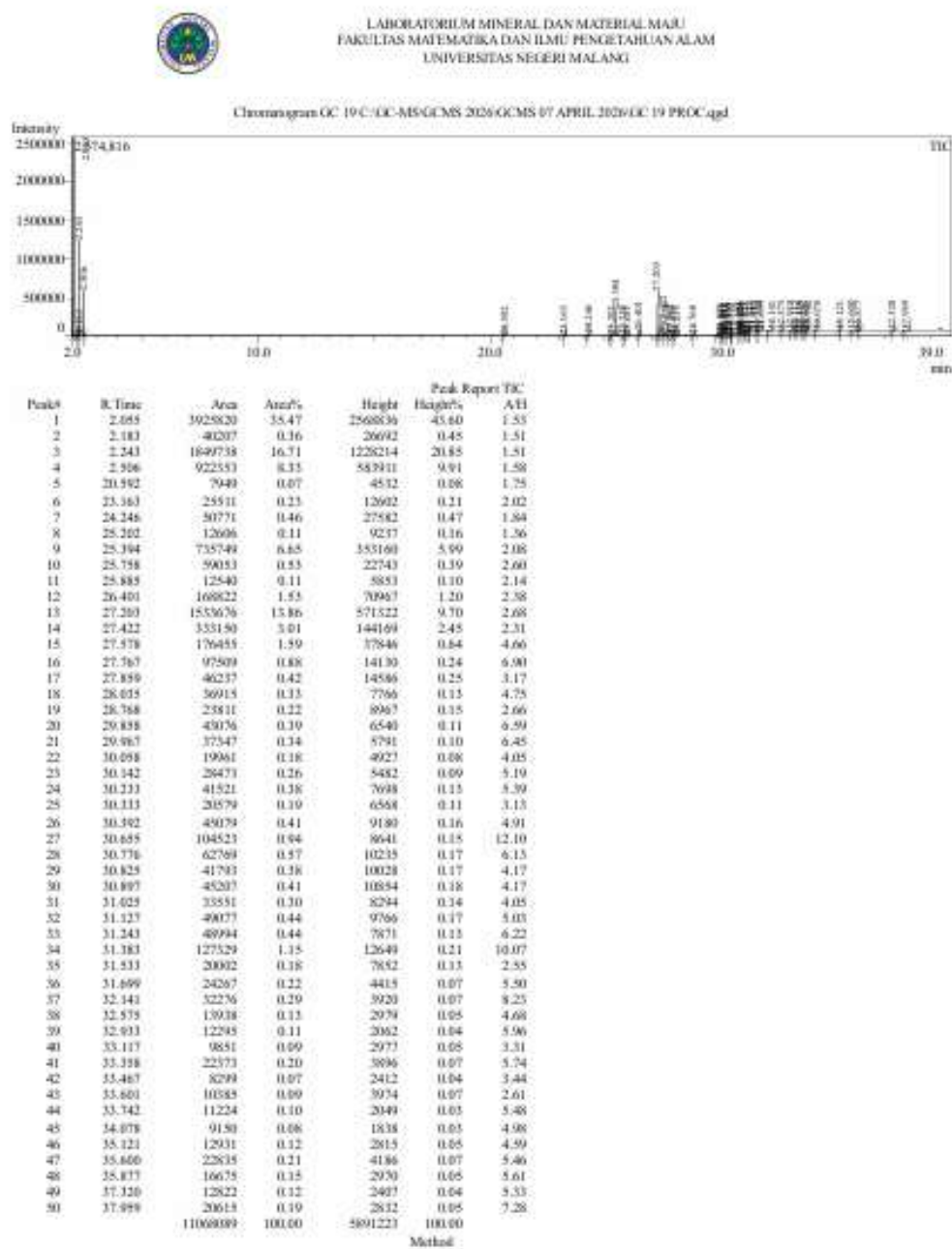


Peak	R. Time	Area	Area %	Height	Height %	A/H	Nama Senyawa
1	2.062	7889634	14.25	4774297	21.20	1.65	<i>n</i> -Hexane
2	2.192	140891	0.25	90847	0.40	1.55	2-Methylpentane
3	2.251	4992397	9.01	3066849	13.62	1.63	Cyclohexane
4	2.515	2788187	5.03	1690829	7.51	1.65	1-Pentene, 4-methyl-
5	14.449	21528	0.04	10766	0.05	2.00	Organic compound
6	20.694	35943	0.06	19775	0.09	1.82	Organic acid
7	21.552	26351	0.05	16760	0.07	1.57	Nitrogen compound
8	23.053	40358	0.07	24016	0.11	1.68	Fatty acid fragment

9	23.172	656827	1.19	326950	1.45	2.01	<i>Aziridine derivative</i>
10	23.936	49975	0.09	24023	0.11	2.08	<i>Fatty acid fragment</i>
11	24.315	28776	0.05	14680	0.07	1.96	<i>Organic compound</i>
12	25.212	767847	1.39	365709	1.62	2.10	<i>Fatty acid ester</i>
13	25.408	7784176	14.06	338710 3	15.04	2.30	<i>Pentafluoroethyl propionate</i>
14	25.788	485680	0.88	159683	0.71	3.04	<i>Short-chain ester</i>
15	25.898	678102	1.22	281049	1.25	2.41	<i>Fatty acid ester</i>
16	26.081	182865	0.33	53707	0.24	3.40	<i>Fatty acid methyl ester</i>
17	26.160	108111	0.20	48131	0.21	2.25	<i>Fatty acid derivative</i>
18	26.234	118085	0.21	47477	0.21	2.49	<i>Fatty acid derivative</i>
19	26.432	347667	0.63	91576	0.41	3.80	<i>Homoserine</i>
20	26.634	27343	0.05	15174	0.07	1.80	<i>Fatty acid fragment</i>
21	26.905	22838	0.04	9662	0.04	2.36	<i>Fatty acid fragment</i>
22	27.218	1573362 8	28.41	428102 7	19.01	3.68	<i>Methyl N-methyl-N-formyldithiocarbamate</i>
23	27.432	5393609	9.74	214345 7	9.52	2.52	<i>Fatty acid methyl ester</i>
24	27.602	2630193	4.75	396158	1.76	6.64	<i>Palmitic acid methyl ester</i>
25	27.782	962486	1.74	160302	0.71	6.00	<i>Palmitic acid</i>
26	27.869	1164857	2.10	375437	1.67	3.10	<i>Fatty acid ester</i>
27	27.967	183903	0.33	58059	0.26	3.17	<i>Fatty acid fragment</i>
28	28.045	337500	0.61	79901	0.35	4.22	<i>Fatty acid ester</i>
29	28.192	212761	0.38	28972	0.13	7.34	<i>Fatty acid ester</i>
30	28.264	104196	0.19	23202	0.10	4.49	<i>Fatty acid ester</i>
31	28.379	39707	0.07	14608	0.06	2.72	<i>Fatty acid ester</i>
32	28.525	42011	0.08	3608	0.02	11.6 4	<i>Fatty acid derivative</i>
33	28.776	417515	0.75	172230	0.76	2.42	<i>Oleic acid methyl ester</i>
34	28.850	64530	0.12	22147	0.10	2.91	<i>Oleic acid derivative</i>
35	28.917	112118	0.20	39374	0.17	2.85	<i>Unsaturated fatty acid ester</i>
36	29.087	157438	0.28	36821	0.16	4.28	<i>Linoleic acid derivative</i>
37	29.295	43404	0.08	11772	0.05	3.69	<i>Polyunsaturated fatty acid</i>
38	29.846	72003	0.13	26432	0.12	2.72	<i>Stearic acid methyl ester</i>
39	30.092	34383	0.06	2916	0.01	11.7 9	<i>Long-chain fatty acid</i>
40	30.417	25685	0.05	4504	0.02	5.70	<i>Long-chain ester</i>
41	30.547	50266	0.09	14871	0.07	3.38	<i>Oleic acid ester</i>
42	30.634	93315	0.17	30794	0.14	3.03	<i>Linoleic acid methyl ester</i>

43	30.783	27021	0.05	4555	0.02	5.93	<i>Unsaturated fatty acid ester</i>
44	31.416	79074	0.14	22194	0.10	3.56	<i>Long-chain fatty acid</i>
45	31.567	46652	0.08	5277	0.02	8.84	<i>Long-chain fatty acid</i>
46	31.698	48346	0.09	17036	0.08	2.84	<i>Long-chain fatty acid</i>
47	31.833	24317	0.04	5747	0.03	4.23	<i>Long-chain fatty acid</i>
48	33.208	30722	0.06	4177	0.02	7.36	<i>Aromatic compound</i>
49	34.765	27204	0.05	7220	0.03	3.77	<i>Phthalate ester</i>
50	37.065	28802	0.05	3803	0.02	7.57	<i>Long-chain ester</i>

4. Report Hasil GC-MS Sampel 4

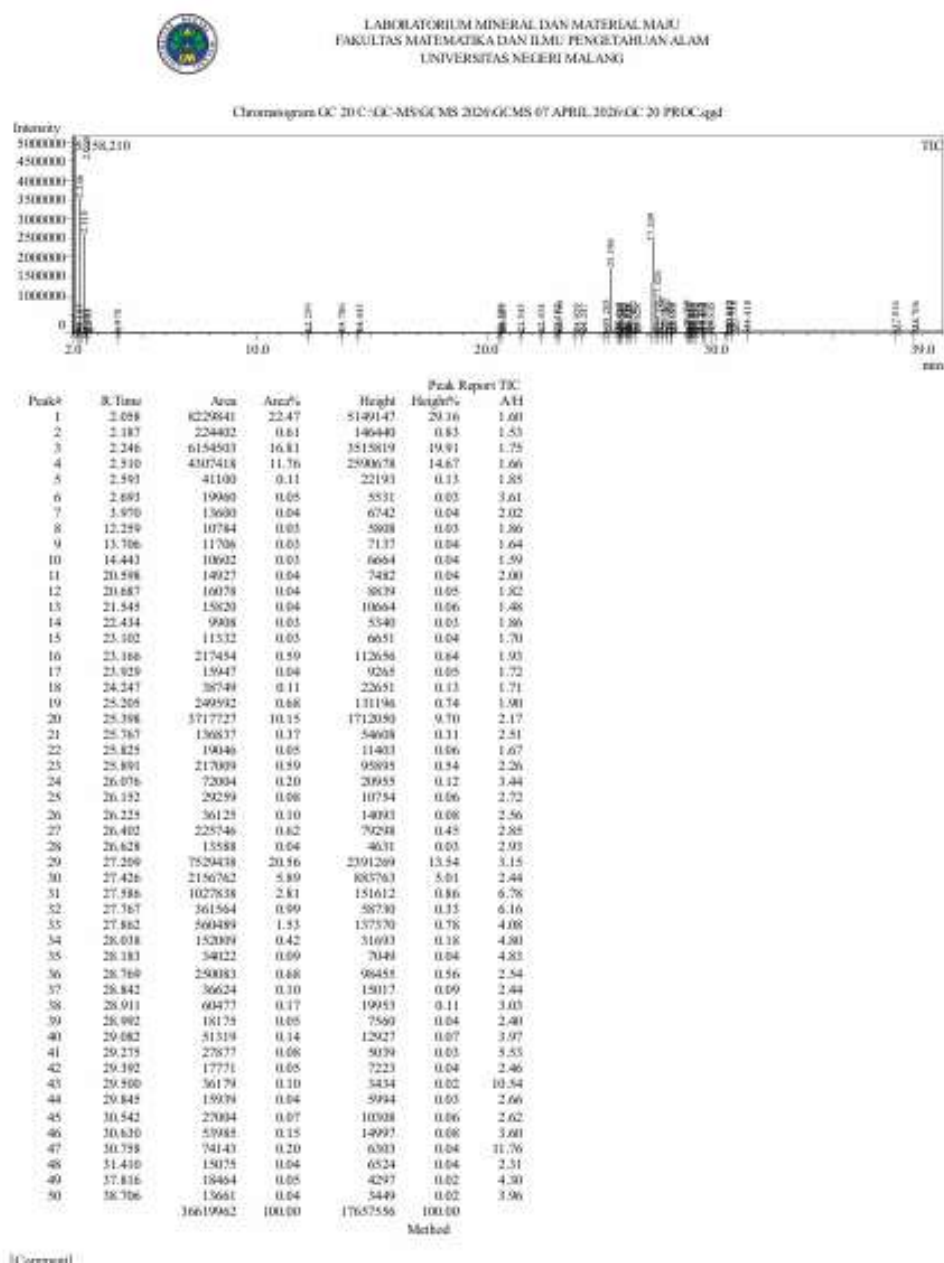


Peak	R. Time	Area	Area %	Height	Height %	A/H	Nama Senyawa
1	2.055	3925820	35.47	2568836	43.60	1.53	<i>n-Hexane</i>
2	2.183	40207	0.36	26692	0.45	1.51	<i>2-Methylpentane</i>
3	2.243	1849738	16.71	1228214	20.85	1.51	<i>Cyclohexane</i>
4	2.506	922353	8.33	583911	9.91	1.58	<i>1-Pentene, 4-methyl-</i>
5	20.592	7949	0.07	4532	0.08	1.75	<i>Unknown (trace compound)</i>

6	23.163	25511	0.23	12602	0.21	2.02	<i>Aziridine derivative</i>
7	24.246	50771	0.46	27582	0.47	1.84	<i>2-Propenoic acid derivative</i>
8	25.202	12606	0.11	9237	0.16	1.36	<i>Fatty acid fragment</i>
9	25.394	735749	6.65	353160	5.99	2.08	<i>Pentafluoroethyl propionate</i>
10	25.758	59053	0.53	22743	0.39	2.60	<i>Short-chain ester</i>
11	25.885	12540	0.11	5853	0.10	2.14	<i>Organic acid derivative</i>
12	26.401	168822	1.53	70967	1.20	2.38	<i>Homoserine</i>
13	27.203	153367 6	13.86	571322	9.70	2.68	<i>Methyl N-methyl-N-formyldithiocarbamate</i>
14	27.422	333150	3.01	144169	2.45	2.31	<i>Fatty acid methyl ester</i>
15	27.578	176455	1.59	37846	0.64	4.66	<i>Palmitic acid methyl ester</i>
16	27.767	97509	0.88	14130	0.24	6.90	<i>Palmitic acid derivative</i>
17	27.859	46237	0.42	14586	0.25	3.17	<i>Fatty acid ester</i>
18	28.035	36915	0.33	7766	0.13	4.75	<i>Fatty acid ester</i>
19	28.768	23811	0.22	8967	0.15	2.66	<i>Oleic acid derivative</i>
20	29.858	43076	0.39	6540	0.11	6.59	<i>Stearic acid methyl ester</i>
21	29.967	37347	0.34	5791	0.10	6.45	<i>Stearic acid derivative</i>
22	30.058	19961	0.18	4927	0.08	4.05	<i>Long-chain fatty acid</i>
23	30.142	28473	0.26	5482	0.09	5.19	<i>Fatty acid ester</i>
24	30.233	41521	0.38	7698	0.13	5.39	<i>Fatty acid ester</i>
25	30.333	20579	0.19	6568	0.11	3.13	<i>Fatty acid ester</i>
26	30.392	45079	0.41	9180	0.16	4.91	<i>Fatty acid ester</i>
27	30.655	104523	0.94	8641	0.15	12.1 0	<i>Oleic acid methyl ester</i>
28	30.776	62769	0.57	10235	0.17	6.13	<i>Linoleic acid methyl ester</i>
29	30.825	41793	0.38	10028	0.17	4.17	<i>Unsaturated fatty acid ester</i>
30	30.897	45207	0.41	10854	0.18	4.17	<i>Unsaturated fatty acid ester</i>
31	31.025	33551	0.30	8294	0.14	4.05	<i>Long-chain fatty acid ester</i>
32	31.127	49077	0.44	9766	0.17	5.03	<i>Long-chain fatty acid ester</i>
33	31.243	48994	0.44	7871	0.13	6.22	<i>Long-chain fatty acid ester</i>
34	31.383	127329	1.15	12649	0.21	10.0 7	<i>Fatty acid methyl ester</i>
35	31.533	20002	0.18	7852	0.13	2.55	<i>Fatty acid derivative</i>
36	31.699	24267	0.22	4415	0.07	5.50	<i>Fatty acid derivative</i>
37	32.141	32276	0.29	3920	0.07	8.23	<i>Fatty acid derivative</i>

38	32.575	13938	0.13	2979	0.05	4.68	<i>Fatty acid derivative</i>
39	32.933	12295	0.11	2062	0.04	5.96	<i>Fatty acid derivative</i>
40	33.117	9851	0.09	2977	0.05	3.31	<i>Phthalic acid ester</i>
41	33.358	22373	0.20	3896	0.07	5.74	<i>Aromatic ester</i>
42	33.467	8299	0.07	2412	0.04	3.44	<i>Aromatic compound</i>
43	33.601	10385	0.09	3974	0.07	2.61	<i>Aromatic compound</i>
44	33.742	11224	0.10	2049	0.03	5.48	<i>Aromatic compound</i>
45	34.078	9150	0.08	1838	0.03	4.98	<i>3-Ethoxyacrylonitrile</i>
46	35.121	12931	0.12	2815	0.05	4.59	<i>Fatty acid ester</i>
47	35.600	22835	0.21	4186	0.07	5.46	<i>Triglyceride derivative</i>
48	35.877	16675	0.15	2970	0.05	5.61	<i>Glycerol ester</i>
49	37.320	12822	0.12	2407	0.04	5.33	<i>1,2-Benzenedicarboxylic acid ester</i>
50	37.959	20615	0.19	2832	0.05	7.28	<i>Long-chain ester</i>

5. Report Hasil GC-MS Sampel 5

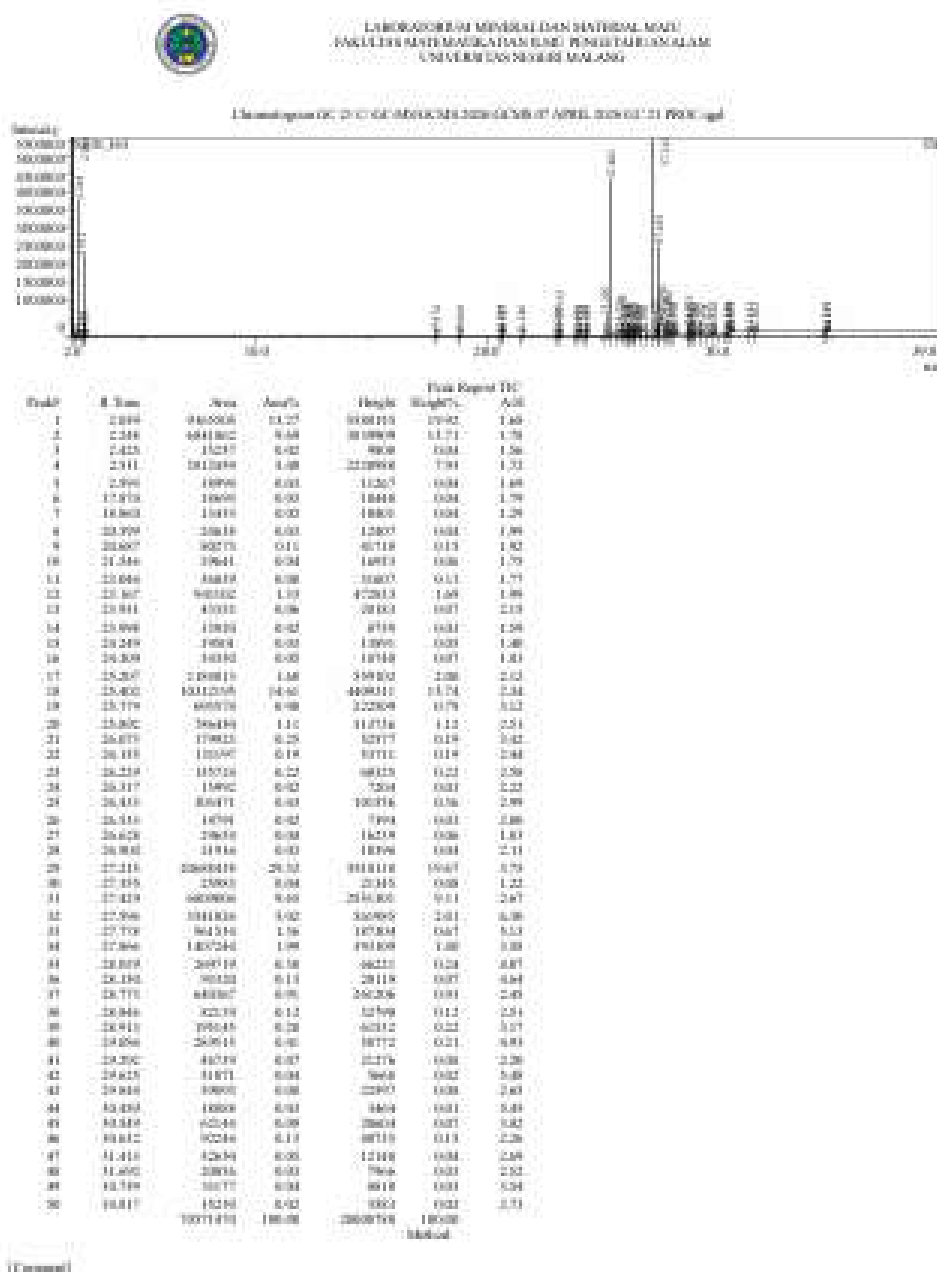


Peak	R. Time	Area	Area %	Height	Height %	A/H	Nama Senyawa
1	2.058	8229841	22.47	5149147	29.16	1.60	<i>n-Hexane</i>
2	2.187	224402	0.61	146440	0.83	1.53	<i>2-Methylpentane</i>
3	2.246	6154503	16.81	3515819	19.91	1.75	<i>Cyclohexane</i>
4	2.510	4307418	11.76	2590678	14.67	1.66	<i>1-Pentene, 4-methyl-</i>
5	2.593	41100	0.11	22193	0.13	1.85	<i>n-Hexane derivative</i>
6	2.693	19960	0.05	5531	0.03	3.61	<i>Light hydrocarbon</i>

7	3.970	13600	0.04	6742	0.04	2.02	<i>Volatile organic compound</i>
8	12.259	10784	0.03	5808	0.03	1.86	<i>Aldehyde compound</i>
9	13.706	11706	0.03	7137	0.04	1.64	<i>Ketone compound</i>
10	14.443	10602	0.03	6664	0.04	1.59	<i>Alcohol derivative</i>
11	20.598	14927	0.04	7482	0.04	2.00	<i>Organic acid</i>
12	20.687	16078	0.04	8839	0.05	1.82	<i>Organic acid derivative</i>
13	21.545	15820	0.04	10664	0.06	1.48	<i>Nitrogen compound</i>
14	22.434	9908	0.03	5340	0.03	1.86	<i>Organic compound</i>
15	23.102	11332	0.03	6651	0.04	1.70	<i>Fatty acid fragment</i>
16	23.166	217454	0.59	112656	0.64	1.93	<i>Aziridine derivative</i>
17	23.929	15947	0.04	9265	0.05	1.72	<i>Fatty acid fragment</i>
18	24.247	38749	0.11	22651	0.13	1.71	<i>2-Propenoic acid derivative</i>
19	25.205	249592	0.68	131196	0.74	1.90	<i>Fatty acid ester</i>
20	25.398	3717727	10.15	1712050	9.70	2.17	<i>Pentafluoroethyl propionate</i>
21	25.767	136837	0.37	54608	0.31	2.51	<i>Short-chain ester</i>
22	25.825	19046	0.05	11403	0.06	1.67	<i>Organic acid ester</i>
23	25.891	217009	0.59	95895	0.54	2.26	<i>Fatty acid ester</i>
24	26.076	72004	0.20	20955	0.12	3.44	<i>Fatty acid methyl ester</i>
25	26.152	29259	0.08	10754	0.06	2.72	<i>Fatty acid derivative</i>
26	26.225	36125	0.10	14093	0.08	2.56	<i>Fatty acid derivative</i>
27	26.402	225746	0.62	79298	0.45	2.85	<i>Homoserine</i>
28	26.628	13588	0.04	4631	0.03	2.93	<i>Fatty acid derivative</i>
29	27.209	7529438	20.56	2391269	13.54	3.15	<i>Methyl N-methyl-N-formyldithiocarbamate</i>
30	27.426	2156762	5.89	883763	5.01	2.44	<i>Fatty acid methyl ester</i>
31	27.586	1027838	2.81	151612	0.86	6.78	<i>Palmitic acid methyl ester</i>
32	27.767	361564	0.99	58730	0.33	6.16	<i>Palmitic acid</i>
33	27.862	560489	1.53	137370	0.78	4.08	<i>Fatty acid ester</i>
34	28.038	152009	0.42	31693	0.18	4.80	<i>Fatty acid ester</i>
35	28.183	34022	0.09	7049	0.04	4.83	<i>Fatty acid ester</i>
36	28.769	250083	0.68	98455	0.56	2.54	<i>Oleic acid methyl ester</i>
37	28.842	36624	0.10	15017	0.09	2.44	<i>Oleic acid derivative</i>
38	28.911	60477	0.17	19953	0.11	3.03	<i>Unsaturated fatty acid ester</i>
39	28.992	18175	0.05	7560	0.04	2.40	<i>Unsaturated fatty acid ester</i>
40	29.082	51319	0.14	12927	0.07	3.97	<i>Linoleic acid derivative</i>
41	29.275	27877	0.08	5039	0.03	5.53	<i>Polyunsaturated fatty acid</i>
42	29.392	17771	0.05	7223	0.04	2.46	<i>Fatty acid ester</i>

43	29.500	36179	0.10	3434	0.02	10.54	<i>Stearic acid derivative</i>
44	29.845	15939	0.04	5994	0.03	2.66	<i>Stearic acid methyl ester</i>
45	30.542	27004	0.07	10308	0.06	2.62	<i>Long-chain fatty acid ester</i>
46	30.630	53985	0.15	14997	0.08	3.60	<i>Oleic acid ester</i>
47	30.758	74143	0.20	6303	0.04	11.76	<i>Linoleic acid methyl ester</i>
48	31.410	15075	0.04	6524	0.04	2.31	<i>Long-chain fatty acid</i>
49	37.816	18464	0.05	4297	0.02	4.30	<i>Phthalic acid ester</i>
50	38.706	13661	0.04	3449	0.02	3.96	<i>Long-chain ester</i>

6. Report Hasil GC-MS Sampel 6



Peak	R. Time	Area	Area %	Height	Height %	A/H	Nama Senyawa
1	2.059	9365505	13.27	558015	19.92	1.68	<i>n-Hexane</i>
2	2.248	6841062	9.69	383990	13.71	1.78	<i>Cyclohexane</i>
3	2.425	15257	0.02	9808	0.04	1.56	<i>Light hydrocarbon</i>
4	2.511	3812459	5.40	222098	7.93	1.72	<i>1-Pentene, 4-methyl-</i>

5	2.593	18994	0.03	11267	0.04	1.69	<i>n</i> -Hexane derivative
6	17.874	18693	0.03	10448	0.04	1.79	Aldehyde compound
7	18.860	13453	0.02	10401	0.04	1.29	Ketone compound
8	20.599	24638	0.03	12407	0.04	1.99	Organic acid
9	20.687	80273	0.11	41718	0.15	1.92	Organic acid derivative
10	21.546	29641	0.04	16953	0.06	1.75	Nitrogen compound
11	23.046	56039	0.08	31607	0.11	1.77	Fatty acid fragment
12	23.167	941102	1.33	472833	1.69	1.99	Aziridine derivative
13	23.931	43353	0.06	20183	0.07	2.15	Fatty acid fragment
14	23.998	13920	0.02	8759	0.03	1.59	Organic compound
15	24.249	19501	0.03	13891	0.05	1.40	2-Propenoic acid derivative
16	24.309	34350	0.05	18740	0.07	1.83	Fatty acid derivative
17	25.207	1184013	1.68	559102	2.00	2.12	Fatty acid ester
18	25.402	10312195	14.61	4409311	15.74	2.34	Pentafluoroethyl propionate
19	25.779	693574	0.98	222509	0.79	3.12	Short-chain ester
20	25.892	786450	1.11	313736	1.12	2.51	Fatty acid ester
21	26.073	179923	0.25	52577	0.19	3.42	Fatty acid methyl ester
22	26.155	131197	0.19	53711	0.19	2.44	Fatty acid derivative
23	26.229	155724	0.22	60325	0.22	2.58	Fatty acid derivative
24	26.317	15992	0.02	7204	0.03	2.22	Fatty acid fragment
25	26.433	303471	0.43	101556	0.36	2.99	Homoserine
26	26.533	14791	0.02	7394	0.03	2.00	Fatty acid fragment
27	26.628	29654	0.04	16239	0.06	1.83	Fatty acid derivative
28	26.900	21916	0.03	10396	0.04	2.11	Fatty acid derivative
29	27.215	20688438	29.32	5510118	19.67	3.75	Methyl <i>N</i> -methyl- <i>N</i> -formyldithiocarbamate

30	27.355	25983	0.04	21345	0.08	1.2 2	<i>Fatty acid ester</i>
31	27.429	6809806	9.65	255130 1	9.11	2.6 7	<i>Fatty acid methyl ester</i>
32	27.596	3541026	5.02	561985	2.01	6.3 0	<i>Palmitic acid methyl ester</i>
33	27.778	961534	1.36	187304	0.67	5.1 3	<i>Palmitic acid</i>
34	27.866	1407244	1.99	393109	1.40	3.5 8	<i>Fatty acid ester</i>
35	28.039	269719	0.38	66221	0.24	4.0 7	<i>Fatty acid ester</i>
36	28.150	93320	0.13	20119	0.07	4.6 4	<i>Fatty acid ester</i>
37	28.773	640367	0.91	261206	0.93	2.4 5	<i>Oleic acid methyl ester</i>
38	28.846	82139	0.12	32790	0.12	2.5 1	<i>Oleic acid derivative</i>
39	28.913	195145	0.28	61532	0.22	3.1 7	<i>Unsaturated fatty acid ester</i>
40	29.086	289515	0.41	58772	0.21	4.9 3	<i>Linoleic acid derivative</i>
41	29.292	46739	0.07	21276	0.08	2.2 0	<i>Polyunsaturated fatty acid</i>
42	29.625	31071	0.04	5668	0.02	5.4 8	<i>Fatty acid ester</i>
43	29.844	59893	0.08	22597	0.08	2.6 5	<i>Stearic acid methyl ester</i>
44	30.450	18888	0.03	3464	0.01	5.4 5	<i>Long-chain fatty acid ester</i>
45	30.549	62144	0.09	20604	0.07	3.0 2	<i>Oleic acid ester</i>
46	30.632	92246	0.13	40735	0.15	2.2 6	<i>Linoleic acid methyl ester</i>
47	31.413	32650	0.05	12148	0.04	2.6 9	<i>Long-chain fatty acid</i>
48	31.692	20056	0.03	7966	0.03	2.5 2	<i>Long-chain fatty acid</i>
49	34.759	31177	0.04	8810	0.03	3.5 4	<i>Phthalic acid ester</i>
50	34.817	15230	0.02	5583	0.02	2.7 3	<i>Long-chain ester</i>



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG

Jalan Gajayana Nomor 50, Telepon (0341) 551354, Fax. (0341) 572533
Website: <http://www.uin-malang.ac.id> Email: info@uin-malang.ac.id

JURNAL BIMBINGAN SKRIPSI/TESIS/DISERTASI

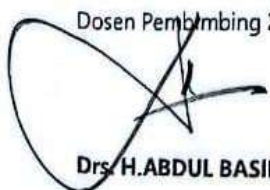
IDENTITAS MAHASISWA

NIM : 220604110033
Nama : RODHIYATUL ALFI AMALIYAH
Fakultas : SAINS DAN TEKNOLOGI
Jurusan : FISIKA
Dosen Pembimbing 1 : MUTHMAINNAH, M.Si
Dosen Pembimbing 2 : Drs. H.ABDUL BASID, M.Si
Judul Skripsi/Tesis/Disertasi : Penerapan Teknologi Gas Chromatography Mass Spectrometry (GC-MS) untuk Klasifikasi Aroma Daging Sapi dan Daging Babi Mumi Menggunakan metode Principal Component Analysis (PCA)

IDENTITAS BIMBINGAN

No	Tanggal Bimbingan	Nama Pembimbing	Deskripsi Proses Bimbingan	Tahun Akademik	Status
1	17 September 2025	MUTHMAINNAH, M.Si	Pengajuan Judul	Ganjil 2024/2025	Sudah Dikoreksi
2	06 Oktober 2025	MUTHMAINNAH, M.Si	Bimbingan bab 1 dan 2	Ganjil 2024/2025	Sudah Dikoreksi
3	09 Oktober 2025	MUTHMAINNAH, M.Si	bimbingan bab 2	Ganjil 2024/2025	Sudah Dikoreksi
4	24 Oktober 2025	MUTHMAINNAH, M.Si	bimbingan bab 3	Ganjil 2024/2025	Sudah Dikoreksi
5	27 Oktober 2025	MUTHMAINNAH, M.Si	bimbingan bab 3	Ganjil 2024/2025	Sudah Dikoreksi
6	04 November 2025	MUTHMAINNAH, M.Si	Persetujuan bab 1,2,3	Ganjil 2024/2025	Sudah Dikoreksi
7	12 Desember 2025	MUTHMAINNAH, M.Si	Revisi hasil seminar proposal	Ganjil 2024/2025	Sudah Dikoreksi
8	15 Januari 2026	Drs. H.ABDUL BASID, M.Si	Bimbingan Integrasi	Ganjil 2024/2025	Sudah Dikoreksi
9	14 April 2026	Drs. H.ABDUL BASID, M.Si	Revisi kompre tambahan ayat pada latar belakang, integrasi bagian pembahasan di bab 4	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi
10	16 April 2026	MUTHMAINNAH, M.Si	Plot grafik menggunakan origin	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi
11	20 April 2026	MUTHMAINNAH, M.Si	Pembahasan	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi

Telah disetujui
Untuk mengajukan ujian Skripsi/Tesis/Desertasi

Dosen Pembimbing 2

Drs. H.ABDUL BASID, M.Si

Malang, 17 Juni 2025
Dosen Pembimbing 1

MUTHMAINNAH, M.Si

Ketua Program Studi Fisika,


Farid Samsu Hananto, M.T